ഭൗതികശാസ്ത്രം

പാർട്ട് 2

XII

കേരളസർക്കാർ

പൊതുവിദ്യാഭ്യാസ വകുപ്പ്

തയാറാക്കിയത്

സംസ്ഥാന വിദ്യാഭ്യാസ ഗവേഷണ പരിശീലന സമിതി (SCERT), കേരളം

2019

Prepared by: State Council of Educational Research & Training (SCERT)
Poojappura, Thiruvananthapuram 12, Kerala.
E-mail:scertkerala@gmail.com
Type setting by: SCERT Computer Lab.
©
Government of Kerala
Education Department
2019

ആമുഖം

ഏതു വിജ്ഞാനവും മാതൃഭാഷയിൽ പഠിക്കാനും പ്രകാശനം ചെയ്യാനും സാധിക്കും. അതിനുള്ള അവസരം പഠിതാക്കൾക്ക് ഒരുക്കേണ്ടത്, ഏതൊരു പഠന സമ്പ്രദായത്തിന്റെയും അനിവാര്യതയാണ്. അതിന്റെ തുടക്കമെന്ന നിലയ്ക്കാണ് ഹയർസെക്കന്ററി തലത്തിൽ ഭാഷേതര വിഷയങ്ങളിലെ പാഠപുസ്തകങ്ങൾ മലയാളത്തിൽ പ്രസിദ്ധീകരിക്കുന്നത്.

മാതൃഭാഷയിലൂടെയുള്ള വിദ്യാഭ്യാസം, ജ്ഞാനസമ്പാദനത്തിനുള്ള സുഗമ മാർഗം എന്നതിനോടൊപ്പം സാംസ്കാരികത്തനിമയുടെ തിരിച്ചറിയൽ കൂടിയാണ്. അതുകൊണ്ടാണ് വികസിതരാജ്യങ്ങൾ മാതൃഭാഷയെ മുഖ്യ ബോധന മാധ്യമമായി സ്വീകരിച്ചിരിക്കുന്നത്. ഇന്ത്യയിലാകട്ടെ, ദേശീയതലത്തിലുള്ള പ്രധാന പരീക്ഷകളെല്ലാം പ്രാദേശിക ഭാഷകളിൽക്കൂടി നടത്തുന്നതിനുള്ള സംവിധാനവും ഉണ്ടായി വരികയാണ്. ഈയൊരു സാഹചര്യത്തിൽ നമ്മുടെ കുട്ടികളും മാതൃഭാഷയുടെ ശക്തിസൗന്ദര്യങ്ങൾ തിരിച്ചറിഞ്ഞ് വിവിധ വിഷയങ്ങളിൽ ജ്ഞാനനിർമിതിയിൽ ഏർപ്പെടേണ്ടതുണ്ട്. അതിന് അവരെ സജ്ജരാക്കുകയാണ് ഈ പാഠപുസ്തകങ്ങളുടെ മുഖ്യ ലക്ഷ്യം.

പരിഭാഷപ്പെടുത്തിയ പുസ്തകങ്ങളിൽ അതത് വിഷയങ്ങളിലെ സാങ്കേതിക പദങ്ങൾ പരമാവധി മലയാളത്തിലാക്കിയിട്ടുണ്ട്. നമ്മുടെ ഭാഷയിൽ ചിരപരിചിതമായ ഇംഗ്ലീഷ് പദങ്ങളെ അതേപടി സ്വീകരിച്ചിട്ടുമുണ്ട്. വിവർത്തനത്തിന് തീർത്തും വഴങ്ങാത്ത പദങ്ങളെ അതേരീതിയിൽ തന്നെ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്നു. മാതൃഭാഷയിൽ പഠിക്കുന്നവർക്ക് ആശയഗ്രഹണം സുഗമമാക്കുന്ന വിധത്തിലാണ് പാഠപുസ്തകരചന നടത്തിയിരിക്കുന്നത്. അതോടൊപ്പം മലയാളഭാഷയുടെ വളർച്ചയ്ക്കും ഈ പ്രവർത്തനം സഹായകമാകുമെന്ന് കരുതുന്നു.

പാഠപുസ്തകവിവർത്തന രംഗത്ത് നമ്മുടെ രാജ്യത്ത് നടന്ന വലിയൊരു കാൽവെപ്പാണ് ഇത്. പ്രഥമ സംരംഭമെന്നനിലയിൽ പല പരിമിതികളും പരിഭാഷയിൽ വന്നിട്ടുണ്ടാകാം. ക്ലാസ്മുറിയിൽ പ്രയോഗത്തിൽ വരുമ്പോഴാണ് അവയെല്ലാം കൂടുതൽ ബോധ്യപ്പെടുക. തുടർന്ന് വരുന്ന ഘട്ടങ്ങളിൽ അവയൊക്കെ പരിഹരിക്കുന്നതിന് എല്ലാ അഭ്യുദയകാംക്ഷികളിൽ നിന്നും വിശിഷ്ട അധ്യാപകർ, വിദ്യാർത്ഥികൾ എന്നിവരിൽ നിന്നും അഭിപ്രായങ്ങളും നിർദേശങ്ങളും പ്രതീക്ഷിക്കുന്നു.

ഡോ.ജെ. പ്രസാദ്

ഡയറക്ടർ,

എസ്.സി.ഇ.ആർ.ടി. കേരളം

FOREWORD

The National Curriculum Framework (NCF), 2005 recommends that children's life at school must be linked to their life outside the school. This principle marks a departure from the legacy of bookish learning which continues to shape our system and causes a gap between the school, home and community. The syllabi and textbooks developed on the basis of NCF signify an attempt to implement this basic idea. They also attempt to discourage rote learning and the maintenance of sharp boundaries between different subject areas. We hope these measures will take us significantly further in the direction of a child-centred system of education outlined in the National Policy on Education (1986).

The success of this effort depends on the steps that school principals and teachers will take to encourage children to reflect on their own learning and to pursue imaginative activities and questions. We must recognise that, given space, time and freedom, children generate new knowledge by engaging with the information passed on to them by adults. Treating the prescribed textbook as the sole basis of examination is one of the key reasons why other resources and sites of learning are ignored. Inculcating creativity and initiative is possible if we perceive and treat children as participants in learning, not as receivers of a fixed body of knowledge.

These aims imply considerable change in school routines and mode of functioning. Flexibility in the daily time-table is as necessary as rigour in implementing the annual calendar so that the required number of teaching days are actually devoted to teaching. The methods used for teaching and evaluation will also determine how effective this textbook proves for making children's life at school a happy experience, rather than a source of stress or boredom. Syllabus designers have tried to address the problem of curricular burden by restructuring and reorienting knowledge at different stages with greater consideration for child psychology and the time available for teaching. The textbook attempts to enhance this endeavour by giving higher priority and space to opportunities for contemplation and wondering, discussion in small groups, and activities requiring hands-on experience.

The National Council of Educational Research and Training (NCERT) appreciates the hard work done by the textbook development committee responsible for this book. We wish to thank the Chairperson of the advisory group in science and mathematics, Professor J.V. Narlikar and the Chief Advisor for this book, Professor A.W. Joshi for guiding the work of this committee. Several teachers contributed to the development of this textbook; we are grateful to their principals for making this possible. We are indebted to the institutions and organisations which have generously permitted us to draw upon their resources, material and personnel. We are especially grateful to the members of the National Monitoring Committee, appointed by the Department of Secondary and Higher Education, Ministry of Human Resource Development under the Chairpersonship of Professor Mrinal Miri and Professor G.P. Deshpande, for their valuable time and contribution. As an organisation committed to systemic reform and continuous improvement in the quality of its products, NCERT welcomes comments and suggestions which will enable us to undertake further revision and refinement.

Director
National Council of Educational
Research and Training

New Delhi
20 December 2005

Textbook Development Committee

Chairperson, Advisory Group for Textbooks in Science and Mathematics

J.V. Narlikar, *Emeritus Professor,* Chairman, Advisory Committee, Inter University Centre for Astronomy and Astrophysics (IUCAA), Ganeshkhind, Pune University, Pune

Chief Advisor

A.W. Joshi, *Professor,* Honorary Visiting Scientist, NCRA, Pune (Formerly at Department of Physics, University of Pune)

Members

Anuradha Mathur, *PGT*, Modern School, Vasant Vihar, New Delhi

Chitra Goel, *PGT,* Rajkiya Pratibha Vikas Vidyalaya, Tyagraj Nagar, Lodhi Road, New Delhi

Gagan Gupta, *Reader,* DESM, NCERT, New Delhi

H.C. Pradhan, *Professor,* Homi Bhabha Centre of Science Education, Tata Institute of Fundamental Research, V.N. Purav Marg, Mankhurd, Mumbai

N. Panchapakesan, *Professor* (Retd.), Department of Physics and Astrophysics, University of Delhi, Delhi

P.K. Srivastava, *Professor* (Retd.), Director, CSEC, University of Delhi, Delhi

P.K. Mohanty, *PGT,* Sainik School, Bhubaneswar

P.C. Agarwal, *Reader,* Regional Institute of Education, NCERT, Sachivalaya Marg, Bhubaneswar

R. Joshi, *Lecturer* (S.G.), DESM, NCERT, New Delhi

S. Rai Choudhary, *Professor,* Department of Physics and Astrophysics, University of Delhi, Delhi

S.K. Dash, *Reader,* DESM, NCERT, New Delhi

Sher Singh, *PGT,* NDMC Navyug School, Lodhi Road, New Delhi

S.N. Prabhakara, *PGT,* DM School, Regional Institute of Education, NCERT, Mysore

Thiyam Jekendra Singh, *Professor,* Department of Physics, University of Manipur, Imphal

V.P. Srivastava, *Reader,* DESM, NCERT, New Delhi

Member-Coordinator

B.K. Sharma, *Professor,* DESM, NCERT, New Delhi

ശിൽപ്പശാലയിൽ പങ്കെടുത്തവർ

1. **ജയകുമാർ എം.ജി.**
എൻ.വി.റ്റി ഫിസിക്സ്, എസ്.എൻ.വി. വി.എച്ച്.എസ്.എസ് അങ്ങാടിക്കൽ സൗത്ത് കോടുമൺ, പത്തനംതിട്ട.

2. **സാവിയോ ഓസ്റ്റിൻ**
എച്ച്.എസ്.എസ്.റ്റി ഫിസിക്സ്, എസ്.കെ.എം. ജെ.എച്ച്.എസ്.എസ്. കൽപ്പറ്റ, വയനാട്.

3. **ജഫീഷ് ജെ.**
എൻ.വി.റ്റി ഫിസിക്സ്, ജി.വി.എച്ച്.എസ്. എസ്., കരകുളം, തിരുവനന്തപുരം.

4. **മുഹമ്മദ് ഷെറീഫ്**
എച്ച്.എസ്.എസ്.റ്റി. ഫിസിക്സ്, ജി.എച്ച്.എസ്.എസ്., ഇരിമ്പിളിയം, മലപ്പുറം.

5. **മുഹമ്മദ് റഫീക്ക് ഇ.കെ**
എച്ച്.എസ്.എസ്.റ്റി. ഫിസിക്സ്, ജി.എച്ച്.എസ്.എസ്. പട്ടാമ്പി, പാലക്കാട്.

6. **അനൂപ് കെ.എസ്.**
എച്ച്.എസ്.എസ്.റ്റി. ഫിസിക്സ്, പി.എം.എസ്.എ.എം.എ.എച്ച്.എസ്.എസ്. ചെമ്മൻകടവ്, മലപ്പുറം.

7. **രാജലക്ഷ്മി എം.**
എച്ച്.എസ്.എസ്.റ്റി. ഫിസിക്സ്, അളഗപ്പനഗർ പഞ്ചായത്ത് എച്ച്.എസ്.എസ്. അളഗപ്പനഗർ, തൃശൂർ.

8. **ജൂലി. എസ്.എ**
എച്ച്.എസ്.എസ്.റ്റി. ഫിസിക്സ്, ജി.എച്ച്.എസ്.എസ് പഴന്തോട്ടം, എറണാകുളം.

9. **ശാലിനി എസ്.**
എച്ച്.എസ്.എസ്.റ്റി. ഫിസിക്സ്, ജി.എച്ച്.എസ്.എസ്. അയ്യൻകോയിക്കൽ കൊല്ലം.

10. **ഹരികുമാർ കെ.**
എച്ച്.എസ്.എസ്.റ്റി. ഫിസിക്സ്, ജി.എച്ച്.എസ്.എസ്. പാലപ്പെട്ടി, മലപ്പുറം.

11. **ശ്രീജു എസ്.**
എച്ച്.എസ്.എസ്.റ്റി. ഫിസിക്സ്, ജി.എച്ച്.എസ്.എസ്. നാവായിക്കുളം, തിരുവനന്തപുരം.

12. **രവീന്ദ്രൻ കെ.പി.**
മലയാള ട്രാൻസിലേറ്റർ
പയ്യന്നൂർ, കണ്ണൂർ

വിദഗ്ധർ

പ്രൊഫ. കെ. പാപ്പൂട്ടി
മുൻ ഡയറക്ടർ,
കേരള സംസ്ഥാന സർവവിജ്ഞാനകോശം

ഡോ. പി.എസ്. ശോഭൻ
റിട്ട. അസോസിയേറ്റ് പ്രൊഫസർ
മഹാരാജാസ് കോളേജ്, എറണാകുളം.

ഡോ. എൻ. ഷാജി
റിട്ട. അസോസിയേറ്റ് പ്രൊഫസർ
മഹാരാജാസ് കോളേജ്, എറണാകുളം.

ഡോ. മുഹമ്മദ് അബ്ദുൾ ജമാൽ
റിട്ട. പ്രിൻസിപ്പാൾ, ഗവ. കോളേജ്,
മൊകേരി, കോഴിക്കോട്.

ഡോ. ജിജോ പി.യു
അസിസ്റ്റന്റ് പ്രൊഫസർ
ഗവ. കോളേജ്, കാസർകോട്

ഡോ. കുമാർ.ജെ
അസിസ്റ്റന്റ് പ്രൊഫസർ
മലയാള വിഭാഗം,
യൂണിവേഴ്സിറ്റി കോളേജ്,
തിരുവനന്തപുരം

അക്കാദമിക് കോ-ഓർഡിനേറ്റർ

ഡോ. ആൻസി വറുഗീസ്
അസിസ്റ്റന്റ് പ്രൊഫസർ, എസ്.സി.ഇ.ആർ.ടി

ഉള്ളടക്കം

അധ്യായം 9	രശ്മി പ്രകാശികവും പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങളും	385
അധ്യായം 10	തരംഗ പ്രകാശികം	433
അധ്യായം 11	വികിരണത്തിന്റെയും ദ്രവ്യത്തിന്റെയും ദ്വൈത സ്വഭാവം	474
അധ്യായം 12	ആറ്റങ്ങൾ	508
അധ്യായം 13	ന്യൂക്ലിയസുകൾ	536
അധ്യായം 14	അർധചാലക ഇലക്ട്രോണിക്സ്: പദാർഥങ്ങൾ, ഉപകരണങ്ങൾ, ലഘുസെർക്കിട്ടുകൾ	571
അധ്യായം 15	വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനങ്ങൾ	616

Q5F1N5

അധ്യായം ഒമ്പത്

രശ്മി പ്രകാശികവും പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങളും

(RAY OPTICS AND OPTICAL INSTRUMENTS)

T4K8U4

9.1 ആമുഖം

വൈദ്യുത കാന്തിക സ്പെക്ട്രത്തിലെ ഒരു ചെറിയ പരിധിയിലുള്ള വൈദ്യുത കാന്തികതരംഗങ്ങളെ തിരിച്ചറിയാനുള്ള സംവേദനക്ഷമത മനുഷ്യനേത്രങ്ങൾക്ക് പ്രകൃതി നൽകിയിട്ടുണ്ട്. വർണരാജിയിലെ ഈ പരിധിയിലുള്ള വൈദ്യുത കാന്തിക വികിരണങ്ങളെയാണ് (ഏകദേശം 400 നാനോമീറ്റർ മുതൽ 750 നാനോ മീറ്റർ വരെയുള്ള തരംഗദൈർഘ്യം) പ്രകാശം എന്നു വിളിക്കുന്നത്. നമുക്കു ചുറ്റുമുള്ള ലോകത്തെ പ്രധാനമായും നാം അറിയുന്നതും വിശദീകരിക്കുന്നതും പ്രകാശത്തിലൂടെയും കാഴ്ചാനുഭവത്തിലൂടെയും ആണ്.

നിത്യജീവിതാനുഭവത്തിൽ നിന്ന് പ്രകാശത്തെക്കുറിച്ചുള്ള രണ്ടു നിഗമനങ്ങളിൽ എത്തിച്ചേരുവാൻ നമുക്ക് സാധിക്കും. ഒന്ന്, പ്രകാശം മറ്റൊന്നിനോടും താരതമ്യപ്പെടുത്താൻ കഴിയാത്തത്ര വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു. രണ്ട്, പ്രകാശം നേർരേഖയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു. പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗത നിശ്ചിതമാണെന്നും അളക്കാൻ കഴിയുന്നതാണെന്നും തിരിച്ചറിയാൻ മനുഷ്യന് അനേകം നാളത്തെ പഠന ഗവേഷണങ്ങൾ നടത്തേണ്ടി വന്നു. സ്വീകാര്യമായ നിലവിലെ ശൂന്യതയിലെ പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗത, $c = 2.99792458 \times 10^8$ m s^{-1}. ആണ്. സാധാരണ ഉപയോഗങ്ങൾക്ക് പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗത $c = 3\times10^8$ m s^{-1}. എന്നെടുത്താൽ മതിയാകും. പ്രകാശത്തിന്റെ ശൂന്യതയിലെ വേഗതയാണ് പ്രകൃതിയിൽ ഒരു വസ്തുവിന് കൈവരിക്കാൻ കഴിയുന്ന ഏറ്റവും കൂടിയ വേഗത.

വൈദ്യുത കാന്തിക സ്പെക്ട്രത്തിലെ ദൃശ്യമേഖലയിൽ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗമാണ് പ്രകാശമെന്ന് അധ്യായം 8 ൽ പഠിച്ചതും, പ്രകാശം നേർരേഖയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു എന്ന സ്വയമറിവും പരസ്പരവിരുദ്ധമായി തോ

ന്നാം. ഈ രണ്ടു വസ്തുതകളെ എങ്ങനെ പൊരുത്തപ്പെടുത്താം? നമ്മൾ സാധാരണയായി കണ്ടുമുട്ടുന്ന വസ്തുക്കളുടെ വലുപ്പത്തെ അപേക്ഷിച്ച് പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം വളരെ കുറവാണെന്നാണ് ഇതിന്റെ ഉത്തരം. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ, നിങ്ങൾ അടുത്ത അധ്യായത്തിൽ പഠിക്കാനിരിക്കുന്നതു പോലെ, ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നും വേറൊരു ബിന്ദുവിലേക്ക് പ്രകാശതരംഗം നേർരേഖയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നെന്ന് കരുതാം. പ്രകാശത്തിന്റെ സഞ്ചാരപാതയെ പ്രകാശ രശ്മിയെന്നും (ray of light) പ്രകാശരശ്മികളുടെ കൂട്ടത്തെ പ്രകാശ കിരണമെന്നും (beam of light) വിളിക്കുന്നു.

പ്രകാശം നേർരേഖയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു എന്ന ആശയത്തെ അടിസ്ഥാനമാക്കിയാണ് ഈ അധ്യായത്തിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രതിപതനം (Reflection), അപവർത്തനം, (Refraction) പ്രകീർണ്ണനം (Dispersion) തുടങ്ങിയ പ്രതിഭാസങ്ങൾ പഠിക്കുന്നത്. പ്രതിപതനം, അപവർത്തനം എന്നിവയിലെ അടിസ്ഥാനതത്വങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് ഗോളീയ പ്രതലം (Spherical Surface), സമതലപ്രതലം (Plane Surface) എന്നിവയിലെ പ്രതിപതനം, അപവർത്തനം എന്നിവ കാരണമുണ്ടാകുന്ന പ്രതിബിംബങ്ങളെക്കുറിച്ച് നമുക്ക് പഠിക്കാം. തുടർന്ന്, ചില പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങളുടെ നിർമാണം, അവയുടെ പ്രവർത്തനം മനുഷ്യനേത്രത്തിന്റെ പ്രവർത്തനം തുടങ്ങിവയെക്കുറിച്ചും നമുക്കു പഠിക്കാം.

പ്രകാശത്തിന്റെ കണികാമാതൃക PARTICLE MODEL OF LIGHT

ന്യൂട്ടന്റെ മൗലികമായ സംഭാവനകൾ ഗണിതശാസ്ത്രം, മെക്കാനിക്സ്, ഗുരുത്വാകർഷണം എന്നീ മേഖലകളിൽ ആണ്. പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെയും സിദ്ധാന്തങ്ങളിലൂടെയും വളരെയധികം സംഭാവനകൾ അദ്ദേഹം പ്രകാശികത്തിൽ നൽകിയിട്ടുണ്ട്. ദെകാർത്തെ (Descartes) നിർദ്ദേശിച്ച പ്രകാശത്തിന്റെ കണികാ മാതൃക (corpuscular model of light) വികസിപ്പിച്ചത് ന്യൂട്ടൻ ആണ്. ഈ മാതൃക അനുസരിച്ച് പ്രകാശോർജം കോർപസ് (corpuscles) എന്നു വിളിക്കുന്ന ചെറിയ കണികകളിൽ കേന്ദ്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. പ്രകാശത്തിന്റെ ഈ കണികകൾ മാസില്ലാത്തതും, ഇലാസ്തികമായതും ആണ്. മെക്കാനിക്സിലെ തന്റെ അറിവുപയോഗിച്ച് പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രതിപതനം, അപവർത്തനം എന്നിവയെ സംബന്ധിക്കുന്ന ഒരു മാതൃക ന്യൂട്ടൻ ആവിഷ്കരിച്ചു. മിനുസമുള്ള പ്രതലത്തിൽ തട്ടിത്തെറിക്കുന്ന ഒരു പന്ത് പ്രതിപതനനിയമങ്ങൾ അനുസരിക്കുന്നുണ്ട്. പ്രതലവുമായുള്ള പന്തിന്റെ കൂട്ടിമുട്ടൽ (collision) ഇലാസ്തികമാണെങ്കിൽ, പ്രവേഗത്തിന്റെ അളവ് സ്ഥിരമായിരിക്കും. പ്രതലം മിനുസമുള്ളതായതുകൊണ്ട് പ്രതലത്തിന് സമാന്തരമായി പന്ത് ബലം പ്രയോഗിക്കുന്നില്ല. അതുകൊണ്ട് തന്നെ പ്രതലത്തിന് സമാന്തരമായ ആക്കത്തിന്റെ ഘടകം (component) സ്ഥിരമായിരിക്കും. എന്നാൽ പ്രതലത്തിന് ലംബമായ ആക്കത്തിന്റെ ഘടകത്തിന്റെ ദിശ, പ്രതിപതനത്തിനുശേഷം എതിർദിശയിലാകുന്നു. ഇതുപോലെ തന്നെയാണ് മിനുസമുള്ള പ്രതലം പ്രകാശകണങ്ങളെ പ്രതിപതിപ്പിക്കുന്നതെന്ന് ന്യൂട്ടൻ വാദിച്ചു.

പ്രകാശത്തിന്റെ അപവർത്തനം വിശദീകരിക്കുവാൻ ജലം, ഗ്ലാസ്സ് തുടങ്ങിയവയിൽ പ്രകാശകണങ്ങളുടെ വേഗം വായുവിലുള്ളതിനേക്കാൾ കൂടുതലാണെന്ന് ന്യൂട്ടൻ ഊഹിച്ചു. എന്നാൽ പിന്നീട് ഇത് തെറ്റാണെന്ന് കണ്ടുപിടിച്ചു.

പ്രകാശികത്തിൽ സൈദ്ധാന്തികൻ എന്നതിലുപരി പരീക്ഷണം നടത്തിയ ആൾ എന്ന നിലയിലാണ് ന്യൂട്ടൻ അറിയപ്പെടുന്നത്. പ്രകാശത്തിന്റെ കണികാ സ്വഭാവം (particle nature) ഉപയോഗിച്ച് വിശദീകരിക്കുവാൻ കഴിയാത്ത പല പ്രതിഭാസങ്ങളും ന്യൂട്ടൻ പരീക്ഷണത്തിലൂടെ കണ്ടെത്തിയിരുന്നു. ജലോപരിതലത്തിലെ എണ്ണപ്പാടയിൽ കാണുന്ന വർണ്ണങ്ങൾ, പ്രകാശത്തിന്റെ ഭാഗിക പ്രതിപതനം (partial reflection) എന്നിവ പ്രകാശത്തിന്റെ കണികാ സ്വഭാവം ഉപയോഗിച്ച് വിശദീകരിക്കുവാൻ കഴിയാത്തവയ്ക്ക് ഉദാഹരണങ്ങളാണ്. തെളിഞ്ഞ ജലമുള്ള ഒരു തടാകത്തിലേക്ക് നോക്കുകയാണെങ്കിൽ നമ്മുടെ മുഖത്തിന്റെ പ്രതിബിംബവും, തടാകത്തിന്റെ അടിത്തട്ടും ഒരേ സമയം കാണാൻ കഴിയും. ജലോപരിതലത്തിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശകണങ്ങളിൽ ഒരു ഭാഗം പ്രതിപതിക്കുകയും, ഒരു ഭാഗം ജലത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുകയും ചെയ്യുന്നതാണ് ഇതിന് കാരണമെന്ന് ന്യൂട്ടൻ വാദിച്ചു. പ്രവചിക്കാൻ കഴിയാത്ത ഏതോ പ്രതിഭാസം മൂലമാണ് ചില പ്രകാശകണങ്ങൾ പ്രതിപതിക്കുന്നതും മറ്റു ചിലവ ജലത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുന്നതെന്നും അദ്ദേഹം ഊഹിച്ചു. എന്നാൽ മറ്റു ചില പ്രതിഭാസങ്ങളിൽ എല്ലാ പ്രകാശകണങ്ങൾക്കും ഒരേ സ്വഭാവവിശേഷങ്ങളാണുള്ളതെന്ന് കരുതി. ഈ രീതിയിലുള്ള വൈരുദ്ധ്യങ്ങളൊന്നും പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗ സ്വഭാവത്തിൽ കാണുന്നില്ല.

വായുവിൽ കൂടി സഞ്ചരിച്ച് ജലത്തിലേക്ക് പ്രവേശിക്കുന്ന പ്രകാശ തരംഗത്തിനെ, അതിർത്തിയിൽവെച്ച് ശക്തി കുറഞ്ഞ രണ്ട് തരംഗങ്ങളായി വിഘടിക്കാം

9.2 ഗോളീയ ദർപ്പണങ്ങളാൽ ഉണ്ടാകുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രതിപതനം (REFLECTION OF LIGHT BY SPHERICAL MIRRORS)

താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന പ്രതിപതനനിയമങ്ങൾ നമുക്ക് പരിചിതമാണ്.

1. പതനരശ്മി, പ്രതിപതനരശ്മി, പതനബിന്ദുവിൽ നിന്നുള്ള ലംബം എന്നിവ ഒരേ തലത്തിലാണ്.
2. പ്രതിപതനത്തിലെ പ്രതിപതനകോൺ പതനകോണിനു സമമാണ്. (പതന കോൺ പതനരശ്മിക്കും ലംബത്തിനുമിടയിലെ കോണളവ്, പ്രതിപതനകോൺ ലംബത്തിനും പ്രതിപതന രശ്മിക്കുമിടയിലെ കോണളവ്).

ഈ നിയമങ്ങൾ ചിത്രം 9.1 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. പ്രതിപതനതലം, സമതലമാണെങ്കിലും വക്രതലമാണെങ്കിലും പ്രതിപതന നിയമങ്ങൾ ഒരേപോലെ ബാധകമാണ്. ഗോളീയതലത്തിലെ ഒരു ബിന്ദുവിന് ലംബം വരയ്ക്കുന്നത് ആ ബിന്ദുവിലൂടെയുള്ള തൊടുവരയ്ക്ക് ലംബമായാണ്. ഈ ലംബം ഗോളീയതലത്തിന്റെ ആരത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുന്നു.

ചിത്രം 9.1 പതനരശ്മി, പ്രതിപതനരശ്മി, പ്രതിപതന പ്രതലത്തിൽ നിന്നുള്ള ലംബം എന്നിവ ഒരേ തലത്തിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നു.

ഒരു ഗോളീയ ദർപ്പണത്തിന്റെ ജ്യാമിതീയകേന്ദ്രത്തെ (geomteric centre) പോൾ (pole) എന്നും ഒരു ഗോളീയലെൻസിന്റെ ജ്യാമിതീയകേന്ദ്രത്തെ പ്രകാശികകേന്ദ്രമെന്നും (optic centre) വിളിക്കുന്നു. ഒരു ഗോളീയ ദർപ്പണത്തിന്റെ പോളിലൂടെയും വക്രതലകേന്ദ്രത്തിലൂടെയും കടന്നുപോകുന്ന നേർരേഖയെ മുഖ്യഅക്ഷം (principal axis) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഗോളീയലെൻസിൽ പ്രകാശികകേന്ദ്രത്തിലൂടെയും മുഖ്യഫോക്കസിലൂടെയും കടന്നുപോകുന്ന നേർരേഖയെയാണ് മുഖ്യ അക്ഷം എന്നു വിളിക്കുന്നത്.

9.2.1 ചിഹ്നരീതി (sign convention)

ഗോളീയദർപ്പണങ്ങളിലെ പ്രതിപതനം, ഗോളീയലെൻസുകളിലെ അപവർത്തനം എന്നിവയെ സംബന്ധിക്കുന്ന സൂത്രവാക്യങ്ങൾ രൂപീകരിക്കുന്നതിന് ആവശ്യമായ ദൂരങ്ങൾ അളക്കുന്നതിന് ഒരു ചിഹ്നരീതി അവലംബിക്കേണ്ടതുണ്ട്. ഈ പുസ്തകത്തിൽ സ്വീകരിച്ചിരിക്കുന്ന ചിഹ്നരീതി കാർട്ടീഷ്യൻ (Cartesian) ചിഹ്നരീതിയാണ്. ഈ ചിഹ്നരീതിയനുസരിച്ച്

1. എല്ലാ ദൂരങ്ങളും ദർപ്പണത്തിൽ പോളിൽ നിന്നും, ലെൻസിൽ പ്രകാശികകേന്ദ്രത്തിൽ നിന്നുമാണ് അളക്കുന്നത്.
2. പതനരശ്മിയുടെ ദിശയിൽ അളക്കുന്ന ദൂരങ്ങളെ പോസിറ്റീവായും, എതിർദിശയിൽ അളക്കുന്ന ദൂരങ്ങളെ നെഗറ്റീവായും കണക്കാക്കുന്നു.
3. ദർപ്പണങ്ങളിലും, ലെൻസുകളിലും മുഖ്യഅക്ഷത്തിനു ലംബമായി, അക്ഷത്തിൽ നിന്ന് മുകളിലേക്കളക്കുന്ന ദൂരങ്ങളെ പോസിറ്റീവായിട്ടും, അക്ഷത്തിൽ നിന്ന് താഴേക്കളക്കുന്ന ദൂരങ്ങളെ നെഗറ്റീവായിട്ടും കണക്കാക്കുന്നു. ചിത്രം 9.2ൽ കാർട്ടീഷ്യൻ ചിഹ്നരീതി കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള പൊതുവായ ചിഹ്നരീതി ഉപ

ചിത്രം 9.2 കാർട്ടീഷ്യൻ ചിഹ്നരീതി

യോഗിച്ച് ഗോളീയദർപ്പണത്തിലെയും ഗോളീയലെൻസിലെയും എല്ലാ വ്യത്യസ്ത ദൂരങ്ങളും ഒരൊറ്റ സൂത്രവാക്യമുപയോഗിച്ച് കണ്ടുപിടിക്കാൻ കഴിയും.

9.2.2 ഗോളീയ ദർപ്പണങ്ങളിലെ ഫോക്കസ് ദൂരം (focal length of spherical mirrors)

ചിത്രം 9.3 കാണിച്ചിരിക്കുന്നത് (a) ഒരു ഉത്തല ദർപ്പണത്തിലും (convex mirror)

ചിത്രം 9.3(a)
ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ ഫോക്കസ്

ചിത്രം 9.3(b)
ഒരു അവതല ദർപ്പണത്തിന്റെ ഫോക്കസ്

(b) ഒരു അവതല ദർപ്പണത്തിലും (concave mirror) മുഖ്യഅക്ഷത്തിനു സമാന്തരങ്ങളായ പ്രകാശ കിരണങ്ങൾ പതിച്ചാൽ എന്താണ് സംഭവിക്കുന്നത് എന്നാണ്. പ്രകാശരശ്മികൾ പതിക്കുന്നത് പോളിന് വളരെ അടുത്തുള്ള ബിന്ദുവിലും മുഖ്യ അക്ഷവുമായി വളരെ ചെറിയ കോണിലുമാണ് എന്ന് അനുമാനിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള രശ്മികളെ പരാക്സിയൽ രശ്മികൾ (paraxial rays) എന്നു വിളിക്കുന്നു. അവതലദർപ്പണത്തിൽ പ്രതിപതനരശ്മികൾ മുഖ്യഅക്ഷത്തിലെ F എന്ന ബിന്ദുവിൽ കേന്ദ്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. എന്നാൽ ഉത്തലദർപ്പണത്തിൽ പ്രതിപതന രശ്മികൾ മുഖ്യഅക്ഷത്തിലെ F എന്ന ബിന്ദുവിൽ നിന്നും നിർഗമിക്കുന്നതായി കാണപ്പെടുന്നു. ഇവിടെ Fഎന്ന ബിന്ദുവിനെ ദർപ്പണത്തിന്റെ മുഖ്യഫോക്കസ് എന്നു വിളിക്കുന്നു. അതായത് ഒരു ഗോളീയ ദർപ്പണത്തിൽ, മുഖ്യ അക്ഷവുമായി ഒരു ചെറിയ കോണിൽ പതിക്കുന്ന പരാക്സിയൽ പ്രകാശരശ്മികൾ, പ്രതിപതനത്തിനുശേഷം, മുഖ്യഅക്ഷത്തിലെ ഒരു ബിന്ദുവിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുകയോ, മുഖ്യഅക്ഷത്തിലെ ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നും നിർഗമിക്കുന്നതായി കാണപ്പെടുകയോ ചെയ്യുന്നു. ഈ ബിന്ദുവിനെയാണ് ദർപ്പണത്തിന്റെ മുഖ്യഫോക്കസ് എന്നു വിളിക്കുന്നത്.

ഒരു ഗോളീയദർപ്പണത്തിലെ മുഖ്യഫോക്കസിന് ലംബമായുള്ളതും ഫോക്കസ്സിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നതുമായ തലത്തെ ഫോക്കൽതലം (focal plane) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഒരു ഉത്തലദർപ്പണത്തിന്റെ ഫോക്കൽതലം ചിത്രം 9.3(c) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ഒരു ദർപ്പണത്തിലെ ഫോക്കസും (F) പോളും (P) തമ്മിലുള്ള ദൂരത്തെയാണ് ഫോക്കൽദൂരം (f) എന്നു വിളിക്കുന്നത്. ഒരു അവതല ദർപ്പണത്തിന്റെ വക്രതാ ആരവും (Radius of curvature) ഫോക്കസ്സ് ദൂരവും തമ്മിലുള്ള ബന്ധം എങ്ങനെ രൂപപ്പെടുത്താമെന്ന് മനസ്സിലാക്കാം. ചിത്രം 9.4 (a) ശ്രദ്ധിക്കുക.

ചിത്രം 9.3(c)
ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ

ഇതിൽ C-വക്രതാ കേന്ദ്രവും, F-ഫോക്കസ്സും, ദർപ്പണത്തിലെ -M എന്ന ബിന്ദുവിന് ലംബം ആണ് CM. മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി M-ബിന്ദുവിൽ ഒരു പ്രകാശരശ്മി പതിച്ച് ഫോക്കസിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നുവെങ്കിൽ, ചിത്രത്തിൽ

ചിത്രം 9.4(a)
ഒരു കോൺകേവ് ഗോളീയ ദർപ്പണത്തിൽ പതനരശ്മിയുടെ പ്രതിപതനത്തിന്റെ ജ്യാമിതി

$$\tan\theta = \frac{MD}{CD} \text{ യും } \tan 2\theta = \frac{MD}{FD} \text{ യും} \qquad (9.1)$$

ചെറിയ കോണുകളിൽ $\tan\theta$ യെ θ ആയും $\tan 2\theta$ യെ 2θ ആയും ആണ് കണക്കാക്കുകന്നത്.

അതായത് സമവാക്യം 9.1 ൽ നിന്നും

$$\frac{MD}{FD} = 2\frac{MD}{CD}$$

$$FD = \frac{CD}{2} \qquad (9.2)$$

ചിത്രം 9.4(b)
ഒരു കോൺവെക്സ് ഗോളീയ ദർപ്പണത്തിൽ പതനരശ്മിയുടെ പ്രതിപതനത്തിന്റെ ജ്യാമിതി

അതുപോലെ 'θ' വളരെ ചെറുതായതിനാൽ, D എന്ന ബിന്ദുവും P എന്ന ബിന്ദുവും തമ്മിലുള്ള അകലം വളരെ നിസ്സാരമാണ്. അതായത് FD = f, അതുപോലെ CD = R, എന്നും അനുമാനിക്കാം.

∴ (9.2) വിൽ നിന്ന്

$$f = R/2 \qquad (9.3)$$

ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിൽ ഫോക്കൽ ദൂരവും വക്രതാ ആരവും തമ്മിലുള്ള ബന്ധം ചിത്രം 9.4 (b) ന്റെ സഹായത്തോടെ രൂപപ്പെടുത്തുവാൻ കഴിയും.

9.2.3 ദർപ്പണ സമവാക്യം (Mirror Equation)

ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന പ്രകാശരശ്മികൾ പ്രതിപതനത്തിനോ, അപവർത്തനത്തിനോ ശേഷം മറ്റൊരു ബിന്ദുവിൽ കൂടിച്ചേരുന്നുണ്ടെങ്കിൽ, ആ ബിന്ദുവിനെ, പ്രസ്തുത ബിന്ദുവിന്റെ പ്രതിബിംബം എന്നു വിളിക്കുന്നു. പ്രകാശ രശ്മികൾ കൂടിച്ചേരുന്നുണ്ടെങ്കിൽ പ്രതിബിംബത്തെ യഥാർത്ഥമെന്നും (real) പ്രകാശരശ്മികൾ ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നും നിർഗമിക്കുന്നതായി കാണപ്പെടുന്നുവെങ്കിൽ ആ പ്രതിബിംബത്തെ മിഥ്യാപ്രതിബിംബമെന്നും (virtual) വിളിക്കുന്നു. ഒരു ബിന്ദുവിന്റെ ഗോളീയ ദർപ്പണത്താലുള്ള പ്രതിബിംബം കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിന്, ആ ബിന്ദുവിൽനിന്നും പുറപ്പെടുന്ന ഏതെങ്കിലും രണ്ട് പ്രകാശ രശ്മികൾ ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്. താഴെ പറയുന്നവയിൽനിന്നും ഏതെങ്കിലും രണ്ടു രശ്മികൾ ഉപയോഗിക്കുന്നതാണ് സൗകര്യപ്രദം.

1. മുഖ്യ അക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി ബിന്ദുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെട്ട് പ്രതിപതനത്തിനു ശേഷം ഫോക്കസ്സിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന രശ്മി.
2. ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ വക്രതാ കേന്ദ്രത്തിലൂടെ സഞ്ചരിച്ച്, പ്രതിപതനത്തിനുശേഷം അതേ പാതയിലൂടെ തിരിച്ചുപോകുന്ന പ്രകാശരശ്മി. അല്ലെങ്കിൽ ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിന്റെ വക്രതാ കേന്ദ്രത്തിലേക്ക് കടന്നു വരുന്നതായി കാണപ്പെടുന്ന പ്രകാശരശ്മി, പ്രതിപതനത്തിനുശേഷം അതേ പാതയിലൂടെ തിരിച്ചു പോകുന്നു

ചിത്രം 9.5 ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിലെ പ്രതിബിംബ രൂപീകരണത്തിന്റെ രശ്മി ഡയഗ്രം

3. ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിൽ, ഫോക്കസ്സിലൂടെ സഞ്ചരിച്ച്, പ്രതിപതന

ത്തിനു ശേഷം മുഖ്യഅക്ഷത്തിനു സമാന്തരമായി കടന്നു പോകുന്ന രശ്മി അല്ലെങ്കിൽ ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിൽ ഫോക്കസ്സിലേക്ക് കടന്നുവരുന്നതായി കാണപ്പെട്ട്, പ്രതിപതനത്തിനുശേഷം മുഖ്യ അക്ഷത്തിനു സമാന്തരമായി കടന്നു പോകുന്ന രശ്മി.

4. ഒരു ദർപ്പണത്തിന്റെ പോളിൽ പതിച്ച് പ്രതിപതന നിയമം അനുസരിച്ച് പ്രതിപതിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മി.

മേൽപറഞ്ഞവയിൽ നിന്ന് മൂന്ന് പ്രകാശ രശ്മികളെ പരിഗണിച്ച് വരച്ചിരിക്കുന്ന രേഖാചിത്രം (diagram) ആണ് ചിത്രം 9.5 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്.

ഇതിൽ AB എന്ന വസ്തുവിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശരശ്മികൾ ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിൽ തട്ടി പ്രതിപതിച്ച് A′B′ എന്ന യഥാർഥ പ്രതിബിംബമായി രൂപപ്പെടുന്നു. ഇതിൽ നിന്നും മൂന്ന് രശ്മികൾ മാത്രമാണ് വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്നത് എന്ന് അർഥമാക്കരുത്. അസംഖ്യം പ്രകാശരശ്മികൾ എല്ലാ ദിശയിലേക്കും ഏതൊരു സ്രോതസ്സിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്നുണ്ട്. ഇവിടെ A എന്ന ബിന്ദുവിന്റെ പ്രതിബിംബമാണ് A′ എന്ന ബിന്ദുവിൽ ലഭിക്കുന്നത്. അതായത് A യിൽ നിന്നും കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ ദിശയിൽ പുറപ്പെടുന്ന എല്ലാ പ്രകാശ രശ്മികളും കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിൽ നിന്നും പ്രതിപതിച്ച് A′ ലൂടെ കടന്നു പോകുന്നു.

ഇപ്പോൾ നമുക്ക് ദർപ്പണ സമവാക്യം രൂപീകരിക്കാം അല്ലെങ്കിൽ പോളിൽ നിന്നും വസ്തുവിലേക്കുള്ള ദൂരം u(object distance), പോളിൽ നിന്നും പ്രതിബിംബത്തിലേക്കുള്ള ദൂരം v (image distance), f ഫോക്കൽ ദൂരം (focal length) എന്നിവ തമ്മിലുള്ള ബന്ധത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്ന സമവാക്യം രൂപീകരിക്കാം.

ചിത്രം 9.5 പരിശോധിക്കുക. A′B′F, MPF എന്നീ മട്ടത്രികോണങ്ങൾ സദൃശ (similar) ത്രികോണങ്ങൾ ആണ്. (പരാക്സിയൽ രശ്മികൾക്ക്, MP യെ, CP യ്ക്ക് ലംബമായ ഒരു നേർരേഖയായി സങ്കൽപ്പിക്കാം). അതുകൊണ്ട്

$$\frac{B'A'}{PM} = \frac{B'F}{FP}$$ അല്ലെങ്കിൽ

$$\frac{B'A'}{BA} = \frac{B'F}{FP}$$ ആണ്. കാരണം (PM = AB) (9.4)

$\angle AP'B = \angle A'P'B'$, ആയതുകൊണ്ട് $\Delta A'B'P'$, $\Delta ABP'$ എന്നിവ സദൃശ ത്രികോണങ്ങൾ ആണ്. അതുകൊണ്ട്,

$$\frac{B'A'}{BA} = \frac{B'P}{BP}$$ ആണ് (9.5)

സമവാക്യങ്ങൾ 9.4, 9.5 എന്നിവ താരതമ്യപ്പെടുത്തുമ്പോൾ

$$\frac{B'F}{FP} = \frac{B'P \quad FP}{FP} = \frac{B'P}{BP}$$ എന്നു ലഭിക്കുന്നു. (9.6)

സമവാക്യം (9.6) ൽ നിന്നു ലഭിക്കുന്നത് ദൂരങ്ങളുടെ അളവുകൾ തമ്മിലുള്ള ബന്ധമാണ്. അതുകൊണ്ട് ഈ സമവാക്യത്തിൽ ചിഹ്നരീതി ഉപയോഗിക്കണം. പ്രകാശരശ്മി വസ്തുവിൽ നിന്നും MPN എന്ന ദർപ്പണത്തിലേക്ക് സഞ്ചരിക്കുന്ന ദിശയെ പോസിറ്റീവ് ദിശയായി കണക്കാക്കുന്നു. വസ്തുവിലേക്കുള്ള ദൂരം, പ്രതിബിംബത്തിലേക്കുള്ള ദൂരം, ഫോക്കസ് ദൂരം എന്നിവ നെഗറ്റീവ് ദിശയിൽ ആണ്. അതുകൊണ്ട് ഈ ദൂരങ്ങളെ നെഗറ്റീവായി പരിഗണിക്കുന്നു.

അതായത് $B'P = -v$, $FP = -f$, $BP = -u$ ഈ വിലകൾ 9.6 സമവാക്യത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

$$\frac{-v+f}{-f} = \frac{-v}{-u}$$

അല്ലെങ്കിൽ $\frac{v-f}{f} = \frac{v}{u}$, $uv - uf = vf$ 9.6 (a)

ഈ സമവാക്യത്തിനെ 'uvf' കൊണ്ട് ഹരിച്ചാൽ $\frac{1}{f} - \frac{1}{v} = \frac{1}{u}$

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$ (9.7) എന്ന് കിട്ടുന്നു.

ഈ ബന്ധത്തെയാണ് ദർപ്പണസമവാക്യം എന്ന് പറയുന്നത്. നമ്മൾ പരിഗണിക്കേണ്ട വേറൊരു പ്രധാനപ്പെട്ട അളവാണ് ആവർധനം (m-magnification). പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഉയരത്തിന്റെ അളവും (h') വസ്തുവിന്റെ ഉയരത്തിന്റെ അളവും (h) തമ്മിലുള്ള അനുപാതത്തെയാണ് രേഖീയ ആവർധനം (linear magnification) എന്ന് നിർവചിച്ചിരിക്കുന്നത്. അതായത്

$$m = \frac{h'}{h} \qquad (9.8)$$

സ്വീകാര്യമായ ചിഹ്നരീതിയനുസരിച്ച് h, h' എന്നിവയുടെ വില പോസിറ്റീവോ നെഗറ്റീവോ ആയെടുക്കാം. ത്രികോണങ്ങൾ A'B'P യും ABP യും പരിഗണിക്കുമ്പോൾ,

$$\frac{B'A'}{BA} = \frac{B'P}{BP}$$ എന്ന് ലഭിക്കുന്നു.

ചിഹ്നരീതിയുപയോഗിക്കുമ്പോൾ $\frac{-h'}{h} = \frac{-v}{u}$ എന്നെഴുതാം.

അതുകൊണ്ട് $m = \frac{h'}{h} = -\frac{v}{u}$ (9.9) ആണ്.

സമവാക്യം 9.7, 9.9 എന്നിവ ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിൽ രൂപപ്പെടുന്ന യഥാർത്ഥവും, തലകീഴായതും ആയ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സമവാക്യങ്ങളാണ്. ശരിയായ ചിഹ്നസംവിധാനം ഉപയോഗിക്കുകയാണെങ്കിൽ ഈ സമവാക്യങ്ങളെ ഗോളീയ ദർപ്പണത്തിലെ പ്രതിപതനവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഏത് സാഹചര്യത്തിലും ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്. ഒരു വസ്തുവിന്റെ മിഥ്യാ പ്രതിബിംബം, ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണവും ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണവും രൂപപ്പെടുത്തുന്നതിന്റെ രശ്മി രേഖാചിത്രങ്ങളാണ് ചിത്രം 9.6 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്.

(a)

(b)

ചിത്രം 9.6

വസ്തു P ക്കും F നും ഇടയിലായിരിക്കുമ്പോൾ ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിലെ പ്രതിബിംബ രൂപീകരണം

വസ്തു ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിന്റെ മുമ്പിൽ എവിടെ വെച്ചാലും പ്രതിബിംബം ദർപ്പണത്തിന്റെ പിറകിൽ Pനും Fനും ഇടയ്ക്ക് ഉണ്ടാകും.

ഉദാഹരണം 9.1

ഉദാഹരണം 9.1 : ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ താഴത്തെ പകുതിഭാഗം അതാര്യമായ ഒരു പദാർത്ഥം കൊണ്ട് മൂടിവെച്ചിരിക്കുന്നതായി കരുതുക. എങ്കിൽ ഈ കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ മുൻപിൽ വെച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബത്തിൽ എന്തു സ്വാധീനമാണ് ഇത് മൂലം ഉണ്ടാകുന്നത്?

ഉത്തരം : പകുതി ഭാഗം വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം മാത്രം കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിൽ രൂപപ്പെടുമെന്ന്, നിങ്ങൾ, ഒരു പക്ഷെ ചിന്തിച്ചേക്കാം. എന്നാൽ പ്രതിപതന നിയമങ്ങൾ ദർപ്പണത്തിന്റെ എല്ലാ ബിന്ദുവിലും ഒരു പോലെ ബാധകമായതുകൊണ്ട്, പൂർണ വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്നു. പക്ഷെ ദർപ്പണത്തിന്റെ ഉപരിതല പരപ്പളവ് കുറച്ചതുകൊണ്ട്, പ്രതിബിംബത്തിന്റെ തീവ്രത (intenstiy) പകുതിയായിരിക്കും.

ഉദാഹരണം 9.2

ഉദാഹരണം 9.2 : ചിത്രം 9.7ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഒരു മൊബൈൽ ഫോൺ, ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ മുഖ്യഅക്ഷത്തിൽ വെച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 9.7

(a) മൊബൈൽ ഫോണിന്റെ പ്രതിബിംബം എവിടെ രൂപപ്പെടുന്നെന്ന് പ്രകാശ രശ്മി രേഖാചിത്രത്തിലൂടെ കാണിക്കുക.

(b) പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ആവർധനം എന്തുകൊണ്ടാണ് സമാനമല്ലാത്തത്.

(c) ദർപ്പണത്തെയപേക്ഷിച്ച് ഫോണിന്റെ സ്ഥാനം പ്രതിബിംബത്തിന്റെ വ്യതിയാനത്തെ ബാധിക്കുമോ?

ഉത്തരം

(a) ചിത്രം 9.7(a) ൽ മൊബൈൽ ഫോണിന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ രേഖാചിത്രം കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

(b) വക്രതാകേന്ദ്രത്തിലുള്ള മൊബൈൽ ഫോണിന്റെ ഭാഗം, മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് ലംബവും വക്രതാ കേന്ദ്രത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നതും ആയ പ്രതലത്തിൽ ആണ്. രണ്ടിനും ഒരേ വലുപ്പമായതിനാൽ B'C = BC, പ്രതിബിംബത്തിനുണ്ടായ വ്യതിയാനം നിങ്ങൾ സ്വയം തിരിച്ചറിയുക.

ഉദാഹരണം 9.3

ഉദാഹരണം 9.3: 15cm വക്രതാ ആരമുള്ള ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ മുമ്പിൽ (i) 10cm, (ii) 5cm എന്നീ ദൂരങ്ങളിൽ ഒരു വസ്തു സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നു. ഓരോ ദൂരത്തിലും ഉള്ള വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം, സ്വഭാവം, രേഖീയ ആവർധനം എന്നിവ കണ്ടുപിടിക്കുക.

ഉത്തരം

വസ്തു 10cm അകലെയായിരിക്കുമ്പോൾ

ഫോക്കസ്ദൂരം $f = 15/2\,\text{cm} = 7.5\,\text{cm}$

ഉദാഹരണം 9.3

(i) വസ്തുവിന്റെ ദൂരം, $u = 10$ cm. ദർപ്പണത്തിന്റെ സമവാക്യം ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{10}=\frac{1}{7.5} \text{ അല്ലെങ്കിൽ } v=\frac{10\ 7.5}{2.5}=-30\text{cm}$$

അതായത് വസ്തുവിരിക്കുന്ന അതേ വശത്ത് 30cm ദൂരത്താണ് പ്രതിബിംബം ഉണ്ടാകുന്നത്.

$$\text{ആവർധനം, } m=\frac{v}{u}=\frac{(-30)}{(-10)}=3$$

അതായത് പ്രതിബിംബത്തിന്റെ രേഖീയ ആവർധനം വസ്തുവിന്റെ ഉയരത്തിന്റെ മൂന്ന് മടങ്ങാണ്.

പ്രതിബിംബം തലകീഴായതും യഥാർത്ഥവും വലുതുമാണ്.

(ii) വസ്തു 5cm അകലെയായിരിക്കുമ്പോൾ, $u = -5$ cm. സമവാക്യം 9.7 പ്രകാരം,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{-5}=\frac{1}{-7.5} \text{ അല്ലെങ്കിൽ } v=\frac{5\times 7.5}{(7.5\ \ 5)}=15 \text{ cm}$$

അതായത് പ്രതിബിംബം ദർപ്പണത്തിന് പുറകിൽ 15 cm ദൂരത്താണ് രൂപപ്പെടുന്നത്.

$$\text{ആവർധനം, } m=\frac{v}{u}=\frac{15}{(-5)}=3$$

അതായത് പ്രതിബിംബത്തിന്റെ രേഖീയ ആവർധനം വസ്തുവിന്റെ ഉയരത്തിന്റെ മൂന്ന് മടങ്ങാണ്. പ്രതിബിംബം നിവർന്നതും മിഥ്യയും വലുതുമാണ്.

ഉദാഹരണം 9.4

ഉദാഹരണം 9.4: നിർത്തിയിട്ടിരിക്കുന്ന കാറിലിരിക്കുന്ന നിങ്ങൾ, കാറിന്റെ വശത്തുള്ള കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിലൂടെ 5 m s^{-1} സമവേഗതയിൽ ഒരാൾ ഓടി വരുന്നത് നിരീക്ഷിക്കുന്നുവെന്ന് കരുതുക. ദർപ്പണത്തിന്റെ വക്രതാആരം = 2m ആണ്. താഴെ പറയുന്ന ദൂരങ്ങളിൽ, ഓടുന്ന ആളിന്റെ വേഗം എത്രയായിരിക്കും?

(a) 39m ദർപ്പണത്തിൽനിന്നും ദൂരെ ആയിരിക്കുമ്പോൾ

(b) 29m ദർപ്പണത്തിൽനിന്നും ദൂരെ ആയിരിക്കുമ്പോൾ

(c) 19m ദർപ്പണത്തിൽനിന്നും ദൂരെ ആയിരിക്കുമ്പോൾ

(d) 9m ദർപ്പണത്തിൽനിന്നും ദൂരെ ആയിരിക്കുമ്പോൾ

ഉത്തരം : ദർപ്പണ സമവാക്യം അനുസരിച്ച്, സമവാക്യം (9.7)

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \text{ അതായത് } v=\frac{fu}{u-f}$$

$R = 2$ m. $f = 1$ m.

a) 39 m ദൂരത്തായിരിക്കുമ്പോൾ, പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ദൂരം, $v=\frac{(-39)\times 1}{-39-1}=\frac{39}{40}$m

ഒരു സെക്കൻറിന് ശേഷം ഓട്ടക്കാരന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം = –39 + 5 = –34 ദൂരത്താണ്. ഒരു സെക്കൻറിന് ശേഷമുള്ള പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം 34/35 m ആണ്.

$$\text{ഒരു സെക്കൻറിലുണ്ടായ സ്ഥാനമാറ്റം} = \frac{39}{40}-\frac{34}{35}=\frac{1365-1360}{1400}=\frac{5}{1400}=\frac{1}{280}\text{m}$$

അതുകൊണ്ട് ഓട്ടക്കാരന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ 39m നും 34m നും ഇടയിലുള്ള ശരാശരി വേഗം (1/280) m s^{-1} ഇതുപോലെ; u = -29m, -19m, -9m എന്നീ ദൂരങ്ങളിലായിരിക്കുമ്പോൾ

ഉദാഹരണം 9.4

വേഗം യഥാക്രമം

b) $\frac{1}{150}$ms^{-1}ആണ് (c) $\frac{1}{60}$ms^{-1} ആണ് (d) $\frac{1}{10}$ms^{-1}

ഓട്ടക്കാരൻ സമാനവേഗത്തിലാണ് ഓടുന്നതെങ്കിലും അയാളുടെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ വേഗം തുടർച്ചയായി കൂടിവരുന്നു. ഈ പ്രതിഭാസം ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന കാറിലോ, ബസ്സിലോ ഇരിക്കുന്നവർക്കും കാണാവുന്നതാണ്.

9.3 അപവർത്തനം (REFRACTION)

ചിത്രം 9.8 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ ഒരു മാധ്യമത്തിൽ നിന്നും വേറൊരു മാധ്യമത്തിലേക്ക് പ്രകാശകിരണം സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ, ഒരു ഭാഗം ആദ്യത്തെ മാധ്യമത്തിലേക്ക് പ്രതിപതിക്കുകയും, ബാക്കി ഭാഗം രണ്ടാമത്തെ മാധ്യമത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുകയും ചെയ്യുന്നു.

ചിത്രം 9.8
പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രതിപതനവും അപവർത്തനവും

ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ പതനരശ്മി ചരിഞ്ഞാണ് മാധ്യമത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുന്നതെങ്കിൽ, മാധ്യമങ്ങളുടെ സമ്പർക്ക മുഖത്തിൽ (interface) വച്ച് പ്രകാശ രശ്മിയുടെ സഞ്ചാരപാതയ്ക്ക് വ്യതിയാനം സംഭവിക്കുന്നു. ഈ പ്രതിഭാസത്തെ അപവർത്തനം എന്നു പറയുന്നു. താഴെപറയുന്ന അപവർത്തന നിയമങ്ങൾ സ്നെൽ (Snell) പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ കണ്ടുപിടിച്ചു.

(i) ഒരു പ്രകാശരശ്മിക്ക് അപവർത്തനം സംഭവിക്കുമ്പോൾ പതനരശ്മി, അപവർത്തന രശ്മി, സമ്പർക്കതലത്തിൽ പതന ബിന്ദുവിലൂടെയുള്ള ലംബം എന്നിവ ഒരു തലത്തിൽ ആയിരിക്കും.

(ii) പതനകോണിന്റെ സൈനും (sine) അപവർത്തന കോണിന്റെ സൈനും തമ്മിലുള്ള അനുപാതം ഒരു സ്ഥിര സംഖ്യ (constant) ആയിരിക്കും. ഇതിനെയാണ് സ്നെല്ലിന്റെ അപവർത്തന നിയമം എന്നു വിളിക്കുന്നത്. പതന രശ്മിയും ലംബവും തമ്മിലുള്ള കോണളവിനെയാണ് പതനകോണളവ് എന്നു വിളിക്കുന്നത്. അതുപോലെ അപവർത്തന രശ്മിയും, ലംബവും തമ്മിലുള്ള കോണിനെ അപവർത്തനകോണളവ് എന്നും വിളിക്കുന്നു. അതായത്;

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21} \qquad (9.10)$$ ആണ്.

n_{21} എന്ന സ്ഥിര സംഖ്യയെ ആപേക്ഷിക അപവർത്തനാങ്കം (relative refractive index) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ആദ്യത്തെ മാധ്യമത്തെ അപേക്ഷിച്ച് രണ്ടാമത്തെ മാധ്യമത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം (retractive index) n_{21} ആണ്. ഒരു ജോഡി മാധ്യമത്തിലെ ആപേക്ഷിക അപവർത്തനാങ്കം, മാധ്യമങ്ങളുടെ സ്വഭാവ വിശേ

ഷത്തേയും (characteristics), പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യത്തേയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. എന്നാൽ പതനകോണിനെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല.

സമവാക്യം 9.10 ൽ $n_{21}>1$ ആണെങ്കിൽ അപവർത്തനകോൺ (r) പതന കോണിനേക്കാൾ (i) ചെറുതായിരിക്കും. അതായത് അപവർത്തന രശ്മി ലംബത്തിന്റെ അടുത്തേക്കു നീങ്ങുന്നു. ഇതുപോലെ $n_{21}<1$ ആണെങ്കിൽ അപവർത്തനരശ്മി ലംബത്തിൽ നിന്നും അകലേക്കു നീങ്ങുന്നു.
n_{21} എന്നത് ഒന്നാമത്തെ മാധ്യമത്തെ അപേക്ഷിച്ച് രണ്ടാമത്തെ മാധ്യമത്തിന്റെ ആപേക്ഷിക അപവർത്തനാങ്കവും, n_{12} എന്നത് രണ്ടാമത്തെ മാധ്യമത്തെ അപേക്ഷിച്ച് ഒന്നാമത്തെ മാധ്യമത്തിന്റെ ആപേക്ഷിക അപവർത്തനാങ്കവും ആണെങ്കിൽ

$$n_{12} = \frac{1}{n_{21}} \qquad (9.11)$$ എന്നെഴുതാം

ഇതുപോലെ n_{32} എന്നത് രണ്ടാമത്തെ മാധ്യമത്തെ അപേക്ഷിച്ച് മൂന്നാമത്തെ മാധ്യമത്തിന്റെ ആപേക്ഷിക അപവർത്തനാങ്കം ആണെങ്കിൽ n_{32} വിനെ $n_{32}=n_{31}\times n_{21}$ എന്നെഴുതാം. ഇതിൽ, n_{31}, n_{21} എന്നത് ഒന്നാമത്തെ മാധ്യമത്തെ അപേക്ഷിച്ച് യഥാക്രമം മൂന്നാമത്തേതിന്റെയും, രണ്ടാമത്തേതിന്റെയും ആപേക്ഷിക അപവർത്തനാങ്കമാണ്.

കുറിപ്പ്: *പ്രകാശിക സാന്ദ്രതയും മാസ് സാന്ദ്രതയും തമ്മിൽ ആശയക്കുഴപ്പം ഉണ്ടാകരുത്. ഒരു വസ്തുവിന്റെ യൂണിറ്റ് ഉള്ളളവിൽ (volume) ഉള്ള മാസിനെയാണ് മാസ് സാന്ദ്രത എന്നു പറയുന്നത്. എന്നാൽ പ്രകാശ സാന്ദ്രത, രണ്ടു മാധ്യമങ്ങളിലൂടെയുമുള്ള പ്രകാശ പ്രവേഗത്തിന്റെ അനുപാതമാണ്. പ്രകാശസാന്ദ്രത കൂടിയ മാധ്യമത്തിന്റെ മാസ്സ് സാന്ദ്രത കുറയാനും, പ്രകാശസാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ മാധ്യമത്തിന്റെ മാസ് സാന്ദ്രത കൂടാനും സാദ്ധ്യതയുണ്ട്. ടർപെൻടൈനും (turpentine) ജലവും പരിഗണിക്കുകയാണെങ്കിൽ, ടർപെൻടൈനിന്റെ മാസ് സാന്ദ്രത ജലത്തിനേക്കാൾ കുറവാണ്. പക്ഷെ, ഇതിന്റെ പ്രകാശ സാന്ദ്രത ജലത്തേക്കാൾ കൂടുതലാണ്.*

ദീർഘചതുരാകൃതിയിലുള്ള (rectangular) ഒരു സ്ഫടികക്കട്ട (slab) യിലൂടെ കടന്നു പോകുന്ന പ്രകാശരശ്മിക്ക് രണ്ട് സമ്പർക്കതലത്തിൽ അപവർത്തനം സംഭവിക്കുന്നു. അതായത് ചിത്രം 9.9 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ വായുവിൽ നിന്നും ഗ്ലാസ്സിലേക്കുള്ള സമ്പർക്കതലത്തിലും, ഗ്ലാസ്സിൽ നിന്നും വായുവിലേക്കുള്ള സമ്പർക്കതലത്തിലും.

ചിത്രത്തിൽ $r_2 = i_1$, ആണ് അതായത് ബഹിർഗമന രശ്മി (emergent), പതനരശ്മിക്ക് സമാന്തരമാണ്. എങ്കിലും ബഹിർഗമന രശ്മിക്ക് പതനരശ്മിയെ അപേക്ഷിച്ച് പാർശ്വവ്യതിചലനം (lateral shift) സംഭവിച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 9.9 ദീർഘചതുരാകൃതിയിലുള്ള ഒരു ഗ്ലാസ് കട്ടയിലൂടെ കടന്നു പോകുന്ന പ്രകാശരശ്മിയുടെ പാർശ്വവ്യതിചലനം

ജലം നിറച്ചുവെച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ടാങ്കിന്റെ വക്കിലൂടെ അടിത്തട്ടിലേക്ക് നോക്കുകയാണെങ്കിൽ (ചിത്രം 9.10), അടിത്തട്ട് ഉയർന്നിരിക്കുന്നതായി കാണാം. എന്നാൽ ജലത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിന് ലംബമായി നോക്കുകയാണെങ്കിൽ, (h_2) യഥാർത്ഥ (real) താഴ്ചയും, (h_1) മിഥ്യ (apparent) താഴ്ചയും, ഒന്നാണെന്ന് കാണാം. ജലോപരിതലത്തിന്റെ ലംബത്തിൽ നിന്നും

ചിത്രം 9.10 ഒരു ടാങ്കിലെ ജലത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിന് (a) ലംബമായും (b) ലംബത്തിൽ നിന്നും ചെറിയ ഒരു കോണിലും നോക്കുമ്പോഴുള്ള മിഥ്യാ കാഴ്ച

ചെറിയ ഒരു കോണിൽ കൂടി നോക്കുകയാണെങ്കിൽ, ജലത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം $\frac{h_2}{h_1}$ ആണെന്ന് തെളിയിക്കാൻ കഴിയും.

അന്തരീക്ഷത്തിൽ പ്രകാശത്തിനുണ്ടാകുന്ന അപവർത്തനം, കൗതുകകരമായ പല പ്രതിഭാസങ്ങൾക്കും കാരണമാണ്. ഉദാഹരണത്തിന് സൂര്യോദയത്തിന് അൽപസമയം മുമ്പും, സൂര്യാസ്തമയത്തിന് അൽപസമയം ശേഷവും, സൂര്യബിംബം കാണപ്പെടുന്നത് പ്രകാശത്തിന്റെ അന്തരീക്ഷ (atmospheric) അപവർത്തനം മൂലമാണ്. ചക്രവാളം (horizon) മുറിച്ച് സൂര്യബിംബം ഉയരുന്നതിനെ സൂര്യോദയമെന്നും, ചക്രവാളം മുറിച്ച് സൂര്യബിംബം താഴുന്നതിനെ സൂര്യാസ്തമയം എന്നും പറയുന്നു. ചക്രവാളത്തെ അപേക്ഷിച്ച് സൂര്യബിംബത്തിന്റെ യഥാർത്ഥത്തിൽ ഉള്ള സ്ഥാനവും, മിഥ്യാ സ്ഥാനവും ചിത്രം 9.11 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 9.11 അന്തരീക്ഷ അപവർത്തനം കാരണം വൈകിയുള്ള സൂര്യാസ്തമയവും നേരത്തെയുള്ള സൂര്യോദയവും

പ്രകാശത്തിന്റെ അന്തരീക്ഷ അപവർത്തനത്തിന്റെ സ്വാധീനം കാണിക്കുവാൻ, ഈ ചിത്രം വളരെ വലുതാക്കിയാണ് വരച്ചിരിക്കുന്നത്. ശൂന്യതയെ അപേക്ഷിച്ച്, വായുവിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 1.00029 ആണ്. അതുകൊണ്ട് സൂര്യബിംബത്തിന്റെ പാർശ്വവ്യതിചലനം ഏകദേശം അരഡിഗ്രി കോൺ മാത്രമാണ്. അതുകൊണ്ട് സൂര്യാസ്തമയത്തിന് ശേഷം രണ്ടു മിനിറ്റ് വരെയും, സൂര്യോദയത്തിന് രണ്ടു മിനിറ്റ് മുൻപു തുടങ്ങിയും സൂര്യബിംബത്തെ മിഥ്യയായി കാണുന്നു. ഈ സമയങ്ങളിൽ സൂര്യബിംബത്തെ ദീർഘവൃത്താകൃതിയിൽ (oval shape) കാണുന്നതും, പ്രകാശത്തിന്റെ അന്തരീക്ഷ അപവർത്തനം മൂലമാണ്.

ഉദാഹരണം 9.5

ഉദാഹരണം 9.5

ഭൂമിയുടെ ഭ്രമണകാലം 24 മണിക്കൂർ ആണെങ്കിൽ, ഭൂമിയിൽ നിന്നും നോക്കുമ്പോൾ സൂര്യൻ 1^0 വ്യതിചലിക്കുവാൻ എത്ര സമയം എടുക്കും?

ഉത്തരം

360^0 വ്യതിചലിക്കുവാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന സമയം = 24 മണിക്കൂർ

1^0 വ്യതിചലിക്കുവാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന സമയം = 24/360 = 4 മിനിറ്റ്

മുങ്ങിത്താഴുന്ന കുട്ടിയും, ലൈഫ് ഗാഡും, സ്നെൽ നിയമവും
THE DROWNING CHILD, LIFEGUARD AND SNELL'S LAW

ചിത്രം 9.11(a)യിൽ PQRS ഒരു ദീർഘ ചതുരാകൃതിയിലുള്ള നീന്തൽകുളമാണെന്ന് കരുതുക. C എന്ന ബിന്ദുവിൽ നിന്നും മുങ്ങിതാഴ്ന്നുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു കുട്ടിയുടെ അടുത്തേക്ക്, കുളത്തിന് പുറത്ത് G എന്ന ബിന്ദുവിലുള്ള ലൈഫ് ഗാഡിന് ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ സമയത്തിൽ എത്തിച്ചേരണം. GAC, GBC, GXC എന്നീ പാതകളിൽ ഏതാണ് ലൈഫ് ഗാഡ് തെരഞ്ഞെടുക്കേണ്ടത്? ലൈഫ് ഗാഡിന് വായുവിലുള്ള പ്രവേഗം (v_1) ജലത്തിലെ നീന്തലിന്റെ പ്രവേഗത്തേക്കാൾ (v_2) കൂടുതലാണെന്ന് അറിയാം.

ചിത്രം 9.11(a)

ലൈഫ് ഗാഡ് X എന്ന ബിന്ദുവിൽ നീന്തൽ കുളത്തിൽ പ്രവേശിക്കുന്നെന്നും, $GX = l_1$, $XC = l_2$ എന്നും കരുതുക. എങ്കിൽ G യിൽ നിന്നും Cയിൽ എത്തിച്ചേരാൻ ഉപയോഗിക്കേണ്ട സമയം $t = \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2}$ ആണ്.

t യുടെ ഏറ്റവും ചെറിയ വില കണ്ടുപിടിക്കുവാൻ ഈ സമവാക്യത്തെ xനെ അപേക്ഷിച്ച് അവകലനം (differentiate) ചെയ്യുക. അതിൽ നിന്ന് t യുടെ വില ഏറ്റവും ചെറുതായിരിക്കുമ്പോൾ ഉള്ള X-ന്റെ സ്ഥാനം കണ്ടുപിടിക്കുക. ഈ സ്ഥാനം, സ്നെൽ നിയമം അനുസരിക്കുന്ന ബിന്ദു ആയിരിക്കും. ഇത് മനസ്സിലാക്കുന്നതിന് SR ന് ലംബമായി Xലൂടെ LM വരയ്ക്കുക. $\angle GXM = i$, $\angle CXL = r$ എന്നും കരുതുക. എങ്കിൽ, സമയം ഏറ്റവും കുറവ് $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$ ആകുമ്പോഴാണ്.

ചുരുക്കത്തിൽ രണ്ട് മാധ്യമങ്ങളും രണ്ടു പ്രവേഗങ്ങളും ഉൾപ്പെടുന്ന സാഹചര്യങ്ങളിൽ, തരംഗമായാലും കണിക ആയാലും, സ്നെൽ നിയമം അനുസരിച്ചാൽ മാത്രമെ, ഒരു മാധ്യമത്തിലെ ഏതെങ്കിലുമൊരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നും അടുത്ത മാധ്യമത്തിലെ ഏതെങ്കിലുമൊരു ബിന്ദുവിലേക്ക് ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ സമയം കൊണ്ട് എത്തിച്ചേരുകയുള്ളു.

9.4 പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനം (TOTAL INTERNAL REFLECTION)

പ്രകാശ സാന്ദ്രത കൂടിയ മാധ്യമത്തിൽ നിന്നും പ്രകാശ സാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ മാധ്യമത്തിലേക്ക് പ്രകാശം സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ മാധ്യമത്തിന്റെ സമ്പർക്കതലത്തിൽ വെച്ച് പ്രകാശം ഭാഗികമായി പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാകുകയും, ഭാഗികമായി അപവർത്തനത്തിന് വിധേയമാകുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള പ്രതിപതനത്തെയാണ് ആന്തരിക പ്രതിപതനം എന്നുപറയുന്നത്.

പ്രകാശ രശ്മി പ്രകാശസാന്ദ്രത കൂടിയ മാധ്യമത്തിൽ നിന്നും പ്രകാശസാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ മാധ്യമത്തിലേക്ക് ഒരു ബിന്ദുവിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ അപവർത്തനത്തിനു ശേഷം ആ ബിന്ദുവിലൂടെയുള്ള ലംബത്തിൽ നിന്നും അകലേക്ക് നീങ്ങുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന് ചിത്രം 9.12 ശ്രദ്ധിക്കുക.

ചിത്രം 9.12 പ്രകാശ സാന്ദ്രത കൂടിയ മാധ്യമത്തിൽ നിന്നും പ്രകാശ സാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ മാധ്യമത്തിലേക്ക് A എന്ന ബിന്ദുവിൽ നിന്നും പ്രകാശരശ്മി സഞ്ചരിക്കുമ്പോഴുള്ള അപവർത്തനവും പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനവും

ബിന്ദു Aയിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശരശ്മി O_1 സമ്പർക്കബിന്ദുവിൽ പതിച്ച്, ഭാഗികമായി പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാവുകയും (O_1C) ഭാഗികമായി അപവർത്തനത്തിനു വിധേയമാവുകയും (O_1B) ചെയ്യുന്നു. O_2 എന്ന ബിന്ദുവിലും ഇതുപോലെ തന്നെ സംഭവിക്കുന്നു. എന്നാൽ

ഈ ബിന്ദുവിൽ പതനകോണും, അപവർത്തന കോണും കൂടുന്നു. O_3 എന്ന ബിന്ദുവിൽ അപവർത്തനകോൺ 90^0 ആണ്. അതായത് അപവർത്തന രശ്മി സമ്പർക്കതലത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നു. എന്നാൽ O_4 എന്ന ബിന്ദുവിൽ പ്രകാശരശ്മിക്ക് അപവർത്തനം സംഭവിക്കാതെ, പൂർണ്ണമായും പ്രതിപതിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള പ്രതിപതനത്തെയാണ് പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനം എന്നു വിളിക്കുന്നത്. അപവർത്തനകോൺ 90^0 ആയിരിക്കുമ്പോഴുള്ള പതനകോണിനെയാണ് തന്നിരിക്കുന്ന മാധ്യമങ്ങളുടെ ക്രാന്തികകോൺ (critical angle, i_c) എന്നു വിളിക്കുന്നത്. അപവർത്തന കോണിന്റെ ഏറ്റവും കൂടിയ സൈൻ അളവ് 1 ആണ് ($\sin 90^0$) ഈ അവസരത്തിൽ $\sin i_c = n_{21}$ ആണ്. പതനകോണിന്റെ അളവ് ക്രാന്തിക കോണിനേക്കാൾ കൂടിയാൽ അപവർത്തനം സംഭവിക്കുകയില്ല. ക്രാന്തികകോണും പ്രകാശസാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ മാധ്യമത്തിനെ അപേക്ഷിച്ച് പ്രകാശ സാന്ദ്രത കൂടിയ മാധ്യമത്തിന്റെ ആപേക്ഷികഅപവർത്തനാങ്കവും തമ്മിലുള്ള ബന്ധത്തെ $n_{12} = 1/\sin i_c$. എന്നെഴുതാം.

ചില മാധ്യമങ്ങളുടെ അപവർത്തനാങ്കവും ക്രാന്തികകോണും താഴെ 9.1 പട്ടികയിൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു.

പട്ടിക 9.1: മാധ്യമങ്ങളുടെ അപവർത്തനാങ്കവും ക്രാന്തിക കോണും

മാധ്യമത്തിന്റെ പേര്	അപവർത്തനാങ്കം	ക്രാന്തികകോൺ ഡിഗ്രിയിൽ
ജലം	1.33	48.75^0
ക്രൗൺ ഗ്ലാസ്സ്	1.52	41.14^0
പ്രകാശ സാന്ദ്രത കൂടിയ ഫ്ളിൻറ് ഗ്ലാസ്സ്	1.62	37.31^0
വജ്രം	2.42	24.41^0

ചിത്രം 9.13(a) ചിത്രം 9.13(b) ചിത്രം 9.13(c)

ജലത്തിലൂടെയുള്ള ലേസർ കിരണങ്ങളുടെ പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന്റെ നിരീക്ഷണം

പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന്റെ നിരീക്ഷണം
(A demonstration for total internal reflection)

ഒരു ലേസർ ടോർച്ചിന്റെ സഹായത്തോടെ ഒട്ടുമിക്ക പ്രകാശിക പ്രതിഭാസങ്ങളും പ്രദർശിപ്പിക്കാൻ കഴിയും. ഒരു ബീക്കറിൽ തെളിഞ്ഞ ജലമെടുത്ത് അതിൽ സോപ്പിന്റെ ഒരു ചെറിയ കഷണമിടുക. നന്നായി ജലം ഇളക്കിയാൽ സോപ്പുലായനി ലഭിക്കും. ഈ ലായനിയിലൂടെ ഒരു ലേസർ പ്രകാശം കടത്തിവിടുകയാണെങ്കിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ സഞ്ചാരപാത വളരെ വ്യക്തമായി കാണാൻ കഴിയും ചിത്രം 9.13 ൽ കാണുന്നതു പോലെ ജലോപരിതലത്തിലൂടെ പ്രകാശം പുറത്തു വരുന്ന രീതിയിൽ ബക്കറ്റിന്റെ വശത്തുനിന്നും ലേസർ ടോർച്ചിന്റെ പ്രകാശം കടത്തി വിടുക. ജലോപരിതലത്തിൽ വെച്ച് പ്രകാശം അപവർത്തനത്തിനും പ്രതിപതനത്തിനും വിധേയമാകുന്നു. അപവർത്തനരശ്മി മുറിയുടെ മേൽത്തട്ടിലും പ്രതിപതന രശ്മി ബീക്കർ ഇരിക്കുന്ന പ്രതലത്തിലും കാണുന്നു.

ചിത്രം 9.13(b) ൽ കാണുന്നതുപോലെ മുൻപരീക്ഷണം ആവർത്തിക്കുക. അപവർത്തനരശ്മി മുറിയുടെ മേൽത്തട്ടിൽ നിന്ന് അപ്രത്യക്ഷമാകുന്നതുവരെ ലേസർ ടോർച്ചിന്റെ ദിശ ക്രമികരിക്കുക. ഇപ്പോൾ കാണുന്നത് പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനമാണ്.

ഈ ലായനി ഒരു ടെസ്റ്റ്ട്യൂബിൽ ഒഴിച്ച് പ്രദർശനം ആവർത്തിക്കുക. ചിത്രം 9.13(c) കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ ടെസ്റ്റ്ട്യൂബിൻെറ വശങ്ങളിൽ തട്ടി പ്രകാശം പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാകുന്ന രീതിയിൽ ടോർച്ച് ക്രമികരിക്കുക. ഇതുപോലെയാണ് ഓപ്റ്റിക് ഫൈബറുകളിൽ (optic fibre) പ്രകാശം പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാകുന്നത്.

9.4.1 പ്രകൃതിയിലെ പൂർണാന്തര പ്രതിപതനവും അതിൻെറ പ്രായോഗിക ഉപയോഗവും (Total internal reflection and its technological application)

(i) **മരീചിക *(mirage)*:** വേനൽക്കാലദിനങ്ങളിൽ ഭൂമിയുടെ ഉപരിതലത്തിനോട് അടുത്തുള്ള വായുവിൻെറ താപനില ഉയരെയുള്ള വായുവിന്റെ താപനിലയേക്കാൾ കൂടുതലായിരിക്കും. താപനില കൂടുതലുള്ള വായുപാളിയുടെ പ്രകാശ സാന്ദ്രത കുറവായിരിക്കും. അന്തരീക്ഷ വായു നിശ്ചലാവസ്ഥയിലാണെങ്കിൽ ഉയരം കൂടുന്തോറും വായു പാളികളുടെ പ്രകാശ സാന്ദ്രതയും കൂടും. അതായത് മുകളിൽ നിന്ന് താഴേയ്ക്ക് വരുമ്പോൾ വായു പാളികളുടെ അപവർത്തനാങ്കം കുറഞ്ഞു വരുന്നു. ഇക്കാരണത്താൽ ഉയരമുള്ള ഒരു വസ്തുവിന്റെ (ഉദാ: വൃക്ഷം) വ്യത്യസ്ത ഭാഗങ്ങളിൽ നിന്നും ഭൂമിയുടെ ഉപരിതലത്തിലേക്ക് വരുന്ന പ്രകാശ രശ്മികൾ അപവർത്തനാങ്കം ക്രമമായി കുറഞ്ഞു വരുന്ന മാധ്യമത്തിൽ കൂടി കടക്കുകയും ഈ രശ്മികൾക്ക് ക്രമമായി അപവർത്തനം സംഭവിക്കുകുയം അവസാനം പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാകുകയും ചെയ്യുന്നു. വളരെ ദൂരെ നിന്ന് ഈ മരത്തെ വീക്ഷിക്കുന്ന ഒരാൾക്ക്, അതിൽ നിന്നും വരുന്ന പ്രകാശ രശ്മികൾ ഭൂമിയുടെ ഉപരിതലത്തിന് താഴെനിന്ന് വരുന്നതായി കാണപ്പെടുന്നു. സ്വാഭാവികമായും, ചിത്രം 9.14 (b) യിൽ കാണുന്നുതു പോലെ, ഭൂമിയുടെ ഉപരിതലത്തിലുള്ള ജലാശയത്തിൽ നിന്ന് പ്രകാശരശ്മികൾ പ്രതിപതിക്കുന്നതായി നിരീക്ഷകൻ കരുതുന്നു. നിരീക്ഷകനിൽ ഈ മിഥ്യാധാരണ ഉണ്ടാക്കുന്ന കാഴ്ചയെയാണ് മരീചിക എന്നു വിളിക്കുന്നത്.

ചിത്രം 9.14(a) ഭൂമിയുടെ ഉപരിതലത്തിനോടടുത്തുള്ള അന്തരീക്ഷത്തിലെ വായുപാളികൾ ഒരേ താപനിലയിലിരിക്കുമ്പോൾ നിരീക്ഷകൻ ഒരു മരത്തെ വീക്ഷിക്കുന്നത്.

ചിത്രം 9.14(b) ഭൂമിയുടെ ഉപരിതലത്തിനോടടുത്തുള്ള വായുവിന്റെ താപനില തൊട്ടു മുകളിലുള്ള വായുവിന്റെ താപനിലയേക്കാൾ കൂടുതലായിരിക്കുമ്പോൾ ഒരു മരത്തിന്റെ വ്യത്യസ്ത ഭാഗങ്ങളിൽ നിന്നും വരുന്ന പ്രകാശരശ്മിക്ക് ക്രമമായി അപവർത്തനം സംഭവിക്കുകയും, അവസാനം പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാവുകയും ചെയ്യുന്നു.

വേനൽക്കാലത്ത് ടാറിട്ട റോഡുകളിൽ, വളരെ ദൂരത്തുള്ള സ്ഥാനങ്ങളിൽ വെള്ളക്കെട്ടുള്ളതായി തോന്നുന്നു. എന്നാൽ ഈ സ്ഥാനങ്ങളിൽ എത്തിച്ചേരുമ്പോൾ, ഈ നനവ് ഒരു മിഥ്യാധാരണയായിരുന്നു എന്ന് ബോധ്യപ്പെടുന്നു. സാധാരണ ദിവസങ്ങളിൽ, അന്തരീക്ഷത്തിലെ വായുപാളികൾ സമാന താപനിലയിലിരിക്കുന്നതുകൊണ്ട്, പ്രകാശ രശ്മികൾക്ക് അപവർത്തനം സംഭവിക്കുന്നില്ല. ഈ സമയങ്ങളിൽ നിരീക്ഷകൻ ഒരു മരത്തെ കാണുന്നത് ചിത്രം 9.14 (a)യിൽ കാണുന്നതു പോലെയാണ്.

ചിത്രം 9.15(a) പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിലൂടെ പ്രകാശരശ്മികളെ 90° തിരിക്കുവാൻ സാധിക്കുന്ന പ്രിസം. ചിത്രം 9.15(b) പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിലൂടെ പ്രകാശരശ്മികളെ 180° തിരിക്കുവാൻ സാധിക്കുന്ന പ്രിസം ചിത്രം 9.15(c) പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിലൂടെ വസ്തുവിന്റെ അതേ ആകാരത്തിലും, വലുപ്പത്തിലും തലകീഴായ പ്രതിബിംബങ്ങൾ രൂപപ്പെടുത്തുവാൻ സാധിക്കുന്ന പ്രിസം

(ii) വജ്രം *(diamond)*: വജ്രത്തിന്റെ പ്രാധാന്യം അതിന്റെ തിളക്കത്തിൽ ആണ്. ഈ തിളക്കത്തിനുള്ള കാരണം പൂർണാന്തര പ്രതിപതനമാണ്. വജ്രത്തിന്റെ ക്രാന്തിക കോണളവ് (critical angle) ($\cong 24.4°$) വളരെ ചെറുതാണ്. അതുകൊണ്ടു തന്നെ വജ്രത്തിന്റെ ഉൾഭാഗത്ത് പ്രവേശിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന് പൂർണാന്തര പ്രതിപതനം (total internal reflection) സംഭവിക്കാനുള്ള സാധ്യത വളരെ കൂടുതലാണ്. പ്രകൃതിയിൽ കാണുന്ന വജ്രം തിളങ്ങാനുള്ള സാധ്യത വളരെ കുറവാണ്. വജ്രം രൂപകൽപന ചെയ്യുന്ന ആളുടെ (diamond cutter) സാങ്കേതിക കഴിവാണ്, ഇതിനെ വളരെ ശോഭയോടെ തിളങ്ങാൻ സഹായിക്കുന്നത്. വജ്രത്തെ അനുയോജ്യമായ രീതിയിൽ ചെത്തിമിനുക്കി അനേകം പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാക്കാവുന്നതാണ്.

(iii) പ്രിസം *(prism)*: ചിത്രം 9.15(a), 9.15(b) എന്നിവയിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ പൂർണാന്തര പ്രതിപതനത്തിലൂടെ പ്രകാശരശ്മികളെ 90° അല്ലെങ്കിൽ 180° വളയ്ക്കുവാൻ സാധിക്കുന്ന പ്രിസങ്ങൾ രൂപകൽപന ചെയ്തിട്ടുണ്ട്. ഇങ്ങനെയുള്ള പ്രിസങ്ങൾ ചിത്രം 9.15 (c) ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ വസ്തുവിന്റെ അതേ ആകാരത്തിലും, വലുപ്പത്തിലും തലകീഴായ പ്രതിബിംബങ്ങൾ രൂപപ്പെടുത്തുവാൻ ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഈ പ്രിസങ്ങൾ ഏതുതരം ഗ്ലാസ്സ് കൊണ്ട് രൂപപ്പെടുത്തിയതായാലും ക്രാന്തിക കോൺ അളവ് (critical angle) 45^0 ആയിരിക്കണം.

(iv) പ്രാകാശിക തന്തുക്കൾ *(optic fibres)*: ശബ്ദസിഗ്നലുകളെയും (audio signals) വീഡിയോ സിഗ്നലുകളെയും (video signals) സംപ്രേഷണം ചെയ്യുവാൻ പ്രാകാശികതന്തുക്കൾ (optical fibres) ആണ് ഇപ്പോൾ സാധാരണയായി ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ഈ തന്തുക്കളിലും പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനം ആണ് ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നത്. ഗുണമേന്മ കൂടിയ ക്വാർട്സ് കൊണ്ടോ സ്ഫടിക തന്തുക്കൾ കൊണ്ടോ ആണ് പ്രാകാശിക തന്തുക്കൾ നിർമ്മിച്ചിരിക്കുന്നത്. ഒരു കോറും അതിനെ പൊതിഞ്ഞ് ഒരു ആവരണവും (cladding) ഉൾപ്പെടുന്നതാണ് ഒരു പ്രകാശിക തന്തു.

ചിത്രം 9.16 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ പ്രകാശ സിഗ്നലുകൾ, ഒരു അഗ്രത്തിലൂടെ, അനുയോജ്യമായ കോണിൽ ഉൾക്കാമ്പിൽ പ്രവേശിക്കുമ്പോൾ അത് തുടർച്ചയായ പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമായി അടുത്ത അഗ്രത്തിലൂടെ പുറത്തു വരുന്നു.

എല്ലാ വശത്തുനിന്നും പ്രകാശത്തിന് പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനം സംഭവിക്കുന്നതു കൊണ്ട്, ഒട്ടും പ്രകാശ ത്രീവ്രത കുറയുന്നില്ല. പ്രകാശികതന്തുവിന്റെ കോറിൽ ഒരു വശത്തുനിന്നും പ്രതിപതിക്കുന്ന പ്രകാശ സിഗ്നൽ എതിർ വശത്ത് ക്രാന്തിക കോണിന്റെ

ചിത്രം 9.16 പ്രാകാശികതന്തുക്കളിലൂടെ പ്രകാശം തുടർച്ചയായ പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമായി സഞ്ചരിക്കുന്നു.

അളവിനേക്കാൾ ഉയർന്ന കോണളവിലാണ് പതിക്കുന്നത്. അതുകൊണ്ട് തന്തുക്കൾ എത്ര വളച്ചാലും പ്രകാശസിഗ്നലുകൾ വശങ്ങളിലൂടെ പുറത്തുവരുന്നില്ല. തന്മൂലം പ്രകാശികതന്തുക്കളെ പ്രകാശികപൈപ്പുകളായി (light pipe) ഉപയോഗിക്കാം. പ്രകാശസിഗ്നലുകളെ സംപ്രേഷണം ചെയ്യുവാനും സ്വീകരിക്കുവാനും പ്രകാശികതന്തുക്കൾ പ്രധാനമായും ഉപയോഗിക്കുന്നു. പ്രകാശികതന്തുക്കളിലൂടെ കടത്തി വിടേണ്ട സിഗ്നലുകളെ വൈദ്യുത സിഗ്നലുകളാക്കി മാറ്റുന്നത് ട്രാൻസ്ഡ്യൂസറുകൾ (transducers) ഉപയോഗിച്ചാണ്. ജീവികളുടെ ആന്തരിക അവയവങ്ങൾ പരിശോധിക്കുന്നതിന് പ്രാകാശികതന്തുക്കൾ ഉപയോഗിക്കാറുണ്ട്.

വീടുകളും മറ്റും അലങ്കരിക്കുവാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന ലാമ്പുകളിലും പ്രാകാശിക തന്തുക്കൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള ലാമ്പുകളിലെ ബൾബുകളുടെ സമീപം അനേകം പ്ലാസ്റ്റിക് നിർമ്മിതതന്തുക്കളുടെ ഒരറ്റം ഉറപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. അടുത്ത അറ്റം പുറത്തേക്ക് വിടർന്നുനിൽക്കുന്നു. ബൾബ് പ്രകാശിപ്പിക്കുമ്പോൾ, പ്രകാശം, പ്ലാസ്റ്റിക് തന്തുക്കളുടെ ഒരു അറ്റത്തിലൂടെ കടന്ന്, അടുത്ത അറ്റങ്ങളിൽ ഒരു പ്രകാശബിന്ദുവായി കാണപ്പെടുന്നു. പ്രകാശികതന്തുക്കൾ നിർമ്മിക്കാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന വസ്തുക്കൾക്ക് അത്യാവശ്യം ഉണ്ടായിരിക്കേണ്ട ഗുണം, അത് പ്രകാശത്തെ ഒട്ടും ആഗീരണം ചെയ്യരുത് എന്നതാണ്. സ്ഫടികം പോലെയുള്ള വസ്തുക്കളെ ശുദ്ധീകരിച്ചാണ് ഇത് സാധ്യമാക്കുന്നത്. ഉദാഹരണത്തിന് സിലിക്കഗ്ലാസ് തന്തുക്കൾക്ക് 95% പ്രകാശത്തേയും 1 km ദൂരത്തേക്ക് പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യുവാൻ കഴിയും.

9.5 ഗോളീയ പ്രതലങ്ങളിലും, ഗോളീയ ലെൻസുകളിലും ഉള്ള അപവർത്തനം (REFRACTION THROUGH SPHERICAL SURFACES AND LENSES)

സമതല സമ്പർക്കമുഖത്തിലൂടെയുള്ള അപവർത്തനമാണ് നമ്മൾ പഠിച്ചുകഴിഞ്ഞത്. ഗോളീയ സമ്പർക്കതലങ്ങളിലൂടെയുള്ള അപവർത്തനമാണ് ഇനി നാം വിശകലനം ചെയ്യാൻ പോകുന്നത്. ഗോളീയ പ്രതലത്തിന്റെ വളരെ ചെറിയ (infinitesimal) ഒരു ഭാഗത്തെ പരന്ന പ്രതലമായി കണക്കാക്കാവുന്നതാണ്. ഈ അതിലഘുഭാഗത്തിലെ ഓരോ ബിന്ദുവും എല്ലാ പ്രതിപതനനിയമങ്ങളും അനുസരിക്കുന്നു. ഗോളീയ പ്രതലത്തിലെ ഓരോ ബിന്ദുവിൽ നിന്നും വരയ്ക്കുന്ന ലംബം, ആ ബിന്ദുവിന്റെ തൊടുവരയ്ക്ക് ലംബമായിരിക്കും. ഈ ലംബം ഗോളകേന്ദ്രത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നു. ഈ അദ്ധ്യായത്തിൽ ആദ്യം നാം പഠിക്കുവാൻ പോകുന്നത് ഗോളീയ പ്രതലത്തിലൂടെയുള്ള അപവർത്തനമാണ്, അതിനുശേഷം കനംകുറഞ്ഞ ലെൻസിലൂടെയുള്ള അപവർത്തനവും പഠിക്കുന്നു. രണ്ടു ഗോളീയ പ്രതലങ്ങളാൽ ചുറ്റപ്പെട്ട ഒരു സുതാര്യ പ്രകാശിക മാധ്യമത്തെയാണ് ലെൻസ് (lens) എന്നു വിളിക്കുന്നത്. ആദ്യമായി ഒരു ഗോളീയ പ്രതലത്തിലുണ്ടാകുന്ന പ്രതിബിംബവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട സമവാക്യം രൂപീകരിക്കാൻ പഠിക്കുന്നു. അതിനുശേഷം ഒരു ലെൻസിന്റെ രണ്ട് ഗോളീയ പ്രതലങ്ങൾ മൂലം ഉണ്ടാകുന്ന പ്രതിബിംബവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട സമവാക്യം രൂപികരിക്കുന്നു. ഈ പഠനം നമ്മളെ ലെൻസ് നിർമാണ (lens maker) സമവാക്യത്തിലേക്കെത്തിക്കുന്നു.

9.5.1 ഗോളീയ പ്രതലത്തിലുള്ള അപവർത്തനം (Refraction at a spherical surface)

C-വക്രതാകേന്ദ്രവും, R-വക്രതാആരവുമുള്ള ഒരു ഗോളീയ ദർപ്പണത്തിന്റെ മുഖ്യ അക്ഷത്തിൽ വെച്ചിരിക്കുന്ന O എന്ന വസ്തുവിന്റെ I എന്ന പ്രതിബിംബം രൂപ

ചിത്രം 9.17 രണ്ടു മാധ്യമങ്ങൾ വേർതിരിക്കുന്ന ഒരു ഗോളീയ പ്രതലത്തിലെ അപവർത്തനം

ഒപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതാണ് ചിത്രം 9.17 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്. n_1 അപവർത്തനാങ്കമുള്ള മാധ്യമത്തിൽ നിന്നും n_2 അപവർത്തനാങ്കമുള്ള മാധ്യമത്തിലേക്കാണ് പ്രകാശ രശ്മി സഞ്ചരിക്കുന്നത്. പ്രകാശം കടന്നുപോകുന്ന പ്രതലത്തിന്റെ വിസ്തൃതി (aperture) വളരെ കുറവായതു കൊണ്ട്, കോണളവുകളിൽ ചെറിയ ഏകദേശനങ്ങൾ (approximation) ഉപയോഗിക്കാൻ കഴിയും. പ്രധാനമായും MN ദൂരത്തെ മുഖ്യ അക്ഷത്തിൽ നിന്നും N-ലേക്കുള്ള ഉയരമായി കണക്കാക്കുന്നു. ചെറിയ കോണളവുകളുടെ കാര്യത്തിൽ

$\tan \angle NOM = \frac{MN}{OM}$, $\tan \angle NCM = \frac{MN}{MC}$, $\tan \angle NIM = \frac{MN}{MI}$ എന്നിങ്ങനെ കണക്കാക്കുന്നു.

പ്രകാശസ്രോതസ്സും പ്രകാശമാപനവും (Light Sources and Photometry)

കേവല പൂജ്യത്തിൽ കൂടുതൽ താപനിലയുള്ള ഒരു വസ്തു വൈദ്യുത കാന്തിക വികിരണങ്ങളെ ഉൽസർജിക്കുന്നു എന്ന് അറിവുള്ളതാണ്. വസ്തുവിന്റെ അബ്സൊല്യൂട്ട് താപനിലയെ ആശ്രയിച്ചാണ് തരംഗങ്ങളുടെ തരംഗദൈർഘ്യത്തിന്റെ മേഖല (region). ഉദാഹരണത്തിന് ഒരു ബൾബിലെ 2850K താപനിലയിലുള്ള ടങ്സ്റ്റൺ ഫിലിമെന്റ് ഉൽസർജിക്കുന്ന വികിരണങ്ങളിൽ ഭൂരിഭാഗവും അദൃശ്യവും ഇൻഫ്രാറെഡ് (infrared) മേഖലയിലുമാണ്. വസ്തുവിന്റെ താപനില കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച്, വികിരണങ്ങൾ ദൃശ്യ മേഖലയിൽ വരുന്നു. ഉപരിതലം 5500K താപനിലയിലുള്ള സൂര്യനിൽ നിന്നും ഉൽസർജിക്കുന്ന വികിരണങ്ങളുടെ ഊർജവും തരംഗദൈർഘ്യവും ഒരു ഗ്രാഫിൽ രേഖപ്പെടുത്തിയാൽ, ആ ഗ്രാഫിന്റെ ഉച്ച സ്ഥാനം പച്ച വർണ്ണത്തിന്റെ തരംഗ ദൈർഘ്യമായ 550നാനോ മീറ്ററിലാണ്. ഇത് ദൃശ്യമേഖലയുടെ മധ്യഭാഗമാണ്. ഏതൊരു വസ്തുവിൽ നിന്നുള്ള വികിരണത്തിന്റെ ഊർജവും, തരംഗദൈർഘ്യവും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ് അടയാളപ്പെടുത്തിയാലും, ഒരു പ്രത്യേക തരംഗദൈർഘ്യത്തിൽ ഗ്രാഫ് ഏറ്റവും ഉയർന്ന സ്ഥലത്താണെന്ന് കാണാം. ഗ്രാഫിലെ ഉയർച്ചയ്ക്ക് അനുരൂപമായ തരംഗദൈർഘ്യം വസ്തുവിന്റെ കേവല താപനിലയ്ക്ക് വിപരീത അനുപാതത്തിൽ ആണ്.

മനുഷ്യനേത്രങ്ങൾ ഗ്രഹിക്കുന്നതുപോലെ തന്നെ പ്രകാശത്തെ അളക്കുന്നതിനെയാണ് പ്രകാശമാപനം എന്നു പറയുന്നത്. പ്രകാശമാപനത്തിൽ അളവ് ശരീരശാസ്ത്രപരമായ ഒരു പ്രക്രിയ ആണ്. നേത്രത്തിനുള്ളിൽ പ്രവേശിക്കുന്ന പ്രകാശം ഉണ്ടാക്കുന്ന സിഗ്നലുകൾ പ്രകാശമാപനത്തിലെ പ്രധാന അളവുകൾ (i) സ്രോതസ്സിന്റെ ലൂമിനസ് തീവ്രത (luminous intensity of the source) (ii) ലൂമിനസ് ഫ്ളക്സ് അഥവാ സ്രോതസ്സിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രവാഹം, പ്രതല ഇലൂമിനൻസ് (illuminance of the surface) എന്നിവയാണ്.

ലൂമിനസ് തീവ്രതയുടെ S.I യൂണിറ്റ് കാൻഡല (candela cd) ആണ്. ഒരു പ്രകാശസ്രോതസ്, 540×10^{12}Hz ആവൃത്തിയും 1/683 വാട്ട് പ്രതിസ്റ്റെറിഡിയൻ (watt per steridian) വികിരണ തീവ്രതയും ഉള്ള ഏകവർണ്ണ വികിരണങ്ങൾ, നിശ്ചിത ദിശയിൽ ഉൽസർജിക്കുകയാണെങ്കിൽ ആ സ്രോതസിന്റെ ലൂമിനസ് തീവ്രത ഒരു കാൻഡല ആണ്. ഒരു സ്റ്റെറിഡിയൻ (steridian) ഘനകോണിൽ, ഒരു പ്രകാശസ്രോതസ്, ഒരു കാൻഡല ലൂമിനസ് തീവ്രത ഉൽസർജിക്കുന്നു എങ്കിൽ ആ ഘനകോണിൽ ഉൽസർജിച്ചിരിക്കുന്ന ലൂമിനസ് ഫ്ളക്സ് ഒരു ലൂമൻ (luman-lm).

ഒരു സാധാരണ 100W ഇൻകാൻഡസെന്റ് (incandescent) ബൾബ് 1700 ലൂമൻ ലൂമിനസ് ഫ്ളക്സ് ഉൽസർജിക്കുന്നു. പ്രകാശമാപനത്തിൽ ഇലൂമിനൻസ് മാത്രമാണ് പ്രത്യക്ഷത്തിൽ അളക്കാവുന്നത്. ഒരു പ്രതലത്തിലെ യൂണിറ്റ് പരപ്പളവിൽ പതിക്കുന്ന ലൂമിനസ് ഫ്ളക്സിനെയാണ് ഇലൂമിനൻസ് (lm/m² or lux) എന്ന് നിർവചിച്ചിരിക്കുന്നത്. മിക്ക പ്രകാശമീറ്ററുകളും സാധാരണയായി ഇലൂമിനൻസ് ആണ് അളക്കുന്നത്. I-ലൂമനസ് തീവ്രതയുള്ള ഒരു സ്രോതസ് ഉൽസർജിക്കുന്ന ഇലൂമിനൻസ് $E=I/r^2$ ആണ്. ഇവിടെ r എന്നത് പ്രതലവും സ്രോതസ്സും തമ്മിലുള്ള ദൂരമാണ്. പരന്ന ഒരു പ്രതിപതന പ്രതലത്തിന്റെ പ്രകാശതീവ്രത (brightness) അളക്കുന്നതിന് ഉപയോഗിക്കുന്ന അളവാണ് ലൂമിനൻസ് (luminance-L). ഇതിന്റെ യൂണിറ്റ് cd/m² ആണ്. (വ്യാവസായികമായി 'nit' എന്ന യൂണിറ്റും ഉപയോഗിക്കാറുണ്ട്). ഒരു LCD കമ്പ്യൂട്ടർ മോണിറ്ററിന്റെ പ്രഭ ഏകദേശം 25 nits ആണ്.

ΔNOC, യിൽ i ബാഹ്യകോൺ (exterior angle) ആണ്. അതുകൊണ്ട്

$$i = \angle NOM + \angle NCM$$

$$i = \frac{MN}{OM} + \frac{MN}{MC} \qquad (9.13)$$

അതുപോലെ, $r = \angle NCM - \angle NIM$

$$r = \frac{MN}{MC} - \frac{MN}{MI} \qquad (9.14)$$

സ്നെൽ നിയമം ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

വളരെ ചെറിയ കോണുകൾക്ക് $\sin i = i$, $\sin r = r$

$$n_1 i = n_2 r$$

സമവാക്യം 9.13, 9.14 എന്നിവയിൽ നിന്നും i-യുടെയും r-ന്റെയും വിലകൾ ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

$$\frac{n_1}{OM} + \frac{n_2}{MI} = \frac{n_2 - n_1}{MC} \qquad (9.15)$$

ഇവിടെ OM,MI,MC എന്നിവ പ്രതിബിംബ രൂപീകരണവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ദൂരങ്ങളുടെ അളവുകൾ ആണ്. കാർട്ടീഷ്യൻ ചിഹ്ന രീതി ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

$OM = -u$, $MI = +v$, $MC = +R$ എന്ന് കിട്ടുന്നു.

ഈ വിലകൾ സമവാക്യം 9.15 ൽ ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

$$\frac{n_2}{v} - \frac{n_1}{u} = \frac{n_2 - n_1}{R} \qquad (9.16)$$ ലഭിക്കുന്നു.

9.16 ലെ സമവാക്യം പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ദൂരം, വസ്തുവിന്റെ ദൂരം, മാദ്ധ്യമങ്ങളുടെ അപവർത്തനാങ്കങ്ങൾ, വക്രതാആരം എന്നിവ തമ്മിലുള്ള ബന്ധത്തെ കാണിക്കുന്നു. ഏതു തരത്തിലുള്ള വക്രതലത്തിലും ഈ സമവാക്യം ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്.

ഉദാഹരണം 9.6

ഉദാഹരണം 9.6: *വായുവിൽവെച്ചിരിക്കുന്ന, 1.5 അപവർത്തനാങ്കവും, 20 cm വക്രതാആരവുമുള്ള ഒരു ഗോളീയ ഗ്ലാസ് പ്രതലത്തിൽ, 100 cm ദൂരത്തിൽ വെച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു പോയിന്റ് സ്രോതസിൽ നിന്നും പ്രകാശം പതിക്കുന്നു. വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം എവിടെയായിരിക്കും രൂപപ്പെടുന്നത്?*

ഉത്തരം:

$u = -100$ cm, $v = ?$, $R = +20$ cm, $n_1 = 1$, and $n_2 = 1.5$.

$$\frac{1.5}{v} + \frac{1}{100} = \frac{0.5}{20}$$

$v = +100$ cm

ഗ്ലാസിന്റെ തലത്തിൽ നിന്നും, പതനരശ്മിയുടെ ദിശയിൽ 100 cm ദൂരത്താണ് പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്നത്.

9.5.2 ലെൻസിലൂടെയുള്ള അപവർത്തനം (Refraction by a lens)

ഒരു ലെൻസ് എങ്ങനെയാണ് പ്രതിബിംബം രൂപീകരിക്കുന്നതെന്ന് ചിത്രം 9.18(a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. പ്രതിബിംബത്തിന്റെ രൂപപ്പെടലിനെ രണ്ടു ഘട്ടങ്ങളായി കണക്കാക്കാം. ഒന്നാമത്തെ ഘട്ടത്തിൽ ചിത്രം 9.18(b)] യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ O എന്ന വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം ABC എന്ന അപവർത്തനപ്രതലത്താൽ I_1 -ൽ രൂപപ്പെടുന്നു. ഈ പ്രതിബിംബം, രണ്ടാമത്തെ ADC എന്ന അപവർത്തനപ്രതലത്തിന് മിഥ്യാ വസ്തുവായി പ്രവർത്തിച്ച് ചിത്രം 9.18(c) യിൽ കാണുന്നതുപോലെ I -ൽ അവസാന പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്നു. സമവാക്യം 9.15 ABC എന്ന സമ്പർക്കതലത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

ചിത്രം 9.18 (a) ഒരു വസ്തുവിന്റെ സ്ഥാനവും, ഉത്തലലെൻസ് രൂപീകരിച്ച അതിന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനവും, (b) O എന്ന വസ്തുവിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശത്തിന് ആദ്യത്തെ ഗോളീയ പ്രതലം മൂലമുള്ള അപവർത്തനം (c) O എന്ന വസ്തുവിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശത്തിന് രണ്ടാമത്തെ ഗോളീയ പ്രതലംമൂലമുള്ള അപവർത്തനം

$$\frac{n_1}{OB}+\frac{n_2}{BI_1}=\frac{n_2-n_1}{BC_1} \quad (9.17)$$ എന്നു ലഭിക്കുന്നു.

സമവാക്യം 9.15, ADC എന്ന സമ്പർക്കതലത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

$$-\frac{n_2}{DI_1}+\frac{n_1}{DI}=\frac{n_2-n_1}{DC_2} \quad (9.18)$$ എന്ന് ലഭിക്കുന്നു.

കനംകുറഞ്ഞ ലെൻസിനെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം $BI_1=DI_1$. സമവാക്യം 9.17, (9.18), എന്നിവ കൂട്ടുമ്പോൾ

$$\frac{n_1}{OB}+\frac{n_1}{DI}=(n_2-n_1)\left(\frac{1}{BC_1}+\frac{1}{DC_2}\right) \quad (9.19)$$

എന്നു കിട്ടുന്നു.

വസ്തു അനന്തതയിലും (infinity) $DI = f$, ഉം ആണെങ്കിൽ സമവാക്യം 9.19

$$\frac{n_1}{f}=(n_2-n_1)\left(\frac{1}{BC_1}+\frac{1}{DC_2}\right) \quad (9.20)$$ എന്നാകുന്നു. അനന്തതയിൽ വച്ചിരിക്കുന്ന വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്ന മുഖ്യഅക്ഷത്തിലെ ബിന്ദുവിനെ ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ് *(focus)* (F) എന്നു വിളിക്കുന്നു. പ്രകാശിക കേന്ദ്രത്തിൽ നിന്നും ഫോക്കസിലേക്കുള്ള ദൂരമാണ് ഫോക്കസ് ദൂരം *(focal length)* (f). ഒരു ലെൻസിന്, ചിത്രം 9.19 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ ലെൻസിനിരുവശത്തുമായി F, F' എന്നിങ്ങനെ രണ്ടു ഫോക്കസുകൾ ഉണ്ട്. കാർട്ടീഷ്യൻ ചിഹ്ന രീതി അനുസരിച്ച് $BC_1 = +R_1$, $DC_2 = -R_2$

[*] ADC യുടെ വലതു വശത്തുള്ള മാധ്യമത്തിന്റെ അപവർത്തന സ്ഥിരാങ്കം n_1 എന്നതും ഇടത്തെ വശത്ത് n_2 വുമാണ്. പതന പ്രകാശത്തിന്റെ ദിശയ്ക്ക് എതിരെയായി ദൂരം എടുക്കുന്നത് കൊണ്ട് DI_1 നെഗറ്റീവായി എടുക്കുന്നു.

എന്നിങ്ങനെയാണ്. അതുകൊണ്ട് സമവാക്യം 9.20 നെ

$\frac{1}{f}=(n_{21}-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$ (9.21) എന്ന് മാറ്റി എഴുതാം. $\left(\because n_{21}=\frac{n_2}{n_1}\right)$

സമവാക്യം 9.21 ലെൻസ് രൂപീകരണ സമവാക്യം *(lens maker's formula)* എന്ന് അറിയപ്പെടുന്നു. കാരണം ഈ സമവാക്യം ഉപയോഗിച്ച്, അനുയോജ്യമായ വക്രതാ ആരമുള്ള പ്രതലത്തിൽ നിന്നും, ആവശ്യമായ ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ലെൻസുകൾ രൂപകൽപന ചെയ്യുവാൻ സാധിക്കും. കോൺകേവ് ലെൻസുകളിലും ഈ സമവാക്യം ഉപയോഗപ്പെടുത്താവുന്നതാണ്. കോൺകേവ് ലെൻസിൽ R_1 നെഗറ്റീവും R_2 പോസിറ്റീവും ആയതുകൊണ്ട് f നെഗറ്റീവായിരിക്കും.
സമവാക്യം 9.19, 9.20 എന്നിവയിൽ നിന്നും

$$\frac{n_1}{OB}+\frac{n_1}{DI}=\frac{n_1}{f}$$ (9.22) എന്ന് ലഭിക്കുന്നു.

കനംകുറഞ്ഞ ലെൻസിൽ B, D എന്നിവ ലെൻസിന്റെ പ്രകാശ കേന്ദ്രത്തോട് വളരെ അടുത്താണ്. ചിഹ്നരീതി ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ $BO = -u$, $DI = +v$ എന്ന് ലഭിക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട്, സമവാക്യം 9.22

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$ (9.23) എന്നാകുന്നു.

സമവാക്യം 9.23 നെയാണ് കട്ടികുറഞ്ഞ ലെൻസുകളുടെ സമവാക്യം *(thin lens formula)* എന്നു വിളിക്കുന്നത്. ഈ സമവാക്യം എല്ലാത്തരം ലെൻസുകൾക്കും, പ്രതിബിംബം യഥാർത്ഥമാണെങ്കിലും അല്ലെങ്കിലും ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്.

കോൺകേവ് ലെൻസിന്റെയും കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെയും രണ്ടു ഫോക്കസുകളും, പ്രകാശിക കേന്ദ്രത്തിൽ നിന്നും തുല്യദൂരത്തിലാണ് സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നത്. പ്രകാശ സ്രോതസ്സിന്റെ ഒരേ വശത്തുള്ള ഫോക്കസിനെ ആദ്യത്തെ ഫോക്കൽ ബിന്ദു *(first focal point)* എന്നും അടുത്തതിനെ രണ്ടാമത്തെ ഫോക്കൽ ബിന്ദു *(second focal point)* എന്നും വിളിക്കുന്നു.

ലെൻസ് മൂലമുള്ള ഒരു വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം നിർണയിക്കുവാൻ, ആ വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന ഏതെങ്കിലും രണ്ട് പ്രകാശ രശ്മികളെ പരിഗണിച്ചാൽ മതി. ഈ പ്രകാശ രശ്മികൾ, അപവർത്തന നിയമം അനുസരിച്ച് കൂടിച്ചേരുകയോ, കൂടിച്ചേരുന്നതായി തോന്നിക്കുകയോ ചെയ്യുന്ന സ്ഥാനത്തായിരിക്കും പ്രതിബിംബം. താഴെപറയുന്ന രശ്മികളിൽ ഏതെങ്കിലും രണ്ടെണ്ണം തെരഞ്ഞെടുക്കുന്നത് സൗകര്യപ്രദമാണ്.

(i) മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെട്ട് കോൺവെക്സ് ലെൻസിൽ അപവർത്തനം സംഭവിച്ച്, രണ്ടാമത്തെ ഫോക്കസിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന പ്രകാശരശ്മി, അല്ലെങ്കിൽ മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെട്ട് കോൺകേവ് ലെൻസിൽ അപവർത്തനം സംഭവിച്ച്, ആദ്യത്തെ ഫോക്കസ്സിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്നതായി കാണപ്പെടുന്ന പ്രകാശരശ്മി.

(ii) വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെട്ട്, സഞ്ചാരപാതയ്ക്ക് വ്യതിയാനം ഇല്ലാതെ പ്രകാശികകേന്ദ്രത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുന്ന രശ്മി.

ചിത്രം 9.19 (a) ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിലൂടെയുള്ള പ്രകാശരശ്മിയുടെ സഞ്ചാരപാത (b) ഒരു കോൺകേവ് ലെൻസിലൂടെയുള്ള പ്രകാശരശ്മിയുടെ സഞ്ചാരപാത

(iii) വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെട്ട്, ആദ്യത്തെ ഫോക്കസ്സിലൂടെ കടന്ന്, കോൺവെക്സ് ലെൻസിൽ പതിച്ച് മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി കടന്നു പോകുന്ന പ്രകാശ രശ്മി, അല്ലെങ്കിൽ വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുകയും, എന്നാൽ ആദ്യത്തെ ഫോക്കസ്സിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്നതായി കാണപ്പെടുകയും ചെയ്ത് കോൺകേവ് ലെൻസിൽ പതിച്ച് മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി കടന്നു പോകുന്ന രശ്മി. ഒരു കോൺകേവ് ലെൻസിന്റെ കാര്യത്തിലും, ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ കാര്യത്തിലും ഇത്തരം രശ്മികൾ ഉപയോഗിച്ചുള്ള പ്രതിബിംബ രൂപീകരണത്തിന്റെ ചിത്രങ്ങൾ 9.19(a), 9.19(b) എന്നിവയിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ലെൻസിൽനിന്നും വ്യത്യസ്തദൂരങ്ങളിലുള്ള വസ്തുവിൽ നിന്ന് പുറപ്പെടുന്ന രശ്മിയുടെ രേഖാചിത്രം വരച്ച്, ലെൻസ് സമവാക്യത്തിന്റെ ആധികാരികത പരിശോധിക്കാവുന്നതാണ്. ഒരു വസ്തുവിന്റെ ഒരു ബിന്ദുവിൽനിന്നും അനേകം പ്രകാശരശ്മികൾ പുറപ്പെടുന്നുണ്ട്. ഇവയെല്ലാം അപവർത്തനത്തിനുശേഷം പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സമാനമായ ബിന്ദുവിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നു. ദർപ്പണത്തിലേതുപോലെ, ലെൻസിലും രേഖീയ ആവർധനം (m) എന്നത് പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഉയരവും, വസ്തുവിന്റെ ഉയരവും തമ്മിലുള്ള അംശബന്ധമാണ്.

$$m = \frac{h'}{h} = \frac{v}{u} \qquad (9.24)$$

ചിഹ്നരീതി ഈ സമവാക്യത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുകയാണെങ്കിൽ, കോൺകേവ് ലെൻസിലോ, കോൺവെക്സ് ലെൻസിലോ, നിവർന്ന, മിഥ്യാ പ്രതിബിംബങ്ങളിൽ m പോസിറ്റീവാണ്. എന്നാൽ കോൺവെക്സ് ലെൻസിൽ യഥാർത്ഥവും, തലകീഴായതുമായ പ്രതിബിംബങ്ങളിൽ m നെഗറ്റീവാണ്.

ഉദാഹരണം 9.7

ഉദാഹരണം 9.7: *ഒരു മാജിക്കിനിടയിൽ, മജീഷ്യൻ, n = 1.47 ഉള്ള ഒരു ഗ്ലാസ് ലെൻസ്, ബീക്കറിലെ ദ്രാവകത്തിൽ താഴ്ത്തി അപ്രത്യക്ഷമാക്കുന്നു?*

a) *ദ്രാവകത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം എത്ര?*

b) *ഈ ദ്രാവകം, ജലമാണോ?*

ഉത്തരം: a) *ദ്രാവകത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം* 1.47. *അതായത്* $n_1 = n_2$. *അല്ലെങ്കിൽ* $1/f = 0$ or $f \to \infty$. *ദ്രാവകം ജലമല്ല, ഗ്ലിസറിനാണ്.*

9.5.3 ഒരു ലെൻസിന്റെ പവർ (Power of a lens)

ഒരു ലെൻസിന് പ്രകാശത്തെ സംവ്രജിപ്പിക്കാനോ വിവ്രജിപ്പിക്കാനോ ഉള്ള ശേഷിയാണ് പവർ. ചെറിയ ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ലെൻസിൽ പ്രകാശരശ്മികൾ കൂടുതൽ വളയുന്നു. അതായത് കോൺവെക്സ് ലെൻസിൽ കൂടുതൽ സംവ്രജിക്കുകയും കോൺകേവ് ലെൻസിൽ കൂടുതൽ വിവ്രജിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ചിത്രം 9.20 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ, മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി സഞ്ചരിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മി, ലെൻസിന്റെ പ്രകാശിക കേന്ദ്രത്തിൽ നിന്നും യൂണിറ്റ്

അകലത്തിലുള്ള ഒരു ബിന്ദുവിൽ പതിച്ച് വ്യതിചലിക്കുമ്പോൾ രൂപപ്പെടുന്ന കോണളവിന്റെ ടാൻജന്റ് ($\tan\delta$) ആണ് പവർ (P) എന്ന് നിർവചിച്ചിരിക്കുന്നത്. ചിത്രം 9.20 ൽ

$$\tan\delta = \frac{h}{f};\ h = 1 \text{ ആണെങ്കിൽ } \tan\delta = \frac{1}{f}$$

ചിത്രം 9.20 ഒരു ലെൻസിന്റെ പവർ

തീരെ ചെറിയ കോണുകൾക്ക് $\tan\delta = \delta$ ആണ്. അതായത്

$$P = \frac{1}{f} \qquad (9.25)$$

പവറിന്റെ SI യൂണിറ്റ് ഡയോപ്റ്റർ (dioptre D) ആണ് $1D = 1m^{-1}$ ആണ്. ഒരു മീറ്റർ ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ലെൻസിന്റെ പവർ 1D ആണ്. കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ പവർ പോസിറ്റീവും, കോൺകേവ് ലെൻസിന്റെ പവർ നെഗറ്റീവും ആണ്.

ഒരു നേത്രവിദഗ്ധൻ (optician) നിർദ്ദേശിക്കുന്ന ലെൻസിന്റെ പവർ + 2.5 D, ആണെങ്കിൽ ആ ലെൻസ് + 40 cm ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള കോൺവെക്സ് ലെൻസായിരിക്കും. അതുപോലെ ഒരു ലെൻസിന്റെ പവർ – 4.0 ആണെങ്കിൽ, ആ ലെൻസ് – 25 cm ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺകേവ് ലെൻസായിരിക്കും.

ഉദാഹരണം 9.8

ഉദാഹരണം 9.8: *(i) 0.5 m ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒരു ലെൻസിന്റെ പവർ എത്ര? (ii) ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ വക്രതാ കേന്ദ്രത്തിന്റെ അളവുകൾ 10cm, 15cm എന്നിങ്ങനെയും ഫോക്കസ് ദൂരം 12cm ഉം ആണെങ്കിൽ അതിന്റെ ഗ്ലാസിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം എത്ര? (iii) വായുവിൽ 20cm ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒരു ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരം ജലത്തിൽ എത്രയായിരിക്കും? (ജലത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 1.33. ഗ്ലാസ്സിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 1.5. എന്നിങ്ങനെയാണ്.)*

ഉത്തരം

(i) *പവർ = +2 ഡയോപ്റ്റർ*

(ii) *ഫോക്കസ് ദൂരം, $f = +12$ cm, വക്രത ആരം, $R_1 = +10$ cm, $R_2 = -15$ cm.*
വായുവിന്റെ കേവല അപവർത്തനാങ്കം ഒന്നാണെന്ന് കരുതുക.
സമവാക്യം 9.22 പ്രകാരം ലെൻസ് സമവാക്യം ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ, f, R_1, R_2 ഇവയ്ക്ക് ചിഹ്നരീതി ഉപയോഗിച്ചാൽ

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$$

$$\frac{1}{12} = (n-1)\left(\frac{1}{10} - \frac{1}{-15}\right)$$

$n = 1.5$.

(iii) *ലെൻസ് വായുവിലായിരിക്കുമ്പോൾ, $n_2 = 1.5$, $n_1 = 1$, $f = +20$ cm.*

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$$

$$\therefore \frac{1}{20} = 0.5\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$$

ഉദാഹരണം 9.8

മുകളിൽ പറഞ്ഞ അതേ ലെൻസ് ജലത്തിലായിരിക്കുമ്പോൾ ഫോക്കസ് ദൂരം

$$\frac{1.33}{f} = (1.5 - 1.33)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right] \quad (9.26)$$

വായുവിലേയും ജലത്തിലേയും ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരങ്ങളുടെ സമവാക്യങ്ങളിൽ നിന്നും $f = +78.2$ cm എന്ന് ലഭിക്കുന്നു.

9.5.4 കനം കുറഞ്ഞ ലെൻസുകളുടെ സമ്പർക്ക സംയോജനം (Combination of Thin Lenses in Contact)

f_1, f_2 എന്നീ ഫോക്കസ് ദൂരങ്ങളുള്ള A,B എന്നീ ലെൻസുകൾ സ്പർശിക്കുന്ന വിധം കൂട്ടിചേർത്ത് വെച്ചിരിക്കുന്നുവെന്ന് കരുതുക. ചിത്രം 9.21 കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ ആദ്യത്തെ ലെൻസ് A യുടെ ഫോക്കസിനും അപ്പുറമുള്ള ബിന്ദു O യിൽ ഒരു വസ്തു വച്ചിരിക്കുന്നുവെന്നു കരുതുക. ആദ്യത്തെ ലെൻസ്, ഈ വസ്തുവിന്റെ യഥാർത്ഥ പ്രതിബിംബം I_1 ൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്നു. ഈ പ്രതിബിംബം രണ്ടാമത്തെ ലെൻസിന് മിഥ്യാ വസ്തുവായി പ്രവർത്തിക്കുകയും, അവസാനത്തെ പ്രതിബിംബം I -ൽ രൂപപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. ആദ്യത്തെ ലെൻസ് I_1 -ൽ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നുവെന്നു ഊഹിച്ചിരിക്കുന്നത് അവസാനത്തെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിന് മാത്രമാണ് എന്ന് നാം മനസ്സിലാക്കണം. യഥാർഥത്തിൽ രണ്ടാമത്തെ ലെൻസിൽ, പ്രകാശരശ്മികൾ പതിക്കുന്ന കോണളവിനനുസരിച്ചാണ് ആദ്യത്തെ ലെൻസിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന പ്രകാശരശ്മികളുടെ ദിശയ്ക്ക് മാറ്റം വരുന്നത്. ലെൻസുകളുടെ കനം വളരെ കുറവായതുകൊണ്ട് അവയുടെ പ്രകാശിക കേന്ദ്രങ്ങൾ ഒരു ബിന്ദുവിലാണെന്ന് കരുതുക. ഈ ബിന്ദുവിനെ P എന്നു വിളിക്കാം.

ചിത്രം 9.21 കനം കുറഞ്ഞ രണ്ട് ലെൻസുകളുടെ സ്പർശന കൂട്ടുകെട്ടിലൂടെയുള്ള പ്രതിബിംബ രൂപീകരണം

ആദ്യ ലെൻസ് A ഉണ്ടാക്കുന്ന പ്രതിബിംബ പ്രകാരം

$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} \quad (9.27)$$

രണ്ടാമത്തെ ലെൻസ് B ഉണ്ടാക്കുന്ന പ്രതിബിംബ പ്രകാരം

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_2} \quad (9.28)$$

സമവാക്യങ്ങൾ (9.27), (9.28) എന്നിവ കൂട്ടുമ്പോൾ

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (9.29)$$

രണ്ടു ലെൻസുകളുടെ വ്യൂഹത്തെ f ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒറ്റ ലെൻസായി കണക്കാക്കുമ്പോൾ

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

അതായത് $$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (9.30)$$

സംയോജന ലെൻസിൽ എത്ര എണ്ണം ലെൻസുകൾ ഉണ്ടെങ്കിലും, ഈ സമ h mi yw D] t b mKn mm p¶ X mW v $f_1, f_2, f_3, \ldots$ എന്നിങ്ങനെ ഫോക്കസ് ദൂരങ്ങളുള്ള കനം കുറഞ്ഞ ലെൻസുകൾ സ്പർശിച്ചു കൂട്ടി ചേർത്താൽ ലഭിക്കുന്ന സംയോജനലെൻസിന്റെ സഫല ഫോക്കസ്ദൂരം കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിന്.

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}+\frac{1}{f_3}+\ldots \quad (9.31)$$ ഉപയോഗിക്കാം

9.31 എന്ന സമവാക്യത്തെ പവറിൽ എഴുതുമ്പോൾ

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots \qquad (9.32)$$ എന്ന് ലഭിക്കുന്നു.

അതായത് സമ്പർക്ക സംയോജനത്തിലിരിക്കുന്ന ലെൻസുകളുടെ പവർ, ഓരോ ലെൻസിന്റെയും പവറിന്റെ ബീജഗണിത തുകയാണ്. കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ പവർ പോസിറ്റീവായും കോൺകേവ് ലെൻസിന്റെ പവർ നെഗറ്റീവായും കണക്കാക്കുന്നു. ലെൻസുകളുടെ സമ്പർക്ക സംയോജനം ഉപയോഗിച്ച് ആവശ്യാനുസരണം പ്രതിബിംബത്തിന് ആവർധനവും തീവ്രതയും നൽകുവാൻ കഴിയും. ഇങ്ങനെയുള്ള ലെൻസുകളുടെ ആകെ ആവർധനം *(m)* ഓരോ ലെൻസിന്റെയും ആവർധനത്തിന്റെ (m_1, m_2, m_3,...) ഗുണനഫലമാണ്.

അതായത് $m = m_1\, m_2\, m_3\, \ldots$ (9.33)

ഇങ്ങനെയുള്ള ലെൻസുകളുടെ വ്യൂഹം ഉപയോഗിച്ച് ക്യാമറ (camera) മൈക്രോസ്കോപ്പ് (microscope) ടെലിസ്കോപ്പ് (telescope) മുതലായ പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങളുടെ ലെൻസുകൾ രൂപകൽപ്പന ചെയ്യുവാൻ കഴിയും.

ഉദാഹരണം 9.9

ഉദാഹരണം 9.9: ചിത്രം 9.22 -ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന സംയോജിത ലെൻസ് വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുത്തുന്ന സ്ഥാനം നിർണ്ണയിക്കുക.

ഉത്തരം: ആദ്യത്തെ ലെൻസ് പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുത്തുന്ന സ്ഥാനം

$$\frac{1}{v_1}-\frac{1}{u_1}=\frac{1}{f_1},\quad \frac{1}{v_1}-\frac{1}{-30}=\frac{1}{10}$$

അല്ലെങ്കിൽ $v_1 = 15$ cm

ഈ പ്രതിബിംബത്തെ രണ്ടാമത്തെ ലെൻസിന്റെ വസ്തുവായി കണക്കാക്കാം. അതായത്, രണ്ടാമത്തെ ലെൻസിൽ നിന്ന് വസ്തു (15 – 5cm=10cm) ദൂരത്താണ്.

ചിത്രം 9.22

രണ്ടാമത്തെ ലെൻസ് രൂപപ്പെടുത്തുന്ന പ്രതിബിംബം.

$$\frac{1}{v_2}-\frac{1}{10}=\frac{1}{-10}$$ അല്ലെങ്കിൽ $v_2 = \infty$

അതായത് അയഥാർഥ പ്രതിബിംബം, രണ്ടാമത്തെ ലെൻസ് രൂപപ്പെടുത്തുന്നത് അതിന്റെ ഇടത്തുവശത്ത് അനന്തതയിലാണ്. ഈ പ്രതിബിംബം മൂന്നാമത്തെ ലെൻസിന്റെ വസ്തുവായി കണക്കാക്കാം.

അതായത്, $\frac{1}{v_3}-\frac{1}{u_3}=\frac{1}{f_3}$, $\frac{1}{v_3}=\frac{1}{\infty}+\frac{1}{30}$ അല്ലെങ്കിൽ $v_3 = 30$ cm

അതായത് അവസാന പ്രതിബിംബം മൂന്നാമത്തെ ലെൻസിന്റെ വലതുവശത്ത് 30 cm ദൂരത്ത് അകലെ രൂപപ്പെടുന്നു.

9.6 ഒരു പ്രിസത്തിലൂടെയുള്ള അപവർത്തനം (REFRACTION THROUGH A PRISM)

ചിത്രം 9.23 ത്രികോണ പ്രിസത്തിലൂടെയുള്ള ഒരു പ്രകാശരശ്മിയുടെ സഞ്ചാരപാത

ABC ത്രികോണ പ്രിസത്തിലൂടെ പ്രകാശരശ്മിയുടെ സഞ്ചാരപാതയാണ് ചിത്രം 9.23 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്. പ്രിസത്തിന്റെ AB എന്ന ആദ്യത്തെ വായു-ഗ്ലാസ് സമ്പർക്കതലത്തിൽ i പതനകോണും r_1 അപവർത്തന കോണും ആണ്. AC എന്ന രണ്ടാമത്തെ ഗ്ലാസ് - വായു സമ്പർക്കതലത്തിലെ പതനകോണും, അപവർത്തനകോണും r_2, e എന്നിങ്ങനെയാണ്. PQ പതന രശ്മിയും, RS ബഹിർഗമന രശ്മിയും തമ്മിലുള്ള കോണിനെ വ്യതിചലന കോൺ (angle of deviation) (δ) എന്നു വിളിക്കുന്നു.

AQNR, ചതുർഭുജത്തിൽ (Q, R എന്നീ മൂലകളിലെ) രണ്ട് കോണുകൾ മട്ടകോണുകളാണ്. അതുകൊണ്ട് ചതുർഭുജത്തിലെ മറ്റു കോണുകളുടെ തുക 180^0 ആണ്.

അതുകൊണ്ട് $\angle A + \angle QNR = 180^0$

ΔQNR ൽ നിന്നും

$r_1 + r_2 + \angle QNR = 180^0$ ആണ്.

ഈ രണ്ടു സമവാക്യങ്ങളും താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ

$$r_1 + r_2 = A \qquad (9.34)$$

പ്രകാശ രശ്മിക്ക് രണ്ടു സമ്പർക്കതലത്തിലും കൂടി ഉണ്ടാകുന്ന വ്യതിചലന കോണിന്റെ തുകയാണ് ആകെയുള്ള വ്യതിചലന കോൺ. അതായത്

$\delta = (i - r_1) + (e - r_2)$ അല്ലെങ്കിൽ

$$\delta = i + e - A \qquad (9.35)$$

ചിത്രം 9.24 ഒരു ത്രികോണ ഗ്ലാസ് പ്രിസത്തിലെ പതനകോണും വ്യതിചലന കോണും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ്

അതായത് വ്യതിചലന കോൺ, പതനകോണിനെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. വ്യതിചലന കോണും പതനകോണും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫാണ് ചിത്രം 9.24 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്. ഏതൊരു വ്യതിചലന കോണിനും അനുരൂപമായി രണ്ടു പതനകോണും, അതുകൊണ്ട് തന്നെ രണ്ട് ബഹിർഗമന കോണും ഉണ്ടെന്ന് പൊതുവായി പറയാം. എന്നാൽ, പതനകോണും ബഹിർഗമനകോണും തുല്യമായിരിക്കുമ്പോൾ, വ്യതിചലനകോണിന് അനുസൃതമായി ഒരു പതനകോൺ മാത്രമെ ഉണ്ടായിരിക്കുകയുള്ളു. ഇത് ($i = e$) സമവാക്യം (9.35) ന്റെ സമമിതിയിൽ നിന്നു മനസ്സിലാക്കാവുന്നതാണ്. ഈ സമവാക്യത്തിൽ പതനകോണിന്റെയും ബഹിർഗമനകോണിന്റെയും സ്ഥാനം മാറ്റിയാലും, വ്യതിചലനകോണിന്റെ വിലയിൽ മാറ്റം വരുന്നില്ല. അതായത് ചിത്രം 9.23-ൽ പതനകോൺ e ആണെങ്കിൽ ബഹിർഗമനകോൺ i ആയിരിക്കും. രശ്മി സഞ്ചരിക്കുന്നത് ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ വ്യതിചലനത്തിനു (minimum deviation) (D_m) വിധേയമായി ആണെങ്കിൽ അതിന്റെ, പ്രിസത്തിനുള്ളിലൂടെയുള്ള സഞ്ചാരപാത പ്രതലവുമായി സ്പർശിച്ചിരിക്കുന്ന മുഖത്തിന് സമാന്തരമായിരിക്കും.

അതായത് $\delta = D_m$, ആണെങ്കിൽ $i = e$, $r_1 = r_2$ എന്നിങ്ങനെ ആയിരിക്കും

സമവാക്യം (9.34) ൽ നിന്നും

$2r = A$ അല്ലെങ്കിൽ $r = \frac{A}{2}$ (9.36) എന്ന് ലഭിക്കുന്നു.

ഇതുപോലെ

$D_m = 2i - A$, അല്ലെങ്കിൽ $i = (A + D_m)/2$ (9.37) എന്ന് ലഭിക്കുന്നു.

പ്രിസത്തിന്റെ, അത് ഇരിക്കുന്ന മാധ്യമത്തെ അപേക്ഷിച്ചുള്ള അപവർത്തനാങ്കം (n_{21})

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin[(A + D_m)/2]}{\sin[A/2]} \qquad (9.38)$$

പരീക്ഷണത്തിലൂടെ A, D_m എന്നിവ അളക്കാവുന്നതാണ്. സമവാക്യം (9.38) ഉപയോഗിച്ച്, ഒരു പ്രിസം നിർമ്മിച്ചിരിക്കുന്ന വസ്തുവിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം കണ്ടുപിടിക്കാം. പ്രിസത്തിന്റെ കോണളവ് വളരെ ചെറുതാണെങ്കിൽ D_m വളരെ ചെറുതായിരിക്കും. എങ്കിൽ സമവാക്യം 9.38 നെ

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{(A + D_m)/2}{A/2}$$

$D_m = (n_{21} - 1)A$ ആണ്

അതായത് ചെറിയ കോണുകൾ ഉള്ള പ്രിസം പ്രകാശത്തെ വളരെയധികം വ്യതിചലിപ്പിക്കുന്നില്ല.

9.7 പ്രിസത്തിന്റെ പ്രകീർണ്ണനം (DISPERSION OF A PRISM)

പ്രകാശരശ്മി, ഒരു പ്രിസത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോൾ വ്യത്യസ്ത വർണ്ണങ്ങളായി ബഹിർഗമിക്കുമെന്ന് വളക്കെക്കാലം മുമ്പുതന്നെ മനുഷ്യന് അറിവുണ്ടായിരുന്നു. ബഹിർഗമന രശ്മിയിൽ വർണ്ണങ്ങൾ ക്രമമായി വ്യത്യാസപ്പെടുന്നു. ഈ വർണ്ണങ്ങളുടെ ക്രമം; ചിത്രം 9.25 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ വയലറ്റ്, ഇൻഡിഗോ, നീല, പച്ച, മഞ്ഞ, ഓറഞ്ച്, ചുവപ്പ് (VIBGYOR) എന്നിങ്ങനെയാണ്. ഇതിൽ ചുവപ്പിന് ഏറ്റവും കുറവും, വയലറ്റിന് ഏറ്റവും കൂടുതലും, വ്യതിചലന *(deviation)* മുണ്ടാകുന്നു. പ്രിസത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന പ്രകാശരശ്മി അതിന്റെ ഘടക വർണ്ണങ്ങളായി വിഘടിക്കുന്ന പ്രതിഭാസത്തെയാണ് പ്രകീർണ്ണനം എന്ന് വിളിക്കുന്നത്. പ്രകാശത്തിലെ വർണ്ണങ്ങളുടെ ക്രമത്തെയാണ് പ്രകാശത്തിന്റെ വർണ്ണരാജി (spectrum) എന്ന് പറയുന്നത്. ഇപ്പോൾ വർണ്ണരാജി എന്ന വാക്ക് കൂടുതൽ പൊതുവായ അർഥത്തിലാണ് ഉപയോഗിക്കുന്നത്. വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങളുടെ വളരെ വലിയ പരിധിയിലുള്ള വർണ്ണരാജിയെക്കുറിച്ച് നമ്മൾ അധ്യായം എട്ടിൽ പഠിച്ചു. ഈ വർണ്ണരാജിയുടെ പരിധി ഗാമാവികിരണം *(γ-radiation)* മുതൽ റേഡിയോ വികിരണം *(radio waves)* വരെയാണ്. അതിൽ ദൃശ്യപ്രകാശത്തിന്റെ വർണ്ണരാജിയുടെ പരിധി വളരെ ചെറുതാണ്. ഊർജതന്ത്രത്തിന്റെ ചരിത്രത്തിൽ, ഒരു വലിയ ചർച്ചാവിഷയമായിരുന്നു വർണ്ണരാജിയുടെ ഉത്ഭവം. പ്രിസം പ്രകാശ വർണ്ണങ്ങളെ സ്വയം നിർമിക്കുകയാണോ, അല്ലെങ്കിൽ

ചിത്രം 9.25 സൂര്യപ്രകാശം അല്ലെങ്കിൽ ധവളപ്രകാശം ഒരു ഗ്ലാസ് പ്രിസത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോഴുള്ള പ്രകീർണ്ണനം

പ്രിസം പ്രകാശത്തെ ഘടകവർണ്ണങ്ങളായി വിഘടിപ്പിക്കുകയാണോ, തുടങ്ങിയവ ആയിരുന്നു ചർച്ചകൾ. ഇപ്പോൾ പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രകീർണ്ണനം *(Dispersion)* ഒരു പൊതു അറിവ് ആണ്.

ചിത്രം 9.26 പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രകീർണ്ണനവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ന്യൂട്ടന്റെ പരീക്ഷണത്തിന്റെ രേഖാചിത്രം

ന്യൂട്ടന്റെ വളരെ പ്രബലവും, എന്നാൽ വളരെ ലളിതവുമായ ഒരു പരീക്ഷണമാണ്. ഈ ചർച്ചകൾക്ക് അന്ത്യം കുറിച്ചത്. ചിത്രം 9.26-ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ വേറൊരു പ്രിസം ആദ്യത്തെ പ്രിസത്തിന് സമാന്തരമായി തലകീഴായി ക്രമീകരിച്ചപ്പോൾ ആദ്യത്തെ പ്രിസത്തിൽ പതിച്ച പ്രകാശം തന്നെ ബഹിർഗമിക്കുന്നു. ആദ്യത്തെ പ്രിസം പ്രകാശത്തെ വിഘടിപ്പിക്കുകയും, രണ്ടാമത്തെ പ്രിസം പ്രകാശത്തെ ഏകോപിപ്പിക്കുകയും ചെയ്യുന്നതുകൊണ്ടാണ് ആദ്യത്തെ പ്രിസത്തിൽ പതിച്ച അതേ പ്രകാശം രണ്ടാമത്തേതിലൂടെ ബഹിർഗമിക്കുന്നതെന്ന് ന്യൂട്ടൻ വിശദീകരിച്ചു. വ്യത്യസ്ത വർണ്ണങ്ങളുടെ കൂട്ടമാണ് ധവളപ്രകാശം. അത് പ്രിസത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോൾ അതിന്റെ ഘടകവർണ്ണങ്ങളായി വിഘടിക്കുന്നു.

ഗണിതശാസ്ത്രപരമായി നിർവചിച്ചിരിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മി യഥാർത്ഥത്തിൽ നിലനില്ക്കുന്നില്ല. യഥാർത്ഥത്തിൽ ഒരു പ്രകാശരശ്മി അനേകം പ്രകാശരശ്മികൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്നതാണ്. അതുകൊണ്ടാണ് ഒരു പ്രകാശരശ്മി പ്രിസത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോൾ ഘടകപ്രകാശ വർണ്ണങ്ങളായി വിഘടിക്കുന്നത്.

ഓരോ പ്രകാശവർണ്ണത്തിനും, ഓരോ തരംഗദൈർഘ്യമാണുള്ളതെന്ന് ഇപ്പോൾ നമുക്കറിയാം. ദൃശ്യപ്രകാശവർണരാജിയിൽ ഏറ്റവും കൂടുതൽ തരംഗദൈർഘ്യം (~700 nm) ചുവപ്പിനും ഏറ്റവും കുറവ് തരംഗദൈർഘ്യം (~ 400 nm) വയലറ്റിനുമാണ്. മാധ്യമത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം, വ്യത്യസ്ത തരംഗദൈർഘ്യത്തിന് വ്യത്യസ്തമായതുകൊണ്ടാണ് പ്രകീർണ്ണനം സംഭവിക്കുന്നത്. ഉദാഹരണത്തിന് ചുവപ്പ് വർണ്ണത്തിന്റെ വ്യതിചലനം വളരെ കുറവും വയലറ്റ് വർണ്ണത്തിന്റെ വ്യതിചലനം വളരെ കൂടുതലും ആണ്. അതുപോലെ ചുവപ്പു പ്രകാശം താരതമ്യേന വേഗം കൂടിയും, വയലറ്റ് പ്രകാശം താരതമ്യേന വേഗം കുറഞ്ഞുമാണ് ഒരു പ്രിസത്തിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്നത്. ക്രൗൺ ഗ്ലാസ്സിലും ഫ്ളിൻറ് ഗ്ലാസ്സിലും വ്യത്യസ്ത തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾക്കുള്ള അപവർത്തനാങ്കം ആണ് പട്ടിക 9.2 ൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നത്.

പട്ടിക 9.2 വിവിധ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾക്കുള്ള അപവർത്തനാങ്കങ്ങൾ

വർണ്ണം	തരംഗദൈർഘ്യം	ക്രൗൺ ഗ്ലാസ്സ്	ഫ്ളിൻറ് ഗ്ലാസ്സ്
വയലറ്റ്	369.9	1.533	1.663
നീല	486.1	1.523	1.639
മഞ്ഞ	589.3	1.517	1.627
ചുവപ്പ്	656.3	1.515	1.622

കട്ടികൂടിയ ലെൻസുകൾ, വളരെ ചെറിയ പ്രിസങ്ങൾ കൊണ്ട് നിർമിച്ചിരിക്കുന്നു എന്ന് സങ്കല്പിക്കാം. അതുകൊണ്ടാണ് കട്ടികൂടിയ ലെൻസുകൾ പ്രകീർണ്ണനം

മൂലം വർണ്ണവിപഥനം (chromatic aberration) പ്രദർശിപ്പിക്കുന്നത്. തരംഗദൈർഘ്യത്തിനനുസരിച്ച് അപവർത്തനാങ്കത്തിൽ ഉണ്ടാകുന്ന വ്യതിയാനം, ചില മാധ്യമങ്ങളിൽ മറ്റു ചില മാധ്യമങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ച് വളരെ പ്രകടമാണ്. ശൂന്യതയിലെ (വായുവിലെ) പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രവേഗം തരംഗദൈർഘ്യത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. അതായത് എല്ലാ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളും ഒരേ വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള മാധ്യമങ്ങളെ പ്രകീർണ്ണനം ഇല്ലാത്ത മാധ്യമങ്ങൾ എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇതുകൊണ്ടാണ് സൂര്യപ്രകാശം വെളുത്ത പ്രകാശമായി ഭൂമിയിൽ എത്തുന്നത്. അതേ സമയം ഗ്ലാസ്സ് ഒരു പ്രകീർണ്ണനം ഉള്ള മാധ്യമം ആണ്.

9.8 സൂര്യപ്രകാശം ഉണ്ടാക്കുന്ന ചില പ്രകൃതി പ്രതിഭാസങ്ങൾ
(SOME NATURAL PHENOMENA DUE TO SUNLIGHT)

നമുക്ക് ചുറ്റുമുള്ള വസ്തുക്കളും, സൂര്യപ്രകാശവും തമ്മിലുള്ള പരസ്പര പ്രവർത്തനം പല സുന്ദരങ്ങളായ പ്രതിഭാസങ്ങൾക്കും കാരണമാകുന്നു. നമുക്ക് ചുറ്റുമുള്ള എല്ലാ വർണ്ണകാഴ്ചകളും സാധ്യമാകുന്നത് സൂര്യപ്രകാശം കാരണമാണ്. ആകാശത്തിന്റെ നീലവർണ്ണം, മേഘങ്ങളുടെ ധവള വർണ്ണം, ഉദയാസ്തമയവേളകളിലെ സൂര്യബിംബത്തിന്റെ ചുവപ്പ് വർണ്ണം, മഴവില്ല്, മുത്തുചിപ്പിയിലെ ശോഭയാർന്ന വർണ്ണങ്ങൾ എന്നിവയെല്ലാം നമുക്ക് ചുറ്റുമുള്ള പ്രതിഭാസമാണ്. ഇവയിൽ ചിലതിനെക്കുറിച്ച് ഊർജതന്ത്രത്തിന്റെ വീക്ഷണകോണിലൂടെ മനസ്സിലാക്കാം.

PHYSICS

Formation of rainbows
http://www.co.ucar.edu/rainbows
http://www.atoptics.co.uk/bows.htm

9.8.1 മഴവില്ല് (THE RAINBOW)

അന്തരീക്ഷത്തിലെ ജലതുള്ളികളിലൂടെയുള്ള സൂര്യപ്രകാശത്തിന്റെ പ്രകീർണ്ണനത്തിന് ഉദാഹരണമാണ് മഴവില്ല്. പ്രകാശരശ്മികളുടെ ജലതുള്ളികളിലൂടെയുള്ള പ്രതിപതനം, അപവർത്തനം, പ്രകീർണ്ണനം എന്നീ മൂന്ന് പ്രതിഭാസങ്ങളാണ് മഴവില്ലിന് കാരണം. സൂര്യൻ ആകാശത്തിൽ ഒരു വശത്ത് ജ്വലിക്കുകയും, എതിർവശത്ത് മഴ പെയ്തു കൊണ്ടിരിക്കുകയും ചെയ്യുന്ന സമയത്താണ് മഴവില്ല് പ്രത്യക്ഷമാകുന്നത്. അതായത് സൂര്യരശ്മികളുടെ സഞ്ചാര ദിശയുടെ അതേ ദിശയിലേക്ക് നോക്കുമ്പോഴാണ് ഒരു നിരീക്ഷകൻ മഴവില്ല് കാണുന്നത്.

മഴവില്ലിന്റെ രൂപപ്പെടൽ മനസ്സിലാക്കുന്നതിന് ചിത്രം 9.27 (a) ശ്രദ്ധിക്കുക.

സൂര്യപ്രകാശം ജലതുള്ളിയിൽ പതിക്കുമ്പോൾ, വായുജല സമ്പർക്കതലത്തിൽ അപവർത്തനത്തിന് വിധേയമാകുകയും, ജലതുള്ളിയിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ പ്രകീർണ്ണത്തിന് വിധേയമാകുകയും ചെയ്ത് ഘടക വർണ്ണങ്ങളായി വിഘടിക്കുന്നു.

ചിത്രം 9.27 (a) ജലതുള്ളിയിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശം രണ്ടു തവണ അപവർത്തനം സംഭവിച്ച് പ്രതിപതിക്കുന്നു

തരംഗ ദൈർഘ്യം കൂടിയ പ്രകാശരശ്മികൾ (ചുവപ്പ്) കുറച്ചുമാത്രം സഞ്ചാരപാതയിൽ നിന്നും വ്യതിചലിക്കുകയും, തരംഗ ദൈർഘ്യം കുറഞ്ഞ പ്രകാശ രശ്മികൾ കൂടുതൽ വ്യതിചലിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഈ പ്രകാശ രശ്മികൾ, ജലതുള്ളിയുടെ ഉള്ളിൽ ജലവായു സമ്പർക്കതലത്തിൽ ആന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാകുന്നു. ഇങ്ങനെ പ്രതിപതിച്ചുവരുന്ന രശ്മികൾ ജലത്തിനുള്ളിലെ ജലവായു സമ്പർക്ക തലത്തിൽ അപവർത്തനത്തിന് വിധേയമായി ചിത്രത്തിൽ കാണുന്നതുപോലെ നിരീക്ഷകന്റെ കണ്ണിൽ പതിക്കുന്നു. ജലത്തുള്ളികളിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മിയുടെ ദിശയും ജലത്തുള്ളിയിൽ നിന്നും ബഹിർഗമിക്കുന്ന പ്രകാശ രശ്മിയുടെ ദിശയും തമ്മി

ലുള്ള കോണളവ് വയലറ്റിന് 40^0 യും ചുവപ്പിന് 42^0 യും ആണ്. ബാക്കിയുള്ള വർണ്ണങ്ങളുടെ കോൺ, ഈ രണ്ട് കോണളവുകൾക്കിടയിലാണ്.

പ്രാഥമിക (primary) മഴവില്ലിന്റെ രൂപപ്പെടൽ ചിത്രം 9.27 (b) യിൽ വിശദീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. ചിത്രത്തിൽ ഒന്നാമത്തെ ജലത്തുള്ളിയിൽ നിന്നും ചുവപ്പു രശ്മിയും രണ്ടാമത്തെ ജലത്തുള്ളിയിൽ നിന്ന് വയലറ്റ് രശ്മിയും ആണ് നിരീക്ഷകന്റെ കണ്ണിൽ പതിക്കുന്നത്. അതുകൊണ്ട് പ്രാഥമിക മഴവില്ലിന്റെ പുറത്തെ അരുകിൽ ചുവപ്പും ഉള്ളിലെ അരുകിൽ വയലറ്റും ആണ് കാണുന്നത്.

ചിത്രം 9.27 (b) പ്രാഥമിക മഴവില്ല് രൂപപ്പെടുത്തുന്ന പ്രകാശരശ്മിയുടെ അപവർത്തനത്തിന്റെയും ആന്തകരിക പ്രതിപതനത്തിന്റേയും വിപുലീകരിച്ച കാഴ്ച

ചിത്രം 9.27 (c) ജലത്തുള്ളിയുടെ ഉള്ളിൽ പ്രകാശരശ്മി രണ്ട് പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമായി ദ്വിതീയ മഴവില്ല് രൂപപ്പെടുന്നു.

ജലതുള്ളിയുടെ ഉള്ളിൽ പ്രകാശരശ്മി ഒന്നിനു പകരം രണ്ട് ആന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാകുകയാണെങ്കിൽ ദ്വിതീയ (secondary) മഴവില്ല് രൂപപ്പെടുന്നു. ചിത്രം 9.27(c)യിലേതുപോലെ ഇത് ഒരു നാല് ഘട്ട പ്രക്രിയയാണ്. ദ്വിതീയ മഴവില്ലിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത കുറവായതുകൊണ്ട് ഇത് പ്രാഥമിക മഴവില്ലിനെ അപേക്ഷിച്ച് നിറം മങ്ങിയതായി കാണപ്പെടുന്നു. മാത്രവുമല്ല. ഇതിൽ വർണ്ണങ്ങളുടെ ക്രമം, പ്രാഥമിക മഴവില്ലിന്റെ നേർവിപരീതത്തിലുമാണ്.

9.8.2 പ്രകാശത്തിന്റെ വിസരണം (Scattering of Light)

ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്ന സൂര്യപ്രകാശത്തിന് അന്തരീക്ഷ കണികകളിൽ തട്ടി വിസരണം സംഭവിക്കുന്നു. തരംഗദൈർഘ്യം കുറഞ്ഞ പ്രകാശരശ്മികൾക്കുണ്ടാകുന്ന വിസരണം തരംഗദൈർഘ്യം കൂടിയ പ്രകാശരശ്മികൾക്കുണ്ടാകുന്നതിനേക്കാൾ കൂടുതലായിരിക്കും. റാലെ (Rayleigh) വിസരണ നിയമത്തിനനുസരിച്ച് വിസരണത്തിന്റെ അളവ്, തരംഗദൈർഘ്യത്തിന്റെ നാലാം വർഗത്തിന് വിപരീത അനുപാതത്തിലാണ്. ഈ നിയമം അനുസരിച്ച് ചുവപ്പ് വർണ്ണത്തെ അപേക്ഷിച്ച് നീലവർണ്ണത്തിന് കൂടുതൽ വിസരണം സംഭവിക്കുന്നു. ഇതുകൊണ്ടാണ് ആകാശം നീലവർണ്ണത്തിൽ കാണപ്പെടുന്നത്. യഥാർത്ഥത്തിൽ വയലറ്റ് വർണ്ണത്തിനാണ് നീല വർണ്ണത്തേക്കാൾ കൂടുതൽ വിസരണം സംഭവിക്കുന്നത്. പക്ഷെ നമ്മുടെ നേത്രങ്ങൾക്ക് സംവേദക്ഷമത (sensitivtiy) വയലറ്റു വർണ്ണത്തേക്കാൾ കൂടുതൽ നീല വർണ്ണത്തോടായതുകൊണ്ടാണ് ആകാശം നീല വർണ്ണത്തിൽ കാണപ്പെടുന്നത്.

അന്തരീക്ഷത്തിലെ പൊടിപടലങ്ങളുടെയും ജലത്തിന്റെയും വലിയ കണികകൾ റാലെയുടെ വിസരണ നിയമം അനുസരിക്കുന്നില്ല. ഈ കണികകളിൽ എല്ലാ

തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾക്കും തുല്യമായാണ് വിസരണം സംഭവിക്കുന്നത്. അതുകൊണ്ടാണ് വലിയ ജലകണികകൾകൊണ്ട് രൂപപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന മേഘങ്ങൾ വെള്ളവർണ്ണമായി കാണപ്പെടുന്നത്. റാലെയുടെ വിസരണ നിയമം പാലിക്കണമെങ്കിൽ കണികകളുടെ വലിപ്പം (a) തരംഗദൈർഘ്യത്തെ (λ) അപേക്ഷിച്ച് വളരെ കുറവായിരിക്കണം. അതായത് $a << \lambda$. സൂര്യോദയത്തിലും, സൂര്യാസ്തമയത്തിലും, പ്രകാശരശ്മികൾ നിരീക്ഷകന്റെ നേത്രത്തിൽ എത്തുന്നത് വളരെ ദൂരം അന്തരീക്ഷത്തിലൂടെ സഞ്ചരിച്ചാണ്. അതുകൊണ്ട് കുറഞ്ഞ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വയലറ്റ് വർണ്ണം, നീലവർണ്ണം മുതലായവ വിസരണത്തിലൂടെ കൂടുതൽ നീക്കം ചെയ്യപ്പെടുകയും കൂടുതൽ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള ചുവപ്പ് വർണ്ണം, ഓറഞ്ച് വർണ്ണം മുതലായവ നിരീക്ഷകന്റെ നേത്രത്തിൽ കൂടുതൽ പതിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. അതുകൊണ്ടാണ് ചിത്രം 9.28 ലെ പോലെ ചക്രവാളത്തിൽ സൂര്യബിംബം ഇളം ചുവപ്പുനിറത്തിൽ കാണപ്പെടുന്നത്.

ചിത്രം 9.28 സൂര്യോദയത്തിലും, സൂര്യാസ്തമയത്തിലും, പ്രകാശരശ്മികൾ അന്തരീക്ഷത്തിലൂടെ വളരെ ദൂരം സഞ്ചരിക്കുന്നു

9.9 പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങൾ (Optical Instruments)

ദർപ്പണങ്ങളുടെ പ്രതിപതന സ്വഭാവവിശേഷം, ലെൻസുകളുടെയും, പ്രിസങ്ങളുടേയും അപവർത്തന സ്വഭാവവിശേഷം എന്നിവ ഉപയോഗിച്ച് ഒട്ടനവധി പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങളും യന്ത്രങ്ങളും രൂപകൽപ്പന ചെയ്തിട്ടുണ്ട്. പെരിസ്കോപ്പ് (periscope), കാലിഡൊസ്കോപ്പ് (kalidoscope), ബൈനോകുലർ (binocular), ദൂരദർശിനി, സൂക്ഷ്മദർശിനി എന്നിവ സാധാരണ ഉപയോഗിക്കുന്ന പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങൾക്ക് ഉദാഹരണങ്ങളാണ്. പ്രകൃതി നമുക്ക് അനുഗ്രഹിച്ച് നൽകിയിരിക്കുന്ന ഏറ്റവും പ്രധാനപ്പെട്ട പ്രകാശിക ഉപകരണമാണ് നേത്രം. നേത്രത്തിന്റെ പ്രവർത്തനത്തിൽ ആരംഭിച്ച് ദൂരദർശിനിയുടെയും സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെയും പ്രവർത്തനങ്ങൾ നമുക്ക് പഠിക്കാം.

9.9.1 നേത്രം (The eye)

ചിത്രം 9.29(a) യിൽ നേത്രത്തിന്റെ ചിത്രം കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. നേത്രത്തിന്റെ മുൻപിലുള്ള കോർണിയ (cornea) എന്ന വക്രതലത്തിലൂടെയാണ് പ്രകാശം നേത്രത്തിനുള്ളിൽ പ്രവേശിക്കുന്നത്. നേത്രത്തിനുള്ളിൽ പ്രവേശിച്ച പ്രകാശം ഐറിസിന്റെ (Iris) മധ്യഭാഗത്തുള്ള പ്യൂപ്പിൾ (pupil) എന്ന സുഷിരത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നു. പേശികളുടെ സഹായത്താൽ പ്യൂപ്പിളിന്റെ വലിപ്പം ക്രമീകരിക്കുവാൻ കഴിയും. പ്യൂപ്പിളിലൂടെ കടന്നുവരുന്ന പ്രകാശത്തെ നേത്രലെൻസ് റെറ്റിന (retina)യിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നു. നേത്രത്തിന്റെ പുറകുവശത്ത് നാഡീതന്തുക്കൾകൊണ്ട് ആവരണം ചെയ്തിരിക്കുന്ന പാടയാണ് (film) റെറ്റിന.

ചിത്രം 9.29 (a) നേത്രത്തിന്റെ ഘടന

റെറ്റിനയിലെ റോഡുകളും (rods), കോണുകളും യഥാക്രമം, പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രതയും, പ്രകാശത്തിലെ വർണ്ണങ്ങളെയും തിരിച്ചറിയുകയും അവയെ വൈദ്യുത സിഗ്നൽ ആക്കി പ്രകാശികനാഡി (optic nerve)കളിലൂടെ മസ്തിഷ്കത്തിൽ (brain) എത്തിക്കുകയും ചെയ്യും. മസ്തിഷ്കം വൈദ്യുത സിഗ്നലിനെ

വിവരങ്ങൾ (information) ആക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. നേത്രലെൻസിന്റെ വക്രതയും അതുവഴി ഫോക്കസ്ദൂരവും സിലിയറി (ciliary) പേശികൾ ഉപയോഗിച്ച് ക്രമീകരിക്കാവുന്നതാണ്.

ഉദാഹരണത്തിന് സിലിയറിപേശികൾ വിശ്രമാവസ്ഥയിൽ ആയിരിക്കുമ്പോൾ നേത്രലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരം ഏകദേശം 2.5cm ആയിരിക്കുകയും. അനന്തതയിലുള്ള വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം കൃത്യമായി റെറ്റിനയിൽ പതിയുകയും ചെയ്യുന്നു. വസ്തുവിന്റെ സ്ഥാനം നേത്രത്തിന് അടുത്തായിരിക്കുമ്പോൾ സിലിയറി പേശികളുടെ പ്രവർത്തനത്താൽ നേത്രലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരം കുറയുന്നു. നേത്രലെൻസിന്റെ ഈ പ്രത്യേകതയേയാണ് കണ്ണിന്റെ പൊരുത്തപ്പെടൽ (accommodation) എന്ന് അറിയപ്പെടുന്നത്. പക്ഷെ വസ്തു കണ്ണിന് വളരെ അടുത്താണെങ്കിൽ, റെറ്റിനയിൽ പ്രതിബിംബം ശരിയായി പതിയുന്നവിധം നേത്രലെൻസിന്റെ വക്രത ക്രമീകരിക്കപ്പെടാതിരിക്കുകയും വസ്തു അസ്പഷ്ടമായി (blurred) കാണപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. ശരിയായ പ്രതിബിംബം റെറ്റിനയിൽ രൂപീകരിക്കുന്നതിന് നേത്രലെൻസിൽ നിന്നും വസ്തുവിലേക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തെ വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരം (least distance of distinct vision) അല്ലെങ്കിൽ സമീപ ദൂരം (near point) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഒരു സാധാരണ മനുഷ്യന്റെ വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരം 25cm ആയിട്ടാണ് എടുക്കുന്നത്. സിലിയറി പേശികളുടെ കഴിവ് കുറയുന്നതുകൊണ്ടും, നേത്രലെൻസിന്റെ വഴക്കം (flexibiltiy) കുറയുന്നതുകൊണ്ടും, വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരം പ്രായത്തിനനുസരിച്ച് കൂടുന്നു. വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരം 10 വയസ്സിൽ താഴെയുള്ള കുട്ടികൾക്ക് 7cm മുതൽ 8cm വരെയും 60 വയസ്സിൽ ഇത് 200 cm വരെയും ആണ്. അതുകൊണ്ട് പ്രായമായ ഒരാൾ 25cm ദൂരത്തിലുള്ള ഒരു വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം അസ്പഷ്ടമായി കാണുന്നു. നേത്രത്തിന്റെ ഈ ന്യൂനതയെ വെള്ളെഴുത്ത് (presbyopia) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഈ ന്യൂനത പരിഹരിക്കുവാൻ കോൺവെക്സ് ലെൻസുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു.

വളരെ സങ്കീർണ്ണമായ പ്രക്രിയകളിലൂടെ, വൈദ്യുത കാന്തിക തരംഗങ്ങളെ പ്രതിബിംബങ്ങളായി രൂപപ്പെടുത്തുവാൻ കഴിയുന്ന വിസ്മയകരമായ ഒരു അവയവമാണ് നേത്രം. വിലമതിക്കാനാവാത്ത സമ്പാദ്യമായതിനാൽ നമ്മൾ ഇതിനെ വളരെ കരുതലോടെ സംരക്ഷിക്കണം. ഈ അവയവം പ്രവർത്തനക്ഷമം അല്ലാതിരുന്നിട്ടും സാധാരണ ജീവിതം നയിക്കുന്ന ഒട്ടേറെപേർ നമുക്കിടയിലുണ്ട്. അവർ കാണിക്കുന്ന ഈ മനോധൈര്യത്തിന് അവർ നമ്മുടെ പ്രശംസ അർഹിക്കുന്നു.

ചിത്രം 9.29 (b) നേത്രത്തിലെ ഹ്രസ്വദൃഷ്ടിയും അതിന്റെ പരിഹാരവും

ചിത്രം 9.29 (c) നേത്രത്തിലെ ദീർഘദൃഷ്ടിയും അതിന്റെ പരിഹാരവും

എന്തെല്ലാം മുൻകരുതൽ എടുത്താലും, വ്യത്യസ്ത കാരണങ്ങളാൽ, ചില ന്യൂനതകൾ നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടാറുണ്ട്. നേത്രത്തിന്റെ ചില പ്രകാശിക ന്യൂനതകൾ നമുക്ക് പഠിക്കാം. നേത്രത്തിൽ നിന്നും വളരെ ദൂരെയുള്ള വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം റെറ്റിനയുടെ മുൻപിൽ രൂപപ്പെടുന്ന ന്യൂനതയെ ഹ്രസ്വദൃഷ്ടി (near sightedness, myopia) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഈ ന്യൂനത പരിഹരിക്കുവാൻ ചിത്രം 9.29b യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ കോൺകേവ്ലെൻസുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. നേത്രത്തിൽ പ്രവേശിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മിയെ, നേത്രലെൻസ്, റെറ്റിനയുടെ പുറകിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്ന ന്യൂന

തയാണ് ദീർഘദൃഷ്ടി (hyper metropia). ഈ ന്യൂനത പരിഹരിക്കുവാൻ 9.29c യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ കോൺവെക്സ് ലെൻസുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. റെറ്റിന ഗോളീയം അല്ലാത്തതുകൊണ്ട് കാഴ്ചയിലുണ്ടാകുന്ന ന്യൂനതയെ അസ്റ്റിഗ്മാറ്റിസം (astigmatism) എന്നു പറയുന്നു. റെറ്റിന ഗോളീയം അല്ലെങ്കിൽ ലംബതലത്തിലുള്ള വക്രതയും സമാന്തരതലത്തിലുള്ള വക്രതയും വ്യത്യസ്തമായിരിക്കും. ഈ ന്യൂനത ഉള്ള ഒരാൾ ഒരു കമ്പിയോ അല്ലെങ്കിൽ ഒരു കമ്പിവലയോ കാണുമ്പോൾ ഏതെങ്കിലും ഒരു തലത്തിലുള്ള പ്രതിബിംബം മാത്രം, വ്യക്തമായിരിക്കും.

ചിത്രം 9.29 (d)
(d)

ഈ ന്യൂനത പരിഹരിക്കുന്നതിന് ചിത്രം 9.29 (d)-യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ സിലിണ്ടറാകൃതിയിലുള്ള ലെൻസുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. അസ്റ്റിഗ്മാറ്റിസം എന്ന ന്യൂനത ഹ്രസ്വദൃഷ്ടിയോടും ദീർഘദൃഷ്ടിയോടും കൂടി ചേർന്നുണ്ടാകാം.

ഉദാഹരണം 9.10: ഒരു വ്യക്തിയുടെ വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞദൂരം 50 cm ആണെങ്കിൽ അയാൾ വായിക്കാനുപയോഗിക്കുന്ന കണ്ണടയുടെ ഫോക്കസ്ദൂരം എത്ര ആയിരിക്കണം.?

ഉത്തരം: സാധാരണ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ദൂരം 25 cm ആണ്. അതുകൊണ്ട് $u = -25$ cm. ആണെങ്കിൽ $v = -50$ cm. ആയിരിക്കണം. അതുകൊണ്ട് ആവശ്യമായ ഫോക്കസ്ദൂരം

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{50} - \frac{1}{25}$$

അതായത് + 50 cm ഫോക്കസ്ദൂരം ഉള്ള കോൺവെക്സ് ഉപയോഗിക്കണം.

ഉദാഹരണം 9.10

ഉദാഹരണം 9.11:

(a) ഹ്രസ്വദൃഷ്ടിയുള്ള ഒരു വ്യക്തിക്ക് വ്യക്തമായി കാണാവുന്ന വസ്തുവിന്റെ ദൂരം അയാളുടെ നേത്രത്തിൽ നിന്നും 80 cm ദൂരത്താണ്. വളരെ ദൂരെയുള്ള വസ്തുക്കളെ കാണുവാൻ അദ്ദേഹം ധരിക്കേണ്ട ലെൻസിന്റെ പവർ എത്ര?

(b) ന്യൂനത പരിഹരിക്കുവാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന ലെൻസ് ഏതു വിധത്തിൽ ആണ് അദ്ദേഹത്തെ സഹായിക്കുന്നത്. ഈ ലെൻസ് ദൂരയുള്ള വസ്തുക്കളെ അപവർത്തനത്തിന് വിധേയമാക്കുമോ? വിശദമാക്കുക.

(c) ഈ ലെൻസ് ധരിക്കാതെ പുസ്തകങ്ങൾ വായിക്കാനാണ് ഇദ്ദേഹം ഇഷ്ടപ്പെടുന്നത്. എന്തുകൊണ്ടാണ് വിശദമാക്കുക.

ഉത്തരം:

(a) ഇവിടെ $u = -80$ cm, $V = \infty$

അതുകൊണ്ട് $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$

അല്ലെങ്കിൽ $f = -u$ അതായത് ഇദ്ദേഹം 80cm ഫോക്കൽദൂരമുള്ള ഒരു കോൺകേവ് ലെൻസ് ഉപയോഗിക്കുന്നു. ലെൻസിന്റെ പവർ – 1.25 D ആണ്.

ഉദാഹരണം 9.11

ഉദാഹരണം 9.11

(b) ആവർധനം ഉണ്ടാക്കുന്നില്ല. യഥാർത്ഥത്തിൽ കോൺകേവ്ലെൻസുകൾ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ വലുപ്പം വസ്തുവിന്റേതിനേക്കാൾ കുറയ്ക്കുകയാണ് ചെയ്യുന്നത്. ദൂരെയുള്ള ഒരു വസ്തുവും, പ്രതിബിംബവും, കണ്ണിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണളവ് തുല്യമാണ്. ന്യൂനത പരിഹരിക്കുവാൻ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന ലെൻസ് വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം ആവർധനം കൊണ്ടല്ല, മറിച്ച് നേത്രലെൻസിന് റെറ്റിനയിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കാവുന്ന രീതിയിൽ, വസ്തുവിനെ നേത്രത്തിന്റെ അടുത്ത് കൊണ്ടുവരുന്നതുകൊണ്ടാണ് ദൂരെയുള്ള വസ്തുക്കളെ നേത്രത്തിന് വളരെ വ്യക്തമായി കാണാൻ സാധിക്കുന്നത്.

(c) ഹ്രസ്വദൃഷ്ടിയുള്ള ഒരാളുടെ വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള എറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരം 25cmഓ, അല്ലെങ്കിൽ അതിൽ കുറവോ ആയിരിക്കും. കണ്ണട ഉപയോഗിച്ച് ബുക്ക് വായിക്കുമ്പോൾ ബുക്ക് 25cmൽ കൂടുതൽ അകലത്തിൽ പിടിച്ചാൽ മാത്രമേ കോൺകേവ്ലെൻസ് ബുക്കിന്റെ പ്രതിബിംബം 25cm-നുള്ളിൽ രൂപപ്പെടുത്തുകയുള്ളൂ. വസ്തുവിന്റെ (ബുക്കിന്റെ) കോണീയ വലുപ്പം 25cm-ൽ കൂടുതൽ ദൂരത്തായിരിക്കുമ്പോൾ, 25cm- നുള്ളിൽ ഉള്ള കോണീയ വലുപ്പത്തേക്കാൾ കുറവായിരിക്കും. അതുകൊണ്ടാണ് ഹ്രസ്വദൃഷ്ടിയുള്ള ആൾ കണ്ണട ധരിച്ച് വായിക്കുവാൻ ഇഷ്ടപ്പെടാത്തത്.

ഉദാഹരണം 9.12

ഉദാഹരണം 9.12 :

(a) ദീർഘദൃഷ്ടിയുള്ള ഒരാളുടെ വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള കുറഞ്ഞ ദൂരം 75cm ആണ്. 25cm ദൂരത്തിലുള്ള ഒരു ബുക്ക് വായിക്കുവാൻ ഉപയോഗിക്കേണ്ട ലെൻസിന്റെ പവർ എത്ര?

(b) ന്യൂനത പരിഹരിക്കുവാൻ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന ലെൻസ് ഏത് വിധത്തിലാണ് ഇദ്ദേഹത്തെ സഹായിക്കുന്നത്. ഈ ലെൻസ് നേത്രത്തിന് അടുത്തുള്ള വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബത്തെ ആവർധനവിധേയമാക്കുന്നുണ്ടോ?

(c) കണ്ണട ധരിക്കാതെ ആകാശം വീക്ഷിക്കുവാൻ ഇയാൾ ഇഷ്ടപ്പെടുന്നത് എന്തുകൊണ്ടാണ് വിശദമാക്കുക.

ഉത്തരം :

(a) $u = -25$ cm, $v = -75$ cm

$1/f = 1/25 \quad 1/75$. അതായത് $f = 37.5$ cm. പവർ $P = +2.67$ D. ന്യൂനത പരിഹരിക്കുവാൻ +2.67 D. പവർ ഉള്ള ലെൻസ് വേണം

(b) ന്യൂനത പരിഹരിക്കാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന ലെൻസ് 25 cm ദൂരെയുള്ള വസ്തുവിന്റെ മിഥ്യാ പ്രതിബിംബം 75 cm ദൂരത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്നു. വസ്തുവിന്റെയും പ്രതിബിംബത്തിന്റെയും കോണീയ വലുപ്പം തുല്യമാണ്. അതായത് ലെൻസ്, വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന് ആവർധനം ഉണ്ടാക്കാതെ, വസ്തുവിനെ ദീർഘദൃഷ്ടിയുള്ള ആളുടെ വ്യക്തമായ കാഴ്ചാ ദൂരത്തേക്ക് കൊണ്ടുവരുകയും, അത് റെറ്റിനയിൽ പതിപ്പിക്കുകയും മാത്രമെ ചെയ്യുന്നുള്ളൂ. എന്നിരുന്നാലും, കോണീയ വലുപ്പം, 75 cm ദൂരത്തിൽ വെച്ചിരിക്കുന്ന വസ്തുവിനെ കണ്ണടയില്ലാതെ വീക്ഷിക്കുന്നതിലും കൂടുതലാണ്.

(c) ദീർഘദൃഷ്ടിയുള്ള ഒരാളുടെ കണ്ണിന് വളരെ ദൂരത്ത് നിന്നും വരുന്ന പ്രകാശരശ്മികളെ റെറ്റിനയിൽ പതിപ്പിക്കാനുള്ള കഴിവുണ്ട്. ന്യൂനതപരിഹരിക്കാനുള്ള കണ്ണട ധരിക്കുമ്പോൾ പ്രകാശരശ്മികൾക്ക് കൂടുതൽ കേന്ദ്രീകരണം സംഭവിക്കുകയും കാഴ്ചയ്ക്ക് ബുദ്ധിമുട്ടുണ്ടാകുകയും ചെയ്യും. അതുകൊണ്ടാണ് ദീർഘദൃഷ്ടിയുള്ള ഒരാൾ കണ്ണട ധരിക്കാതെ ആകാശം വീക്ഷിക്കുവാൻ ഇഷ്ടപ്പെടുന്നത്.

9.9.2 ലഘു സൂക്ഷ്മദർശിനി (Simple Microscope)

ചിത്രം 9.30 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ, ചെറിയ ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിനെയാണ് ലഘുസൂക്ഷ്മദർശിനി (microscope) എന്ന് വിളിക്കുന്നത്. ലഘുസൂക്ഷ്മദർശിനി ആയി ഒരു കോൺവെക്സ്ലെൻസ് ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ, ലെൻസിൽനിന്നും ഒരു ഫോക്കസ് ദൂരം അകലെയോ അല്ലെങ്കിൽ അതിനുള്ളിലോ, വസ്തുവും, മറുവശത്ത് ലെൻസിന് അടുത്തായി നേത്രവും ക്രമീകരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 9.30 (a) നേത്രത്തിന്റെ സമീപ ബിന്ദുവിൽ പ്രതിബിംബം ലഭിക്കുന്നവിധം ലഘുസൂക്ഷ്മ ദർശിനി ക്രമീകരിച്ചിരിക്കുന്നു.

ഇങ്ങനെ ക്രമീകരിക്കുമ്പോൾ വസ്തുവിന്റെ നിവർന്നതും ആവർധനം സംഭവിച്ചതും അയഥാർത്ഥവും ആയ പ്രതിബിംബം, വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ദൂരത്തിൽ ലഭിക്കുന്നു. ഫോക്കസ്സിലുള്ള വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം അനന്തതയിലാണ് ലഭിക്കുന്നത്. ഫോക്കസ് ദൂരത്തിനേക്കാൾ കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിലാണ് വസ്തു എങ്കിൽ, അതിന്റെ മിഥ്യാ പ്രതിബിംബം അനന്തതയേക്കാൾ കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിൽ ലഭിക്കുന്നു.

സൗകര്യപ്രദമായി പ്രതിബിംബം കാണാനുള്ള ദൂരം, വ്യക്തകാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരമാണെങ്കിലും, ഈ ദൂരം നേത്രത്തിന് ആയാസം ഉളവാക്കുന്നു.

നേത്രത്തിന് ഏറ്റവും അനുയോജ്യമായത് പ്രതിബിംബം അനന്തതയിൽ രൂപപ്പെടുന്നതാണ്. പ്രതിബിംബം വ്യക്തമായ കാഴ്ചക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിൽ രൂപപ്പെടുന്ന ചിത്രം (9.30 a) യിലും പ്രതിബിംബം അനന്തതയിലുണ്ടാകുന്ന ചിത്രം (9.30bയിലും cയിലും) ആയി കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഒരു സൂക്ഷ്മദർശിനിയിൽ പ്രതിബിംബം വ്യക്തമായ കാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തായിരിക്കുമ്പോൾ ഉണ്ടാകുന്ന രേഖീയ ആവർധനം (linear magnification) (m) ലഭിക്കുന്നതിനുള്ള സമവാക്യം

ചിത്രം 9.30 (b) വസ്തു നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണും സമീപ ബിന്ദുവും

$$m = \frac{v}{u} = v\left(\frac{1}{v} - \frac{1}{f}\right) = \left(1 - \frac{v}{f}\right)$$ ആണ്.

ചിഹ്നരീതി പരിഗണിക്കുമ്പോൾ v നെഗറ്റീവും അതിന്റെ അളവ് D യും ആണ്. അതായത് ആവർധനം

$$m = \left(1 + \frac{D}{f}\right) \qquad (9.39)$$

$D \sim 25$ cm, ആണെങ്കിൽ 6 മടങ്ങ് ആവർധനം ലഭിക്കുവാൻ 5cm ഫോക്കസ് ദൂരം ഉള്ള കോൺവെക്സ് ലെൻസ് ഉപയോഗിക്കണം.

(c)
ചിത്രം 9.30 (c) വസ്തു ഫോക്കൽദൂരത്തിനടത്തും, പ്രതിബിംബം അനന്തതയേക്കാൾ അടുത്തും

ആവർധനം $m = h'/h$ എന്ന സമവാക്യത്തിൽ h' പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഉയരവും hവസ്തുവിന്റെ ഉയരവും ആണ്. വ്യക്തകാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിൽ വസ്തു നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണും പ്രതിബിംബം നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണും (യഥാർഥത്തിൽ കോൺ h/u ആണ്) തമ്മിലുള്ള അംശബന്ധത്തേയും ആവർധനം എന്നു വിളിക്കുന്നു. യഥാർഥത്തിൽ ഒറ്റ ലെൻസുകൊണ്ട് നിർമ്മിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു സൂക്ഷ്മദർശിനി നേത്രത്തിന്റെ വ്യക്തമായകാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിനുള്ളിലേക്ക് വസ്തുവിനെ കൊണ്ടുവരുവാൻ സഹായിക്കുകയാണ് ചെയ്യുന്നത്.

അനന്തതയിലുള്ള വസ്തുവിന്റെ ആവർധനം കണ്ടുപിടിക്കുന്നത് എങ്ങനെയെന്നു നോക്കാം. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ കോണീയ ആവർധനം (*angular* magnification) ആണ് കണ്ടുപിടിക്കേണ്ടത്. ഒരു വസ്തുവിന്റെ ഉയരം h ആണെന്ന് കരുതുക. ഈ വസ്തു വ്യക്തകാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിൽ (D) ആയിരിക്കുമ്പോളാണ് ഏറ്റവും തെളിഞ്ഞ് കാണുന്നതും, ഏറ്റവും വലിയ കോൺ നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്നതും. ഈ അവസ്ഥയിൽ, വസ്തു നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണളവ്

$$\tan\delta_o = \left(\frac{h}{D}\right) \approx \theta_o \qquad (9.40)$$

വസ്തു u ദൂരത്തായിരിക്കുമ്പോൾ, പ്രതിബിംബം നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണളവ് കണ്ടുപിടിക്കാം.

$$m = \frac{h'}{h} = \frac{v}{u}$$

എന്ന സമവാക്യത്തിൽ നിന്നും, പ്രതിബിംബം നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണളവ്

$$\tan\theta_i = \frac{h'}{-v} = \frac{h}{-v}\cdot\frac{v}{u} = \frac{h}{-u} \approx \theta_i \text{. ആണ്.}$$

$u = -f$ ആയിരിക്കുമ്പോൾ വസ്തു നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണളവ്

$$\theta_i = \left(\frac{h}{f}\right) \qquad (9.41) \text{ ആണ്.}$$

അതുകൊണ്ട് കോണീയ ആവർധനം

$$m = \left(\frac{\theta_i}{\theta_o}\right) = \frac{D}{f} \qquad (9.42) \text{ ആണ്.}$$

ഇത് സമവാക്യം 9.39 അനുസരിച്ചുള്ളതിനേക്കാളും ആവർധനം ഒന്ന് കുറവാണെങ്കിലും, കാഴ്ച കൂടുതൽ സുഖകരമാണ്. പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങളുമായി (സൂക്ഷ്മദർശിനിയും ദൂരദർശിനിയും) ബന്ധപ്പെട്ട് തുടർന്നുവരുന്ന ചർച്ചയിൽ, പ്രതിബിംബം അനന്തതയിൽ രൂപപ്പെടുന്നുവെന്നു കരുതുന്നു.

ചിത്രം 9.31 സങ്കരസൂക്ഷ്മദർശിനി രൂപപ്പെടുത്തുന്ന പ്രതിബിംബത്തിന്റെ രശ്മിഡയഗ്രം

സാധാരണ ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒരു ലഘു സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ ഏറ്റവും കൂടിയ ആവർധനത്തിന് ഒരു പരിധിയുണ്ട്. (≤9). ഇതിലും കൂടുതൽ ആവർധനം ആവശ്യമുള്ളപ്പോൾ രണ്ടു ലെൻസുകളുടെ ഒരു സംയോജിത ലെൻസ് ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഇത്തരം സംവിധാനത്തെയാണ് സങ്കരസൂക്ഷ്മദർശിനി (compound microscope) എന്ന് വിളിക്കുന്നത്. സങ്കരസൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ ഒരു രേഖാചിത്രം 9.31 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. വസ്തുവിന്റെ സമീപത്തുള്ള ലെൻസിനെ ഒബ്ജെക്റ്റീവ് (objective) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇത് വസ്തുവിന്റെ യഥാർഥത്തിലുള്ളതും തലകീഴായതും ആവർധനം സംഭവിച്ചതുമായ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുത്തുന്നു. ഈ പ്രതിബിംബം ഐപീസ് (eyepiece)

എന്നു വിളിക്കുന്ന രണ്ടാമത്തെ ലെൻസിന് വസ്തുവായിത്തീരുന്നു. ഐപീസ് ഒരു ലഘു സൂക്ഷ്മദർശിനിയായി പ്രവർത്തിച്ച് വസ്തുവിന്റെ വലുതും മിഥ്യയുമായ പ്രതിബിംബം അനന്തതയിൽ രൂപീകരിക്കുന്നു. അതായത് ഒബ്ജക്ടീവ് രൂപീകരിക്കുന്ന തലകീഴായ പ്രതിബിംബം ഐപീസിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരത്തിലോ അല്ലെങ്കിൽ അതിനുള്ളിലൊ ആണ്. അതുകൊണ്ട് അവസാന പ്രതിബിംബം എപ്പോഴും വസ്തുവിനെ അപേക്ഷിച്ച് തലകീഴായതായിരിക്കും.

സങ്കര സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ ആവർധനം എങ്ങനെയാണ് ലഭിക്കുന്നതെന്ന് മനസ്സിലാക്കാം. ചിത്രം 9.31 ൽ വസ്തുവിന്റെ ഒബ്ജക്റ്റീവ് മൂലമുള്ള രേഖീയ ആവർധനം കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഒബ്ജക്ടീവ് മൂലമുള്ള രേഖീയ ആവർധനം

$$m_o = \frac{h'}{h} = \frac{L}{f_o} \qquad (9.43)$$

ചിത്രം 9.31 ൽ നിന്നും

$$\tan\beta = \left(\frac{h}{f_o}\right) = \left(\frac{h'}{L}\right) \text{ ആണ്.}$$

ഇവിടെ ആദ്യത്തെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഉയരം h', വസ്തുവിന്റെ ഉയരം h ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരം f_o എന്നിങ്ങനെയാണ്. ആദ്യത്തെ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്നത് ഐപീസിന്റെ ഫോക്കൽ ബിന്ദുവിന്റെ സമീപത്താണ്. ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ രണ്ടാമത്തെ ഫോക്കൽ ബിന്ദുവിനും ഐപീസിന്റെ ആദ്യത്തെ ഫോക്കൽ ബിന്ദുവിനും ഇടയിലുള്ള ദൂരത്തെയാണ് സങ്കര സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ കുഴൽനീളം (tube length) എന്ന് വിളിക്കുന്നത്. ഒബ്ജക്ടീവ് രൂപപ്പെടുത്തുന്ന തലകീഴായ പ്രതിബിംബം ഐപീസിന്റെ ഫോക്കൽ ബിന്ദുവിന് സമീപത്തായതുകൊണ്ട്, വ്യക്തകാഴ്ചയ്ക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്ത് ഐപീസ് രൂപപ്പെടുത്തുന്ന അവസാന പ്രതിബിംബത്തിന്റെ കോണീയ ആവർധനം (m_e) കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിന് ലഘുസൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ ആവർധനം കണ്ടുപിടിക്കുന്ന സമവാക്യം (9.39) ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്. അതായത്

$$m_e = \left(1 - \frac{D}{f_e}\right) \qquad [9.44(a)]$$

അവസാനത്തെ പ്രതിബിംബം അനന്തതയിലാണ് രൂപീകരിക്കപ്പെടുന്നതെങ്കിൽ ഐപീസ് മൂലമുള്ള കോണീയ ആവർധനം (സമവാക്യം9.42) അനുസരിച്ച്

$$m_e = (D/f_e) \qquad [9.44(b)]$$

സമവാക്യം 9.33 അനുസരിച്ച് പ്രതിബിംബം അനന്തതയിൽ രൂപപ്പെടുമ്പോൾ ഉള്ള ആകെ കോണീയ ആവർധനം

$$m = m_o m_e = \left(\frac{L}{f_o}\right)\left(\frac{D}{f_e}\right) \qquad (9.45) \text{ ആണ്.}$$

ചെറിയ വസ്തുക്കൾക്ക് വലിയ ആവർധനം ലഭിക്കണമെങ്കിൽ ഐപീസിന്റെയും ഒബ്ജക്ടീവിന്റെയും ഫോക്കസ്ദൂരം ചെറുതായിരിക്കണമെന്ന് വ്യക്തമായി. പക്ഷെ യഥാർഥത്തിൽ 1cm ൽ കുറവ് ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ലെൻസ് നിർമിക്കാൻ ബുദ്ധിമുട്ടാണ്. അതുപോലെ, L വലുതാക്കണമെങ്കിൽ, വലിയ ലെൻസുകൾ ആവശ്യ

PHYSICS
The world's largest optical telescopes
http://astro.unl.edu/planets.org/bigeyes.html

മാണ്. ഉദാഹരണത്തിന് ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരം f_o = 1cm, ഐപീസിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരം f_e=2.0cm, കുഴൽനീളം 20cm എന്നിങ്ങനെയാണെങ്കിൽ ആവർധനം

$$m = m_o m_e = \left(\frac{L}{f_o}\right)\left(\frac{D}{f_e}\right) = \frac{20}{1} \cdot \frac{25}{2} = 250$$ ആണ്.

വസ്തുവിന്റെ ഇലുമിനേഷൻ തുടങ്ങിയ പല ഘടകങ്ങളേയും ആശ്രയിച്ചാണ് പ്രതിബിംബത്തിന്റെ വ്യക്തതയും ഗുണമേന്മയും നിലനിൽക്കുന്നത്. പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഗുണമേന്മ വർദ്ധിപ്പിക്കുവാനും വ്യത്യസ്ത പ്രകാശിക ന്യൂനതകൾ (optical aberration) പരിഹരിക്കുവാനും ധാരാളം ലെൻസുകളുടെ സംയോജിത ലെൻസുകളാണ് (ബഹുഘടക ലെൻസുകൾ) ആധുനിക സൂക്ഷ്മദർശിനികളിൽ ഉപയോഗിക്കുന്നത്.

9.9.3 ദൂരദർശിനി (Telescope)

ചിത്രം 9.32 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ, ദൂരെയുള്ള വസ്തുക്കളുടെ കോണീയ ആവർധനമാണ് ദൂരദർശിനി നൽകുന്നത്. ഐപീസ്, ഒബ്ജക്ടീവ്, എന്നിവ ദൂരദർശിനിക്കും ഉണ്ട്. പക്ഷെ ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ വലുപ്പവും, ഫോക്കസ്ദൂരവും ഐപീസിനേക്കാൾ കൂടുതലാണ്. ദൂരെ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന ഒരു വസ്തുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന പ്രകാശം ഒബ്ജക്ടീവിലൂടെ കടന്ന് അതിന്റെ രണ്ടാമത്തെ ഫോക്കസ് ബിന്ദുവിൽ യഥാർഥ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുത്തുന്നു. ഐപീസ് ഈ പ്രതിബിംബത്തെ ആവർധനത്തിന് വിധേയമാക്കി, അവസാനം തലകീഴായ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുത്തുന്നു. ഇവിടെ അവസാന പ്രതിബിംബം കണ്ണിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണളവും (β) ഒബ്ജക്ടീവിൽ വസ്തു രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണളവും (α) തമ്മിലുള്ള അംശബന്ധത്തെയാണ് ദൂരദർശിനിയുടെ ആവർധനം എന്നു വിളിക്കുന്നത്. അതുകൊണ്ട്

$$m \approx \frac{\beta}{\alpha} \approx \frac{h}{f_e} \cdot \frac{f_o}{h} = \frac{f_o}{f_e} \qquad (9.46)$$

ഇവിടെ ദൂരദർശിനിയുടെ കുഴൽനീളം $f_o + f_e$ ആണ്. നിവർന്ന പ്രതിബിംബങ്ങൾ രൂപീകരിക്കുവാൻ ഭൗമദൂരദർശിനി (terrestrial) കളിൽ ഒരു ജോഡി ലെൻസുകൾ കൂടുതലായി ഉപയോഗിച്ചിട്ടുണ്ട്. അപവർത്തന ദൂരദർശിനികൾ, ഭൗമനിരീക്ഷണത്തിനും, വാനനിരീക്ഷണത്തിനും ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന് 1cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഐപീസും, 100 cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒബ്ജക്ടീവും കൊണ്ട് നിർമ്മിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ദൂരദർശിനി പരിഗണിക്കുക. ഇതിന്റെ കോണീയ ആവർധനം m=100/1 =100 ആണ്.

ചിത്രം 9.32 അപവർത്തന ദൂരദർശിനി

യഥാർത്ഥ കോണീയ അകലം ഒരു മിനിട്ട് (1') ഉള്ള രണ്ട് നക്ഷത്രങ്ങളെ പരിഗണിക്കുക. ദൂരദർശിനിയിലൂടെ വീക്ഷിക്കുമ്പോൾ ഇവ തമ്മിലുള്ള കോണീയ അകലം $100 \times 1' = 100' = 1.67^o$. ആയിരിക്കും. ഒരു ദൂരദർശിനിയിൽ, പ്രകാശശേഖരണ

ശേഷിയും (light gathering power) റിസോൾവിംഗ്പവറുമാണ് പ്രധാനമായും പരിഗണിക്കുന്നത്. പ്രകാശം ശേഖരിക്കുവാനുള്ള കഴിവ് ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ പരപ്പളവിനെയാണ് ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നത്. ലെൻസിന്റെ ഗോളീയ വ്യാസം കൂടുന്നതനുസരിച്ച് കൂടുതൽ മങ്ങിയ വസ്തുക്കളുടെ വ്യക്തതയുള്ള പ്രതിബിംബം കാണാൻ കഴിയും. ഒരേ ദിശയിൽ വളരെ അടുത്തുള്ള രണ്ടു വസ്തുക്കളെ വ്യത്യസ്തങ്ങളായി കാണാനുള്ള കഴിവിനെയാണ് റിസോൾവിംഗ്പവർ (Resolving Power) എന്നു വിളിക്കുന്നത്. റിസോൾവിംഗ്പവർ ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ വ്യാസത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട് ദൂരദർശിനികളിലെ ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ ഗോളീയ വ്യാസം വളരെ കൂടിയതായിരിക്കും. USA-യിലെ വിസ്കോൺസിൻ (Wisconsin) എന്ന പ്രദേശത്തുള്ള യെർകെസ് (Yerkes) വാനനിരീക്ഷണ കേന്ദ്രത്തിലാണ് ഏറ്റവും കൂടിയ ഗോളീയ വ്യാസമുള്ള (40inch–1.02m) ഒബ്ജക്ടീവ് ലെൻസ് ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ഇങ്ങനെയുള്ള ലെൻസുകളുടെ ഭാരം വളരെ കൂടുതൽ ആയതുകൊണ്ട് വക്കുകളിൽ അവയെ താങ്ങി നിർത്തുവാൻ വളരെ ബുദ്ധിമുട്ടാണ്. മാത്രവുമല്ല പ്രതിബിംബത്തിന് വൈരൂപ്യമോ, വർണ്ണ ന്യൂനതയോ ഇല്ലാത്തവിധം ഇങ്ങനെയുള്ള ലെൻസുകൾ നിർമിച്ചെടുക്കുക പണച്ചിലവേറിയതും ബുദ്ധിമുട്ടുള്ളതും ആണ്.

ഈ കാരണത്താൽ, ആധുനിക ദൂരദർശിനികളിൽ ലെൻസിനു പകരം കോൺകേവ് ദർപ്പണങ്ങൾ ആണ് ഒബ്ജക്ടീവായി ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ദർപ്പണങ്ങൾ ഒബ്ജക്ടീവായി ഉപയോഗിക്കുന്ന ദൂരദർശിനികളെ പ്രതിപതന ദൂരദർശിനികൾ എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇവയ്ക്ക് അപവർത്തന ടെലസ്കോപ്പുകളെ അപേക്ഷിച്ച് പല തരത്തിലുള്ള മേന്മകളും ഉണ്ട്. ഒന്നാമതായി ദർപ്പണങ്ങൾക്ക് വർണ്ണ ന്യൂനത (chromatic aberation) ഇല്ല. രണ്ടാമതായി ഒബ്ജക്ടീവ് നിർമിച്ചിരിക്കുന്നത് പരാബോളിക് (parabola) ദർപ്പണങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചാണെങ്കിൽ ഗോളീയന്യൂനത (spherical aberration) യും നീക്കം ചെയ്യുന്നു. ദർപ്പണങ്ങൾക്ക് ലെൻസുകളെ അപേക്ഷിച്ച് ഭാരം കുറവായതുകൊണ്ട് ലെൻസിന്റെ അതേ ഗുണമേന്മ ലഭിക്കുന്ന ദർപ്പണങ്ങളെ താങ്ങി നിർത്തുവാൻ ബുദ്ധിമുട്ട് കുറവാണ്. മാത്രവുമല്ല, അരികുകളെ മാത്രം ആശ്രയിക്കാതെ ഇവയുടെ ഉപരിതലം മുഴുവനും താങ്ങി നിർത്തുവാൻ വേണ്ട സജ്ജീകരണങ്ങൾ ചെയ്യുവാൻ കഴിയും. പ്രതിപതന ദൂരദർശിനികളെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം ഒരു പ്രധാന പ്രശ്നം ഒബ്ജക്ടീവ് ദർപ്പണം പ്രകാശരശ്മികളെ ദൂരദർശിനികുഴലിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നു എന്നതാണ്. ഐപീസിന്റെയും കണ്ണിന്റെയും സ്ഥാനം കുഴലിനുള്ളിലെ ഈ ബിന്ദുവിൽ ആയതുകൊണ്ട് പ്രകാശരശ്മികൾക്ക് ഫോക്കസ്സിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നതിന് (നിരീക്ഷക കുടിന്റെ വലുപ്പമനുസരിച്ച്) തടസ്സമാകുന്നു.

കാലിഫോർണിയയിലെ മൗണ്ട് പാലൊമർ (Mt.Palomar) ദൂരദർശിനിയിൽ, നിരീക്ഷകൻ ഇരിക്കുന്നത് ഫോക്കൽ ബിന്ദുവിന്റെ സമീപത്ത് സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന നിരീക്ഷക കുടിലാണ്. ഈ ദൂരദർശിനിയുടെ ഒബ്ജക്ടീവിന് ഏകദേശം 200 ഇഞ്ച് (~5.08 m) വ്യാസം ഉണ്ട്. ഈ പ്രശ്നത്തിനുള്ള ഒരു പരിഹാരം ദൂരദർശിനി കുഴലിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മികളെ ഒരു ദർപ്പണം ഉപയോഗിച്ച് പ്രതിപതിപ്പിക്കുക എന്നതാണ്. അത്തരത്തിലുള്ള ഒരു ക്രമീകരണമാണ് ചിത്രം (9.33) കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്.

ഈ ക്രമീകരണത്തിൽ ദൂരദർശിനി കുഴലിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മികൾ ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിന്റെ സഹായത്തോടെ ഒബ്ജക്ടീവിലുള്ള സുഷിരത്തിലൂടെ സഞ്ചരിച്ച് ഒരു ബിന്ദുവിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നു. ഇത്തരത്തിൽ ക്രമീകരണമുള്ള ദൂരദർശിനിയെ രൂപകൽപ്പന ചെയ്ത ആളുടെ സ്മരണാർത്ഥം കസ്സെഗ്രെയിൻ (Cassegrain) ദൂരദർശിനി എന്നു വിളിക്കുന്നു. ചെറിയ ദൂരദർശിനിയിൽ, വളരെ വലിയ ഫോക്കസ് ദൂരത്തിന്റെ നേട്ടങ്ങൾ ലഭിക്കും എന്നുള്ളതാണ്

ചിത്രം 9.33 കസ്സേഗ്രെയിൻ പ്രതിപതന ദൂരദർശിനിയുടെ രേഖാചിത്രം

ഇതിന്റെ മേന്മ.

ഇന്ത്യയിലെ ഏറ്റവും വലിയ ദൂർദർശിനി സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നത് തമിഴ്നാട്ടിലെ, കവലൂരിലാണ് (Kavalur) ഇത് 2.34m വ്യാസമുള്ള കസ്സേഗ്രെയിൻ മാതൃകയിലുള്ള പ്രതിപതന ദൂരദർശിനിയാണ്. ബാംഗ്ലൂരിലെ ഇന്ത്യൻ ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട് ഓഫ് അസ്ട്രോഫിസിക്സ് (Indian Institute of Astrophysics)ആണ് ഈ ദൂരദർശിനി ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ലോകത്തിലെ ഏറ്റവും വലിയ ദൂരദർശിനി, അമേരിക്കയിലെ ഹാവായി (Hawaii) ലുള്ള ഒരു ജോഡി കെക്ക് (Keck) ദൂരദർശിനിയാണ്. ഇതിന്റെ ദർപ്പണത്തിന് 10m വ്യാസമുണ്ട്.

സംഗ്രഹം

1. $\angle i = \angle r'$ എന്ന സമവാക്യം പ്രതിപതനത്തേയും, $\sin i/\sin r = n$ എന്ന സ്നെൽ നിയമം അപവർത്തനത്തേയും പ്രതിപാദിക്കുന്നു. കൂടാതെ പതനരശ്മി, പ്രതിപതന രശ്മി, അപവർത്തന രശ്മി, പതന ബിന്ദുവിലൂടെ പതനതലത്തിനു വരയ്ക്കുന്ന ലംബം എന്നിവ പ്രതിപതനത്തിലും, അപവർത്തനത്തിലും ഒരേ തലത്തിലാണ്. i, r', r എന്നിവ യഥാക്രമം പതനകോൺ, പ്രതിപതനകോൺ അപവർത്തനകോൺ എന്നിവയാണ്.

2. പ്രകാശസാന്ദ്രത കൂടിയ മാധ്യമത്തിൽനിന്നും പ്രകാശസാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ മാധ്യമത്തിലേക്ക് പ്രകാശരശ്മി സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ, പ്രതിപതനകോൺ 90° ആയിരിക്കുമ്പോളുള്ള പതനകോണിനെയാണ് ക്രാന്തികകോൺ (i_c) എന്നു വിളിക്കുന്നത്. $i > i_c$, ആയിരിക്കുമ്പോൾ പൂർണാന്തര പ്രതിപതനം സംഭവിക്കുന്നു. വജ്രത്തിലെ ബഹുപൂർണാന്തര പ്രതിപതനം, പൂർണാന്തരപ്രതിപതന പ്രിസങ്ങൾ, മരീചിക എന്നിവ പൂർണാന്തര പ്രതിപതനങ്ങൾക്ക് ഉദാഹരണങ്ങൾ ആണ്. പ്രകാശിക തന്തുക്കളിലെ ഗ്ലാസ് തന്തുക്കൾക്ക് ചുറ്റും അവയേക്കാൾ അപവർത്തനാങ്കം കുറഞ്ഞ വസ്തു കൊണ്ടുള്ള ഒരു ആവരണമുണ്ട്. ഒരു അഗ്രത്തിൽ പ്രത്യേക കോണിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മികൾ തുടർച്ചയായ പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമായി അടുത്ത അഗ്രത്തിലൂടെ പുറത്തു വരുന്നു. തന്തുക്കൾ എത്ര വളച്ചാലും ഈ പ്രവർത്തനത്തെ ബാധിക്കില്ല.

3. കാർട്ടീഷ്യൻ ചിഹ്നരീതി: പതനരശ്മിയുടെ അതേ ദിശയിൽ ഉള്ള ദൂരങ്ങളെ പോസിറ്റീവായും വിപരീതദിശയിലുള്ള ദൂരത്തെ നെഗറ്റീവായും പരിഗണിക്കുന്നു. ദർപ്പണങ്ങളുടെ മുഖ്യ അക്ഷത്തിലെ പോളിൽ നിന്നോ, അല്ലെങ്കിൽ ലെൻസുകളുടെ മുഖ്യഅക്ഷത്തിലെ പ്രകാശികകേന്ദ്രത്തിൽനിന്നോ ആണ് അളവുകൾ ആരംഭിക്കുന്നത്. X അക്ഷത്തിൽ നിന്നും ലംബമായി മുകളിലേക്കുള്ള ദൂരങ്ങൾ പോസിറ്റീവ് ആയും. താഴേക്കുള്ള ദൂരങ്ങൾ നെഗറ്റീവായും പരിഗണിക്കുന്നു.

4. ദർപ്പണ സമവാക്യം

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

v - പ്രതിബിംബത്തിലേക്കുള്ള ദൂരവും, u - വസ്തുവിലേക്കുള്ള ദൂരവും, f ഫോക്കസ് ദൂരവും ആണ്. ഫോക്കസ്ദൂരം, വക്രതാ ആരത്തിന്റെ പകുതിയാണ്. കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിൽ f നെഗറ്റീവും, കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിൽ f പോസിറ്റീവും ആണ്.

5. n_1 അപവർത്തനാങ്കമുള്ള മാധ്യമത്തിൽ വച്ചിരിക്കുന്നതും n_2 അപവർത്തനാങ്കമുള്ളതും A കോണുള്ളതുമായ ഒരു പ്രിസത്തിൽ

$$n_{21}=\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin\left[(A+D_m)/2\right]}{\sin(A/2)}$$ ആണ്. ഇവിടെ

D_m മിനിമം വ്യതിചലനകോൺ ആണ്.

6. ഗോളീയ സമ്പർക്കതലത്തിലൂടെയുള്ള അപവർത്തനത്തിൽ (n_1 അപവർത്തനാങ്കമുള്ള മാധ്യമത്തിൽ നിന്നും n_2 അപവർത്തനാങ്കമുള്ള മാധ്യമത്തിലേക്ക്)

$$\frac{n_2}{v} - \frac{n_1}{u} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$ ആണ്.

കനംകുറഞ്ഞ ലെൻസുകളുടെ സമവാക്യമാണ്.

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$ ആണ്.

ലെൻസ് രൂപീകരണ സമവാക്യമാണ്.

$$\frac{1}{f} = \frac{(n_2 - n_1)}{n_1}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$ ആണ്.

R_1, R_2 എന്നിവ ലെൻസിന്റെ പ്രതലത്തിന്റെ വക്രതാആരം ആണ്. അവതല ലെൻസിൽ, f നെഗറ്റീവും, ഉത്തല ലെൻസിൽ, പോസിറ്റീവും ആണ്.
ലെൻസിന്റെ പവർ $P = 1/f$ ആണ്.
ലെൻസിന്റെ പവറിന്റെ SIയൂണിറ്റ് ഡയോപ്റ്റർ ആണ് $1\ D = 1\ m^{-1}$.
$f_1, f_2, f_3, \ldots$ ഫോക്കൽ ദൂരങ്ങൾ ഉള്ള ലെൻസുകൾ സമ്പർക്ക സംയോജനത്തിൽ ആണെങ്കിൽ, അവയുടെ ആകെ ഫോക്കസ് ദൂരം

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \ldots$$ ആണ്.

ഈ കൂട്ടായ്മയുടെ പവർ $P = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots$ ആണ്.

7. പ്രകാശം അതിന്റെ ഘടകവർണങ്ങളായി വിഘടിക്കുന്നതിനെ പ്രകീർണനം എന്ന് പറയുന്നു.

8. നേത്രം : 2.5 cm ഫോക്കൽ ദൂരമുള്ള ഒരു ഉത്തല ലെൻസ് നേത്രത്തിൽ ഉണ്ട്. ഈ ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസിന്റെ ദൂരം ക്രമീകരിച്ച്, വ്യത്യസ്ത ദൂരങ്ങളിലുള്ള വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബത്തെ റെറ്റിനയിൽ പതിപ്പിക്കുവാൻ കണ്ണിന് കഴിയുന്നു. നേത്രത്തിന്റെ ഈ കഴിവിനെയാണ് കണ്ണിന്റെ പൊരുത്തപ്പെടൽ എന്ന് വിളിക്കുന്നത്. നേത്രത്തിന്റെ ന്യൂനത കാരണം, പ്രതിബിംബം റെറ്റിനയുടെ മുൻപിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നതാണ് ഹ്രസ്വദൃഷ്ടി അഥവാ *myopia*; പരിഹരിക്കുവാൻ കോൺകേവ് ലെൻസും, റെറ്റിനയുടെ പിറകിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നത് ദീർഘദൃഷ്ടി അഥവാ *hypermetropia*; പരിഹരിക്കുവാൻ കോൺവെക്സ് ലെൻസും ഉപയോഗിക്കുന്നു. സിലിണ്ടർ ആകൃതിയിലുള്ള ലെൻസുകൾ ഉപയോഗിച്ച് അബിന്ദുകത (അസ്റ്റിഗ്മാറ്റിസം) പരിഹരിക്കാവുന്നതാണ്.

9. ഒരു ലഘു സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ ആവർധന ശേഷി, $m = 1 + (D/f)$ ആണ്. ഇവിടെ, $D = 25cm$ വ്യക്ത കാഴ്ചക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരവും, f കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരവുമാണ്. പ്രതിബിംബം അനന്തതയിൽ ആണെങ്കിൽ സമവാക്യം $m = D/f$ ആണ്. ഒരു സങ്കരസൂക്ഷ്മദർശിനിയിൽ ആവർധന ശേഷി, $m = m_e \times m_o$ ആണ്. ഇവിടെ $m_e = 1 + (D/f_e)$, ഐപീസ് മുഖാന്തിരമുള്ള ആവർധനവും, m_o ഒബ്ജക്ടീവ് മുഖാന്തിരമുള്ള ആവർധനവും ആണ്.

ഏകദേശം $m = \frac{L}{f_o} \times \frac{D}{f_e}$ ആണ്.

f_o - ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരവും, f_e - ഐപീസിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരവും, L ഇവയുടെ ഫോക്കസ് ദൂരങ്ങളുടെ തുകയാണ്.

10. ദൂരദർശിനിയുടെ ആവർധനശേഷി: β, പ്രതിബിംബം നേത്രത്തിൽ രൂപീകരിക്കുന്ന കോണും, α വസ്തു നേത്രത്തിൽ രൂപീകരിക്കുന്ന കോണും, ആണെങ്കിൽ $m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f_o}{f_e}$

f_0 ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ ഫോക്കൽ ദൂരവും f_e, ഐപീസിന്റെ ഫോക്കൽ ദൂരവും ആണ്.

വിചിന്തന വിഷയങ്ങൾ

1. എല്ലാ ജോഡി മാധ്യമങ്ങളും, എല്ലാ പ്രതലങ്ങളും, അപവർത്തന നിയമങ്ങളും പ്രതിപതന നിയമങ്ങളും എല്ലാ പതന ബിന്ദുക്കളിലും അനുസരിക്കുന്നു.

2. ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ f നും $2f$ നും ഇടയിൽ വെച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം, അത് രൂപപ്പെടുന്ന സ്ഥാനത്ത് വച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു സ്ക്രീനിൽ കാണാവുന്നതാണ്. ആ സ്ഥാനത്ത് നിന്ന് സ്ക്രീൻ മാറ്റിയാൽ പ്രതിബിംബം അവിടെ രൂപപ്പെടുമോ എന്ന ചോദ്യം പലരേയും ബുദ്ധിമുട്ടിച്ചിട്ടുണ്ട്. കാരണം പ്രതിബിംബം വായുവിൽ തുങ്ങി നിൽക്കുന്നു എന്ന് കരുതാൻ ബുദ്ധിമുട്ടാണ്.

   എന്നാൽ യഥാർഥത്തിൽ പ്രതിബിംബം വായുവിൽ രൂപപ്പെടുന്നുണ്ട്. ഒരു വസ്തുവിന്റെ, ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശരശ്മികൾ, അന്തരീക്ഷത്തിൽ ഒരു ബിന്ദുവിൽ കേന്ദ്രീകരിച്ചതിനുശേഷം വികേന്ദ്രീകരിക്കുന്നു. ഒരു സ്ക്രീൻ ഈ പ്രകാശരശ്മികളെ ഒന്നിച്ചു ചേർക്കുകയും അവയിൽ ചിലത് നമ്മുടെ നേത്രത്തിൽ പതിക്കുന്നതു കൊണ്ട് പ്രതിബിംബം കാണുകയും ചെയ്യും. ഒരു ലേസർ പ്രദർശനത്തിൽ, വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം അന്തരീക്ഷത്തിൽ രൂപപ്പെടുന്നതിൽനിന്നും ഇക്കാര്യം വ്യക്തമാകും.

3. ക്രമമായ പ്രതിപതനത്തിലൊ, അപവർത്തനത്തിലൊ മാത്രമേ പ്രതിബിംബം രൂപ പ്പെടുകയുള്ളൂ. അതായത് വസ്തുവിന്റെ ഒരു നിശ്ചിത ബിന്ദുവിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശ രശ്മി, പ്രതിബിംബത്തിന്റെ അനുരൂപമായ ബിന്ദുവിൽ തന്നെ എത്തിച്ചേരണം. ഈ കാരണം കൊണ്ടു തന്നെയാണ് ക്രമരഹിതമായി പ്രതിഫലിപ്പിക്കുന്ന ഒരു വസ്തുവിന് (ഉദാഹരണം ഒരു ബുക്ക്) നമ്മുടെ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുത്താൻ കഴിയാത്തത്.

4. കട്ടികുടിയ ലെൻസുകൾ വർണങ്ങളുള്ള പ്രതിബിംബങ്ങൾ രൂപപ്പെടുത്തുന്നത് പ്രകീർണനം കാരണമാണ്. നമുക്ക് ചുറ്റും വ്യത്യസ്ത വർണങ്ങളുള്ള വസ്തുക്കളെ കാണുന്നത്, അതേ വർണത്തിലുള്ള പ്രകാശം വസ്തുവിൽ പതിക്കുന്നതുകൊണ്ടാണ്. ഒരു വസ്തുവിന്റെ വർണത്തെക്കുറിച്ച്, അതിൽ ധവളപ്രകാശം പതിക്കുമ്പോഴും, അതുപോലെ, ഏകവർണ പ്രകാശം പതിക്കുമ്പോഴും, നമുക്കു കിട്ടുന്ന ചിത്രം തികച്ചും വ്യത്യസ്തമായിരിക്കും.

5. ഒരു ലഘുസൂക്ഷ്മദർശിനിയിൽ വസ്തുവിന്റെ കോണീയ വലുപ്പവും, പ്രതിബിംബത്തിന്റെ കോണീയ വലുപ്പവും തുല്യമാണ്. വസ്തുവിനെ 25 cm ലും കുറവ് ദൂരത്തിൽ കൊണ്ടുവരാൻ കഴിയുന്നതുകൊണ്ടാണ് നമുക്ക് ആവർധനം സംഭവിച്ച പ്രതിബിംബം കാണാൻ കഴിയുന്നത്. ഇങ്ങനെ ലെൻസിന്റെ അടുത്ത് വസ്തു സ്ഥിതി ചെയ്യുമ്പോൾ, വസ്തു, ലെൻസിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോൺ വലുതാണ്. സൂക്ഷ്മദർശിനി ഇല്ലാതെ നമുക്ക് വസ്തുവിനെ കാണാൻ സാധിക്കുന്ന ഏറ്റവും കുറവ് ദൂരം 25 cm ആണ്. ഈ ദൂരത്തിൽ ചെറിയ വസ്തുക്കൾ സ്ഥിതി ചെയ്യുമ്പോൾ, അത് കണ്ണിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോൺ വളരെ ചെറുതായിരിക്കും.

പരിശീലന പ്രശ്നങ്ങൾ

9.1 36 cm വക്രതാ ആരമുള്ള ഒരു അവതല ദർപ്പണത്തിന്റെ മുമ്പിൽ 27 cm ദൂരത്ത്, 2.5 cm ഉയരമുള്ള ഒരു ചെറിയ മെഴുകുതിരി ഉറപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. വ്യക്തമായ പ്രതിബിംബം ലഭിക്കുവാൻ, സ്ക്രീനിന്റെ സ്ഥാനം, ദർപ്പണത്തിൽ നിന്നും എത്ര ദൂരത്തിൽ ആയിരിക്കണം? പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്വഭാവവും, വലുപ്പവും എങ്ങനെയാണ്? മെഴുകുതിരിയുടെ സ്ഥാനം ദർപ്പണത്തോട് അടുപ്പിച്ചാൽ പ്രതിബിംബം ലഭിക്കുവാൻ സ്ക്രീൻ എങ്ങനെയാണ് നീക്കേണ്ടത്?

92 15 cm ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണത്തിന്റെ മുമ്പിൽ 12 cm ദൂരത്ത്, 4.5 cm ഉയരമുള്ള ഒരു സൂചി സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നു. പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനവും ആവർധനവും കണ്ടുപിടിക്കുക. ദർപ്പണത്തിൽ നിന്നും സൂചിയുടെ ദൂരം വർധിപ്പിച്ചാൽ പ്രതിബിംബത്തിന് എന്തു സംഭവിക്കുമെന്ന് വിശദമാക്കുക.

9.3 ഒരു ടാങ്കിൽ 12.5 cm ഉയരത്തിൽ ജലം സംഭരിച്ചിരിക്കുന്നു. ടാങ്കിന്റെ അടിത്തട്ടിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന ഒരു സൂചിയുടെ അവാസ്തവ താഴ്ച, ഒരു സൂക്ഷ്മദർശിനി ഉപയോഗിച്ച് അളന്നപ്പോൾ 9.4 cm ആണ്. ജലത്തിന് പകരം, അതേ ഉയരത്തിൽ 1.63 അപവർത്തനാങ്കം ഉള്ള വേറൊരു ദ്രാവകം നിറച്ചാൽ, സൂക്ഷ്മദർശിനി എത്ര ദൂരം ചലിപ്പിച്ചാലാണ് പ്രതിബിംബം വീണ്ടും വ്യക്തമായി ദൃശ്യമാവുക.

94 ഗ്ലാസ്സ് വായു സമ്പർക്കമുഖത്തിലും വായു ജലം സമ്പർക്കമുഖത്തിലും, 60° പതന കോണിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മിയുടെ അപവർത്തനം ചിത്രം 9.34 a,b എന്നിവയിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 9.34

ജലം ഗ്ലാസ്സ് സമ്പർക്കമുഖത്തിൽ 45° പതനകോണിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മിയുടെ ഗ്ലാസിലെ അപവർത്തനകോൺ (ചിത്രം 9.34) കണ്ടുപിടിക്കുക.

9.5 80cm ഉയരത്തിൽ ജലം നിറച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ടാങ്കിന്റെ അടിത്തട്ടിൽ, പ്രകാശിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു ബൾബ് സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നു. ജലോപരിതലത്തിലൂടെ പ്രകാശം ബഹിർഗമിക്കുന്ന ഉപരിതല പരപ്പളവ് എത്രയാണ്. ജലത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 1.33 ആണ്. (ബൾബിനെ ഒരു ബിന്ദു സ്രോതസ്സ് ആയി പരിഗണിക്കുക)

9.6 അപവർത്തനാങ്കം ലഭ്യമല്ലാത്ത വസ്തുകൊണ്ട് ഒരു പ്രിസം നിർമിച്ചിരിക്കുന്നു. സമാന്തര പ്രകാശ കിരണങ്ങൾ/പ്രകാശ രശ്മികൾ, പ്രിസത്തിന്റെ ഒരു മുഖത്തിൽ പതിക്കുന്നു. പ്രിസത്തിന്റെ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ വ്യതിചലന കോൺ 40° ആണെങ്കിൽ, അതിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം എത്രയാണ് (പ്രിസത്തിന്റെ കോൺ 60° ആണ്). 1.33 അപവർത്തനാങ്കമുള്ള ജലത്തിലാണ് പ്രിസം വെച്ചിരിക്കുന്നതെങ്കിൽ, സമാന്തരരശ്മികൾ പതിക്കുമ്പോൾ അതിന്റെ ഏറ്റവും കുറവ് വ്യതിചലനകോൺ കണ്ടുപിടിക്കുക.

9.7 1.55 അപവർത്തനാങ്കമുള്ള ഒരു വസ്തുവിൽ നിന്നും, രണ്ടു മുഖത്തിലും ഒരേ വക്രതാ ആരമുള്ള ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസ് നിർമിച്ചിരിക്കുന്നു. 20 cm ഫോക്കസ്ദൂരം ലഭിക്കുന്നതിന്, വക്രതാ ആരം എത്ര ആയിരിക്കണം?

9.8 P എന്ന ബിന്ദുവിൽ കേന്ദ്രികരിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മികളുടെ സഞ്ചാരപാതയിൽ, P യിൽ നിന്ന് 12cm ദൂരത്ത് ഒരു ലെൻസ് സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നു. (a) 20cm ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസാണ് പ്രകാശ രശ്മികളുടെ സഞ്ചാരപാതയിൽ വെച്ചിരിക്കുന്നത് എങ്കിൽ, ഏത് സ്ഥാനത്തായിരിക്കും പ്രകാശ രശ്മികൾ കേന്ദ്രീകരിച്ചിക്കുന്നത്. (b) 16cm ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺകേവ് ലെൻസാണ് പ്രകാശത്തിന്റെ പാതയിൽവെച്ചിരിക്കുന്നത് എങ്കിൽ, പ്രകാശരശ്മികൾ കേന്ദ്രീകരിച്ചിക്കുന്നത് ഏത് സ്ഥാനത്തായിരിക്കും?

9.9 21 cm ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺകേവ് ലെൻസിന്റെ മുൻപിൽ 14cm ദൂരത്തിൽ 3.0cm ഉയരം ഉള്ള ഒരു വസ്തു സ്ഥിതിചെയ്യുന്നുവെങ്കിൽ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം, സ്വഭാവം എന്നിവ വിശദീകരിക്കുക. വസ്തുവിനെ കൂടുതൽ ദൂരത്തേക്ക് ചലിപ്പിച്ചാൽ പ്രതിബിംബത്തിന് എന്ത് സംഭവിക്കും?

9.10 30cm ഫോക്കൽദൂരമുള്ള ഒരു കോൺവെക്സ്ലെൻസും, 20cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺകേവ്ലെൻസും സ്പർശന കൂട്ടുകെട്ടിൽ ആണെങ്കിൽ ആകെ ഫോക്കസ്ദൂരം എത്രയായിരിക്കും ഈ കൂട്ടുകെട്ട് കോൺകേവ് ലെൻസായിട്ടാണോ, അതോ കോൺവെക്സ് ലെൻസായിട്ടാണോ പെരുമാറുന്നത്. (ലെൻസുകളുടെ കനത്തെ അവഗണിക്കുക)

9.11 ഒരു സങ്കര സൂക്ഷ്മദർശിനിയിൽ, ഒബ്ജക്റ്റീവിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരം 2.0cm, ഐപീസിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരം 6.25cm ഇവ തമ്മിലുള്ള അകലം 15cm എന്നിങ്ങനെയാണ്. താഴെ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന സാഹചര്യത്തിൽ പ്രതിബിംബം ലഭിക്കാൻ, വസ്തു ഒബ്ജക്റ്റീവിന്റെ മുൻപിൽ എത്ര ദൂരത്ത് സ്ഥിതി ചെയ്യണം? (a) വ്യക്ത കാഴ്ചക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിൽ (25cm) (b) അനന്തതയിൽ മേൽ കാണിച്ച ഓരോ സാഹചര്യത്തിലും. പ്രതിബിംബ ത്തിന്റെ ആവർധനം എത്രയായിരിക്കും?

9.12 വ്യക്തകാഴ്ചക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞദൂരം 25cm ഉള്ള ഒരു വ്യക്തി, ഒരു സങ്കര സൂഷ്മദർശിനി ഉപയോഗിക്കുന്നു. 8.0 mm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒബ്ജക്റ്റീവും 2.5cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഐപീസും കൊണ്ട് നിർമിച്ചിരിക്കുന്ന ഈ സൂഷ്മദർശിനിയുടെ ഒബ്ജക്റ്റിവിൽ നിന്നും 9.0mm ദൂരത്ത് വസ്തു സ്ഥിതി ചെയ്യുമ്പോൾ, വ്യക്തമായ പ്രതിബിംബം ലഭിക്കുന്നു. എങ്കിൽ രണ്ട് ലെൻസുകളും തമ്മിലുള്ള ദൂരമെത്രയാണ്. ഈ സൂഷ്മദർശിനിയുടെ ആവർധനം കണ്ടുപിടിക്കുക.

9.13 ഒരു സൂഷ്മദർശിനിയുടെ ഒബ്ജക്റ്റീവ് ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരം 144cm, ഐപീസിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരം 6.0cm എന്നിങ്ങനെയാണ്. ഈ ദൂരദർശിനിയുടെ ആവർധന പവർ എത്രയാണ്. ഒബ്ജക്റ്റീവും ഐപീസും തമ്മിലുള്ള ദൂരം എത്രയാണ്?

9.14 (a) ഒരു വാനനിരീക്ഷണ കേന്ദ്രത്തിലെ ദൂരദർശിനിയുടെ ഒബ്ജക്റ്റീവിന്റെ ഫോക്കൽ ദൂരം 15m ഐപീസിന്റെ ഫോക്കൽ ദൂരം 1.0cm എന്നിങ്ങനെയാണ്. എങ്കിൽ ദൂരദർശിനിയുടെ കോണിയ ആവർധനം എത്രയാണ്?

(b) ഈ ദൂരദർശിനി ഉപയോഗിച്ച് ചന്ദ്രനെ വീക്ഷിക്കുമ്പോൾ ഒബ്ജക്റ്റീവ് ലെൻസ് രൂപപ്പെടുത്തുന്ന ചന്ദ്രന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ആരം എത്രയായിരിക്കും? ചന്ദ്രന്റെ വ്യാസം 3.48×10^6 m ചന്ദ്രന്റെ ഓർബിറ്റൽ ആരം 3.8×10^8 m എന്നിങ്ങനെയാണ്.

9.15 ദർപ്പണ സമവാക്യം ഉപയോഗിച്ച് താഴെപറയുന്ന നിഗമനങ്ങളിൽ എത്തിചേരുക. ഒരു അവതലദർപ്പണത്തിൽ.

(a) f നും $2f$ നും ഇടയിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്നത് $2f$ ന് പുറകിലാണ്.

(b) വസ്തുവിന്റെ സ്ഥാനത്തെ ആശ്രയിക്കാതെ ഒരു കോൺവെക്സ്ദർപ്പണം എപ്പോഴും മിഥ്യാ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്നു.

(c) ഒരു കോൺവെക്സ് ദർപ്പണം രൂപപ്പെടുന്ന മിഥ്യാ പ്രതിബിംബം എപ്പോഴും വസ്തുവിനെക്കാൾ ചെറുതും അതിന്റെ സ്ഥാനം ഫോക്കസ്സിനും, പോളിനും ഇടയിലുമാണ്.

(d) ഒരു കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിന്റെ പോളിനും ഫോക്കസ്സിനും ഇടയിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം അവാസ്തവവും, വസ്തുവിനേക്കാൾ വലുതുമാണ്. (രശ്മി രേഖ ചിത്രത്തിൽ നിന്നും ലഭിക്കുന്ന പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം, വലിപ്പം എന്നിവ ബീജഗണിതത്തിലൂടെ തെളിയിക്കുവാൻ മുകളിൽ തന്ന ചോദ്യങ്ങൾ നിങ്ങളെ സഹായിക്കുന്നു)

9.16 മേശയുടെ ഉപരിതലത്തിൽ കുത്തിനിറുത്തിയിരിക്കുന്ന ഒരു മൊട്ടുസൂചിയെ 50 cm ഉയരത്തിൽ നിന്നും വീക്ഷിക്കുന്നു. 15 cm കനമുള്ളതും മേശക്ക് സമാന്തരമായി സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നതുമായ ഒരു ഗ്ലാസ്സ് കട്ടയിലൂടെ വസ്തുവിനെ, ആദ്യം വീക്ഷിച്ച അതേ ബിന്ദുവിൽ നിന്നും നിരീക്ഷിച്ചാൽ, മൊട്ടുസൂചി എത്രദൂരം ഉയർന്നു കാണപ്പെടും. ഗ്ലാസ്സിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം = 1.5 ആണ്. ഉത്തരം ഗ്ലാസ്സ് കട്ടയുടെ സ്ഥാനത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നുണ്ടോ?

9.17 (a) 1.68 അപവർത്തനാങ്കം ഉള്ള ഗ്ലാസ്സ് തന്തുക്കൾ കൊണ്ട് ഉണ്ടാക്കിയിരിക്കുന്ന ഒരു പ്രകാശ പൈപ്പാണ് ചിത്രം 9.35 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്. ഇതിന്റെ ആവരണം നിർമിച്ചിരിക്കുന്ന വസ്തുവിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 1.44 ആണ്. പൈപ്പിന്റെ അക്ഷത്തെ അപേക്ഷിച്ച്, ഏത് പരിധിയിലുള്ള പതനകോണിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശരശ്മികളാണ് പൈപ്പിനുള്ളിൽ പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാകുന്നത്.

ചിത്രം 9.35

(b) പൈപ്പിന് ആവരണം ഇല്ലെങ്കിൽ ഉത്തരം എന്തായിരിക്കും?

9.18 താഴെ തന്നിരിക്കുന്ന ചോദ്യങ്ങൾക്ക് ഉത്തരമെഴുതുക.

(a) സമതലദർപ്പണവും കോൺവെക്സ് ദർപ്പണവും അവാസ്തവ പ്രതിബിംബങ്ങളെ രൂപപ്പെടുത്തുമെന്ന് നമ്മൾ പഠിച്ചുകഴിഞ്ഞു. ഏതെങ്കിലും സാഹചര്യത്തിൽ ഈ ദർപ്പണങ്ങൾ യഥാർത്ഥ പ്രതിബിംബങ്ങൾ രൂപപ്പെടുത്തുമോ? വിശദമാക്കുക.

(b) അവാസ്തവ പ്രതിബിംബങ്ങൾ സ്ക്രീനിൽ ലഭിക്കുന്നില്ല. പക്ഷെ അവയെ നമുക്ക് കാണാൻ സാധിക്കുന്നു. അങ്ങനെ കാണുമ്പോൾ പ്രതിബിംബം റെറ്റിനയിൽ ആണ് രൂപപ്പെടുന്നത്. ഇവിടെ എന്തെങ്കിലും വൈരുധ്യം അനുഭവപ്പെടുന്നുണ്ടോ?

(c) തടാകത്തിന്റെ കരയിൽ നിൽക്കുന്ന ഒരാളിനെ ജലത്തിനടിയിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന ഒരു മുങ്ങൽ വിദഗ്ദ്ധൻ ചെരിഞ്ഞ ദിശയിൽ നിരീക്ഷിക്കുന്നു. മുങ്ങൽ വിദഗ്ദ്ധന് കരയിൽ നിൽക്കുന്നയാളിന്റെ ഉയരം കൂടിയതായിട്ടാണോ, കുറഞ്ഞതായിട്ടാണോ അനുഭവപ്പെടുക?

(d) ഒരു ടാങ്കിലുള്ള ജലത്തിന്റെ അവാസ്തവതാഴ്ച ചെരിഞ്ഞ് നോക്കുന്നതിന്റെ അളവ് അനുസരിച്ച് വ്യത്യാസപ്പെടുമോ? അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ അവാസ്തവ താഴ്ച കൂടുകയാണോ അതോ കുറയുകയാണോ ചെയ്യുന്നത്.

(e) വജ്രത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം സാധാരണ ഗ്ലാസ്സിനെ അപേക്ഷിച്ച് വളരെ കൂടുതലാണ്. വജ്രശില്പിയെ ഈ വസ്തുത എങ്ങനെയെങ്കിലും സഹായിക്കുന്നുണ്ടോ?

9.19 മുറിയുടെ ഭിത്തിയിൽ ഉറപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ബൾബിന്റെ പ്രതിബിംബം ഒരു വലിയ കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ സഹായത്തോടെ 3 m ദൂരത്തുള്ള എതിർഭിത്തിയിൽ പതിപ്പിക്കേണ്ടതുണ്ട്. ഈ ആവശ്യത്തിനായി ഉപയോഗിക്കുന്ന കോൺവെക്സ് ലെൻസിന്റെ പരമാവധി ഫോക്കസ് ദൂരം എത്ര ആകാം?

9.20 ഒരു വസ്തുവിൽ നിന്നും 90 cm ദൂരത്തിൽ ഒരു സ്ക്രീൻ സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നു. 20 cm അകലത്തിലുള്ള രണ്ടു സ്ഥലങ്ങളിൽ ലെൻസ് സ്ഥിതി ചെയ്യുമ്പോൾ പ്രതിബിംബം സ്ക്രീനിൽ രൂപപ്പെടുന്നു. എങ്കിൽ ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ്ദൂരം എത്രയാണ്?

9.21 (a) അഭ്യാസം 9.10 ൽ തന്നിരിക്കുന്ന രണ്ട് ലെൻസുകൾ മുഖ്യഅക്ഷത്തിൽ 8.0 cm ദൂരത്തിൽ സ്ഥിതി ചെയ്താൽ അവയുടെ ആകെ ഫോക്കസ്ദൂരം എത്ര ആയിരിക്കും? ഉത്തരം, ഈ ലെൻസ് കൂട്ടത്തിന്റെ ഏത് വശത്താണ് പ്രകാശം പതിക്കുന്നത് എന്നതിനെ ആശ്രയിക്കുന്നുണ്ടോ? ഈ ധാരണ ലെൻസുകളുടെ കൂട്ടത്തിന്റെ ആകെ ഫോക്കസ്ദൂരം കണ്ടുപിടിക്കുവാൻ പര്യാപ്തമാണോ?

(b) മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ച ലെൻസ് കൂട്ടത്തിന്റെ ഒരു വശത്ത് കോൺവെക്സ്ലെൻസിൽ നിന്നും 40 cm ദൂരത്തിൽ 1.5 cm ഉയരമുള്ള ഒരു വസ്തു സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നു. പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഉയരവും ആവർധനവും കണ്ടുപിടിക്കുക.

9.22 60° കോണളവുള്ള ഒരു പ്രിസത്തിൽ, പ്രകാശം പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാവണമെങ്കിൽ, പ്രിസത്തിന്റെ ഒരു വശത്ത് ഏത് പതനകോണിലായിരിക്കണം പ്രകാശം പതിക്കേണ്ടത്? പ്രിസം നിർമിച്ചിരിക്കുന്ന വസ്തുവിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 1.524 ആണ്.

9.23 വ്യത്യസ്ത കോണുകൾ ഉള്ളതും ഫ്ളിൻറ് ഗ്ലാസ്, ക്രൗൺഗ്ലാസ് എന്നിവ കൊണ്ട് നിർമിച്ചതുമായ അനവധി പ്രിസങ്ങൾ നിങ്ങൾക്ക് നൽകിയിരിക്കുന്നു എന്നു കരുതുക. താഴെ പറയുന്നവ നൽകുവാൻ പര്യാപ്തമായ പ്രിസങ്ങളുടെ ക്രമീകരണം നിർദ്ദേശിക്കുക.

(a) ധവളപ്രകാശം പ്രകീർണ്ണനത്തിന് അധികം വിധേയമാകാതെ, വ്യതിചലനത്തിന് വിധേയമാവുന്നു.

(b) ധവളപ്രകാശം വ്യതിചലനത്തിന് വിധേയമാകാതെ പ്രകീർണ്ണത്തിന് വിധേയമാകുന്നു.

9.24 ഒരു സാധാരണനേത്രത്തിന് വ്യക്തകാഴ്ചക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞദൂരം 25 cm. ഏറ്റവും കൂടിയദൂരം അനന്തത എന്നിങ്ങനെയാണ്. നേത്രത്തിലെ പ്രകാശം കേന്ദ്രീകരിക്കുവാനുള്ള കോർണിയയുടെ പവർ 40 ഡയോപ്റ്ററും കണ്ണിലെ ലെൻസിന്റെ (eye lens) ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ പവർ 20 ഡയോപ്റ്ററും ആണ്. ആ അളവിൽ നിന്നും സാധാരണ നേത്രത്തിന്റെ അക്കോമഡേഷന്റെ പരിധി കണക്കാക്കുക.

9.25 ഹ്രസ്വദൃഷ്ടി, ദീർഘദൃഷ്ടി എന്നീ ന്യൂനതകൾ, നേത്രത്തിന്റെ അക്കോമഡേഷനുള്ള കഴിവ് ഭാഗികമായി നഷ്ടപ്പെട്ടുവെന്നാണോ അർഥമാക്കുന്നത്. അല്ലെങ്കിൽ ഈ ന്യൂനതകളുടെ കാരണം എന്താണ്?

9.26 ഹ്രസ്വദൃഷ്ടിയുള്ള ഒരു വ്യക്തി 1.0 ഡയോപ്റ്റർ പവറുള്ള കണ്ണട ധരിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ഈ വ്യക്തി പ്രായം കൂടുമ്പോൾ വായനക്കായി + 2.0 ഡയോപ്റ്റർ ഉള്ള വേറൊരു കണ്ണട ഉപയോഗിക്കുന്നു. എന്തുകൊണ്ടാണ് ഇങ്ങനെ സംഭവിക്കുന്നതെന്ന് വിശദമാക്കുക.

9.27 ക്രമമായി, ലംബമായും തിരശ്ചീനമായും വരകളുള്ള ഷർട്ട് ധരിച്ച വ്യക്തിയെ നോക്കുന്ന ഒരാൾക്ക് ലംബമായ വരകൾ തിരശ്ചീനമായ വരകളേക്കാൾ കൂടുതൽ വ്യക്തമായി കാണാൻ സാധിക്കുന്നു. നേത്രത്തിന്റെ ഏതു ന്യൂനത കൊണ്ടാണ് ഇങ്ങനെ സംഭവിക്കുന്നത്. ഈ ന്യൂനത എങ്ങനെ പരിഹരിക്കാം?

9.28 വ്യക്തകാഴ്ചക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരം (25 cm) ഉള്ള ഒരു വ്യക്തി, 5 cm ഫോക്കൽ ദൂരമുള്ള ഒരു ആവർധനഗ്ലാസ് ഉപയോഗിച്ച് ചെറിയ അക്ഷരങ്ങളിൽ അച്ചടിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ബുക്ക് വായിക്കുന്നു.

(a) ആ വ്യക്തിക്ക് ആവർധനഗ്ലാസ് ഉപയോഗിച്ച് വായിക്കുവാൻ കഴിയുന്നത് ലെൻസ് എത്ര വരെ ദൂരം കുറച്ച് പിടിക്കുമ്പോഴും അതുപോലെ എത്ര വരെ ദൂരം കൂട്ടി പിടിക്കുമ്പോഴും ആണ്?

(b) മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ച ലഘുസൂക്ഷ്മദർശിനി ഉപയോഗിച്ച് ലഭ്യമാക്കാവുന്ന ഏറ്റവും കൂടിയ ആവർധനവും ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ആവർധനവും എത്ര?

9.29 9 cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസ്, നേത്രത്തിന് വളരെ അടുത്ത് പിടിച്ച്, 9 cm ദൂരത്തിൽ സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നതും, 1 mm^2 പരപ്പളവുള്ള ചതുര കള്ളികളായി വിഭജിച്ചിരിക്കുന്നതും ആയ ഒരു കാർഡിനെ വീക്ഷിക്കുന്നു.

(a) ലെൻസ് സൃഷ്ടിക്കുന്ന രേഖീയ ആവർധനം എത്ര? അവാസ്തവ പ്രതിബിംബത്തിലെ ഓരോ ചതുരത്തിന്റെയും പരപ്പളവ് എത്രയാണ്?

(b) ലെൻസിന്റെ കോണീയ ആവർധനം (ആവർധന പവർ) എത്രയാണ്?

(c) രേഖീയ ആവർധനവും, കോണീയ ആവർധനവും സമമാണോ? വിശദമാക്കുക.

9.30 അഭ്യാസം 9.29 ൽ ലെൻസ്, നേത്രത്തിൽ നിന്നും എത്ര ദൂരത്തിൽ സ്ഥാപിച്ചാലാണ് ചതുര കള്ളികളെ വ്യക്തമായും, സാധ്യമായ ഏറ്റവുംകൂടുതൽ കോണീയ ആവർധനത്തിലും വീക്ഷിക്കാൻ കഴിയുന്നത്.

(a) ഈ സാഹചര്യത്തിലുള്ള രേഖീയ ആവർധനം എത്രയാണ്?

(b) ഇവിടെ രേഖീയ ആവർധനവും കോണീയ ആവർധനവും സമമാണോ? വിശദമാക്കുക.

9.31 അഭ്യാസം 9.30 ലെ അവാസ്തവ പ്രതിബിംബത്തിൽ, ഓരോ ചതുരക്കള്ളിയുടെയും പരപ്പളവ് 6.25 mm^2 ലഭിക്കുവാൻ വസ്തുവും, ലെൻസും തമ്മിലുള്ള ദൂരം എത്ര ആയിരിക്കണം. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ നേത്രങ്ങൾ ലെൻസിന് വളരെ അടുത്ത് പിടിച്ച് വ്യക്തമായ പ്രതിബിംബം കാണാൻ സാധിക്കുമോ?

(കുറിപ്പ് : 9.29 മുതൽ 9.31 വരെയുള്ള അഭ്യാസങ്ങൾ ഒരു പ്രകാശിക ഉപകരണത്തിന്റെ രേഖീയ ആവർധനവും കോണീയ ആവർധനവും (ആവർധന പവർ) തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസം, വ്യക്തമായി മനസ്സിലാക്കുവാൻ നിങ്ങളെ സഹായിക്കും.

9.32 താഴെ തന്നിരിക്കുന്ന ചോദ്യങ്ങൾക്ക് ഉത്തരം എഴുതുക.

(a) വസ്തു നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണും ലഘുസൂക്ഷ്മദർശനി സൃഷ്ടിക്കുന്ന അവാസ്തവ പ്രതിബിംബം നേത്രത്തിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണും സമമാണ്. എങ്കിൽ എങ്ങനെയാണ് സൂക്ഷ്മദർശിനിയിൽ കോണീയ ആവർധനം സാധ്യമാകുന്നത്?

(b) ലഘു സൂക്ഷ്മദർശിനിയിലൂടെ നോക്കുന്ന ഒരു വ്യക്തി സാധാരണയായി ലെൻസ് നേത്രത്തിന്റെ വളരെ അടുത്താണ് പിടിക്കുന്നത്. ലെൻസ് നേത്രത്തിൽ നിന്നും ദൂരത്തേക്ക് ചലിപ്പിച്ചാൽ കോണീയ ആവർധനത്തിന് മാറ്റം സംഭവിക്കുമോ?

(c) ഒരു ലഘു സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ കോണീയ ആവർധനം ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരത്തിന് വിപരീതാനുപാതത്തിൽ ആണ്. എങ്കിലെന്തുകൊണ്ട് ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസ് ദൂരം ക്രമമായി കുറച്ച് കോണീയ ആവർധനം വർദ്ധിപ്പിക്കാൻ ശ്രമിക്കാത്തത്.

(d) സങ്കരസൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ ഒബ്ജക്ടീവിന്റെയും ഐപീസിന്റെയും ഫോക്കസ്ദൂരം വളരെ കുറവായിരിക്കേണ്ടതിന്റെ ആവശ്യകത എന്ത്?

(e) ഒരു സങ്കര സൂക്ഷ്മദർശിനിയിലൂടെ വീക്ഷിക്കുമ്പോൾ നേത്രത്തിന്റെ സ്ഥാനം ഐപീസിനെ തൊട്ടുരുമ്മിയല്ല, പകരം കുറച്ച് ദൂരത്തിലായിരിക്കണം. എന്തുകൊണ്ട്? ഐപീസും നേത്രവും തമ്മിലുള്ള ദൂരം എത്ര ആയിരിക്കണം?

9.33 1.25cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒബ്ജക്ടീവും 5cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഐപീസും ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു സങ്കരസൂക്ഷ്മദർശിനി എങ്ങനെ ക്രമീകരിച്ചാലാണ് കോണീയ ആവർധനം 30X ലഭിക്കുന്നത്.

9.34 140cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഒബ്ജക്ടീവ് ലെൻസും 5cm ഫോക്കസ്ദൂരമുള്ള ഐപീസും കൊണ്ട് നിർമിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ദൂരദർശിനി സൃഷ്ടിക്കുന്ന കോണീയ ആവർധനം താഴെ പറയുന്ന സാഹചര്യങ്ങളിൽ എത്ര ആയിരിക്കും?

(a) ദൂരദർശിനി സാധാരണ ക്രമീകരണത്തിലാണ് (അതായത്, അവസാന പ്രതിബിംബം അനന്തതയിൽ രൂപപ്പെടുന്നു)

(b) അവസാന പ്രതിബിംബം വ്യക്തകാഴ്ചക്കുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിൽ (25cm) ആണ്.?

9.35 (a) അഭ്യാസം 9.34 (a) ൽ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന ദൂരദർശിനിയിൽ ഒബ്ജക്റ്റീവ് ലെൻസും ഐപീസും തമ്മിലുള്ള അകലം എത്ര ആയിരിക്കും?

(b) ഈ ദൂരദർശിനിയെ 3km ദൂരത്തിലുള്ള, 100m ഉയരമുള്ള ഒരു ഗോപുരത്തെ വീക്ഷിക്കാൻ ഉപയോഗിച്ചാൽ ഒബ്ജക്റ്റീവ് ലെൻസ് രൂപപ്പെടുത്തുന്ന പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഉയരം എത്ര ആയിരിക്കും?

(c) 25 cmൽ ആണ് പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുന്നതെങ്കിൽ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഉയരം എത്ര ആയിരിക്കും?

9.36 ചിത്രം 9.33ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഒരു കാസ്സെഗ്രെയിൻ ദൂരദർശിനിയിൽ രണ്ട് ദർപ്പണങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്നു. ഈ ദർപ്പണങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള അകലം 20 cm ആണ്. വലിയ ദർപ്പണത്തിന്റെ വക്രതാ ആരം 220 cm. ചെറിയ ദർപ്പണത്തിന്റെ വക്രതാ ആരം 140 mm എന്നിങ്ങനെയാണെങ്കിൽ അനന്തതയിലുള്ള വസ്തുവിന്റെ അന്തിമ (final) പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം എവിടെ ആയിരിക്കും?

9.37 ചിത്രം 9.36 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഒരു ഗാൽവനൊമീറ്ററിന്റെ കമ്പിച്ചുരുളുമായി ചേർത്തുവെച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു സമതലദർപ്പണത്തിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശം അതേ വഴിയിൽ പ്രതിപതിക്കുന്നു. കമ്പിച്ചുരുളിലൂടെ പ്രവഹിക്കുന്ന വൈദ്യുതി ദർപ്പണത്തെ 3.5° കോണളവിൽ വ്യതിചലിപ്പിക്കുന്നു. ദർപ്പണത്തിൽനിന്നും 1.5 m ദൂരത്തിൽ സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്ന സ്ക്രീനിൽ പ്രതിപതന പ്രകാശബിന്ദുവിനുണ്ടാകുന്ന സ്ഥാനാന്തരം എത്രയായിരിക്കും?

ചിത്രം 9.36

9.38 ഒരു സമതലദർപ്പണത്തിന്റെ പ്രതിപതന ഉപരിതലത്തിലുള്ള ദ്രാവക പാളിയുമായി സ്പർശനത്തിലിരിക്കുന്ന ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിനെ (അപവർത്തനാങ്കം 1.5) ചിത്രം 9.37ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. മുന, മുഖ്യഅക്ഷത്തിൽ വരത്തക്കവിധം, ഒരു സൂചി മുഖ്യഅക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായി ചലിപ്പിച്ച് സൂചിയുടെ അവാസ്തവ പ്രതിബിംബം, സൂചിയുടെ സ്ഥാനത്ത് തന്നെ രൂപപ്പെടുത്തുന്നു. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ ലെൻസിൽ നിന്നും സൂചിയിലേയ്ക്കുള്ള ദൂരം 15.0 cm ആണ്. ദ്രാവകം ഇല്ലാതെ പരീക്ഷണം ആവർത്തിക്കുമ്പോൾ സൂചിയും ലെൻസും തമ്മിലുള്ള ദൂരം 30.0 cm എന്ന് ലഭിക്കുന്നുവെങ്കിൽ ദ്രാവകത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം എത്രയായിരിക്കും?

ചിത്രം 9.37

അധ്യായം പത്ത്

തരംഗ പ്രകാശികം (WAVE OPTICS)

B1K3A6

10.1 ആമുഖം

ദെക്കാർത്തെ (Descartes) 1637 ൽ പ്രകാശത്തിന്റെ കണമാതൃക (corpuscular model of light) അവതരിപ്പിക്കുകയും സ്നെൽ നിയമം രൂപീകരിക്കുകയും ചെയ്തു. ഒരു സമ്പർക്കതലത്തിലെ, പ്രതിപതന നിയമങ്ങളും അപവർത്തന നിയമങ്ങളും ഈ മാതൃക വിശദീകരിച്ചു. അപവർത്തനത്തിൽ പ്രകാശരശ്മി ലംബത്തിന്റെ സമീപത്തേക്കു വളയുകയാണെങ്കിൽ, പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗത അത്തരം മാദ്ധ്യമത്തിൽ കൂടുതലായിരിക്കുമെന്ന് കണമാതൃക പ്രവചിച്ചു. ഓപ്റ്റിക്സ് (OPTIKS) എന്നു പേരിട്ട തന്റെ പ്രസിദ്ധമായ പുസ്തകത്തിൽ ഐസക് ന്യൂട്ടൺ പ്രകാശത്തിന്റെ ഈ മാതൃകയെ വീണ്ടും വികസിപ്പിച്ചു. ഈ പുസ്തകത്തിന്റെ ജനസമ്മതി കാരണം പ്രകാശത്തിന്റെ കണമാതൃക പലപ്പോഴും ന്യൂട്ടന്റേതായി അറിയപ്പെട്ടു.

ഡച്ച് ശാസ്ത്രജ്ഞനായ ക്രിസ്റ്റ്യൻ **ഹൈഗൻസ്** 1678-ൽ പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗ സിദ്ധാന്തം (wave theory) മുന്നോട്ടുവെച്ചു. ഈ അധ്യായത്തിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ ഈ തരംഗ മാതൃകയെക്കുറിച്ചാണ് ചർച്ച ചെയ്യുന്നത്. അപവർത്തനം, പ്രതിപതനം എന്നീ പ്രതിഭാസങ്ങൾ പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗമാതൃക ഉപയോഗിച്ച് വിശദീകരിക്കാൻ കഴിയുമെന്ന് തുടർന്നു വരുന്ന ഭാഗങ്ങളിൽ മനസ്സിലാക്കാം. എന്നാൽ അപവർത്തനത്തിൽ തരംഗം ലംബത്തിന്റെ അടുത്തേക്കു വളയുകയാണെങ്കിൽ, പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗത അത്തരം മാധ്യമത്തിൽ കുറവായിരിക്കുമെന്ന പ്രവചനം, പ്രകാശത്തിന്റെ കണമാതൃക ഉപയോഗിച്ചുള്ള പ്രവചനത്തിന് വിരുദ്ധമായിരുന്നു. വളരെ കാലത്തിനുശേഷം ജലത്തിലെ പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗം വായുവി

ലേതിനേക്കാൾ കുറവാണെന്ന് പരീക്ഷണത്തിലൂടെ തെളിയിച്ചു. 1850ൽ **ഫൂക്കോ** (Foucault) ആണ് ഈ പരീക്ഷണം നടത്തിയത്. ന്യൂട്ടന്റെ ശാസ്ത്രലോകത്തെ മേൽക്കോയ്മ കാരണവും, പ്രകാശം ശൂന്യതയിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്നതു കൊണ്ടും തരംഗ സിദ്ധാന്തം ഉടനടി അംഗീകരിക്കപ്പെട്ടില്ല. തരംഗത്തിന് ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നും മറ്റൊരു ബിന്ദുവിലേക്ക് സഞ്ചരിക്കുവാൻ മാദ്ധ്യമം ആവശ്യമാണെന്നാണ് അന്ന് ശാസ്ത്രലോകം കരുതിയിരുന്നത്. എന്നിരുന്നാലും 1801-ൽ, തോമസ് യങ്ങ് (Thomas young) തന്റെ പ്രസിദ്ധമായ ഇന്റർഫറൻസ് (interference) പരീക്ഷണം നടത്തിയപ്പോൾ, പ്രകാശം യഥാർഥത്തിൽ തരംഗ പ്രതിഭാസമാണെന്ന് സ്ഥിരീകരിച്ചു. ദൃശ്യ പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം അളക്കുകയും, അത് വളരെ ചെറുതാണെന്ന് കാണുകയും ചെയ്തു. ഉദാഹരണത്തിന് മഞ്ഞ പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം ഏകദേശം 0.5 മൈക്രോമീറ്റർ ആണ്. തരംഗദൈർഘ്യം വളരെ ചെറിയതായതു കാരണം, ദൃശ്യപ്രകാശം ഏകദേശം നേർരേഖയിൽ ചലിക്കുന്നു വെന്നു കരുതുന്നു. ഇത് മുൻ അധ്യായത്തിൽ നമ്മൾ ചർച്ച ചെയ്ത ജ്യാമിതീയ പ്രകാശത്തിന്റെ മേഖലയാണ്. യഥാർഥത്തിൽ തരംഗദൈർഘ്യത്തിന്റെ അളവിനെ പൂർണമായും അവഗണിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ ശാസ്ത്രശാഖയെയാണ് ജ്യാമിതീയ പ്രകാശികം എന്നു വിളിക്കുന്നത്. അതുപോലെ, തരംഗദൈർഘ്യം പൂജ്യത്തോട് അടുക്കുമ്പോഴുള്ള പരിധിയിലെ, പ്രകാശോർജത്തിന്റെ സഞ്ചാരപാതയെയാണ് രശ്മി (ray) എന്ന് നിർവചിച്ചിരിക്കുന്നത്.

1801–ലെ യങ്ങിന്റെ ഇന്റർഫറൻസ് പരീക്ഷണങ്ങൾക്കുശേഷം, പിന്നീടുള്ള 40 ൽ പരം വർഷങ്ങളോളം, പ്രകാശതരംഗത്തിന്റെ ഇന്റർഫറൻസ്, ഡിഫ്രാക്ഷൻ എന്നിവയുമായി ബന്ധപ്പെട്ട നിരവധി പരീക്ഷണങ്ങൾ നടക്കുകയുണ്ടായി. പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗ മാതൃക എന്ന ആശയം ഉപയോഗിച്ചു കൊണ്ടു മാത്രമാണ് ഈ പരീക്ഷണങ്ങളെ തൃപ്തികരമായി വിശദീകരിക്കുവാൻ കഴിഞ്ഞത്. അങ്ങനെ പത്തൊമ്പതാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ മധ്യത്തോടുകൂടി തരംഗമാതൃകയ്ക്ക് ശാസ്ത്രലോകത്ത് ചിരപ്രതിഷ്ഠ നേടാനായി. എന്നാൽ തരംഗങ്ങൾക്ക് സഞ്ചരിക്കാൻ മാധ്യമം വേണമെന്ന നിഗമനം നിലനിന്നിരുന്നതിനാൽ പ്രകാശത്തിന് എങ്ങനെയാണ് ശൂന്യതയിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതെന്ന ഒരു വലിയ ചോദ്യം അപ്പോഴും ശാസ്ത്രലോകത്തിന് ഉത്തരം കിട്ടാത്തതായി അവശേഷിച്ചു. മാക്സ് വെൽ (Maxwell), അദ്ദേഹത്തിന്റെ പ്രസിദ്ധമായ വൈദ്യുതകാന്തിക സിദ്ധാന്തം മുന്നോട്ടു വെച്ചപ്പോൾ ഇതും വിശദീകരിക്കപ്പെട്ടു. വൈദ്യുതിയിലേയും കാന്തികതയിലേയും നിയമങ്ങളെ വിവരിക്കുന്ന ഒരു കൂട്ടം സമവാക്യങ്ങൾ മാക്സ്വെൽ വികസിപ്പിച്ചിരുന്നു. ഈ സമവാക്യങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് അദ്ദേഹം തരംഗ സമവാക്യം രൂപീകരിക്കുകയും, അതിലൂടെ വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗത്തിന്റെ നിലനിൽപിനെക്കുറിച്ച് പ്രവചിക്കുകയും ചെയ്തു. ഈ തരംഗ സമവാക്യങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് മാക്സ്വെൽ, ശൂന്യതയിലെ വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗവേഗത്തിന്റെ വില കണ്ടുപിടിക്കുകയും, അത് പ്രകാശവേഗത്തിന്റെ മൂല്യത്തിന് വളരെ അടുത്താണെന്നു മനസ്സിലാക്കുകയും ചെയ്തു. ഇതിൽ നിന്നും പ്രകാശം ഒരു വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗമാണെന്ന് തീർച്ചപ്പെടുത്തി. അതായത് മാക്സ്വെല്ലിന്റെ വീക്ഷണത്തിൽ നിരന്തരം വ്യതിയാനം സംഭവിക്കുന്ന കാന്തികമണ്ഡലങ്ങളും വൈദ്യുതമണ്ഡലങ്ങളും കൂടിച്ചേർന്നതാണ് പ്രകാശതരംഗങ്ങൾ. നിരന്തരം വ്യതിയാനം സംഭവിക്കുന്ന കാന്തിക മണ്ഡലം സ്ഥലകാല ബന്ധിതമായ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തെയും, അതുപോലെ, നിരന്തരം വ്യതിയാനം സംഭവിക്കുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം, സ്ഥലകാല ബന്ധിതമായ കാന്തിക മണ്ഡലത്തേയും സൃഷ്ടിക്കുന്നു. അങ്ങനെ ശൂന്യതയിലൂടെയുള്ള

പ്രകാശം നേർരേഖയിലാണോ സഞ്ചരിക്കുന്നത്? (DOES LIGHT TRAVEL IN A STRAIGHT LINE?)

ചെറിയ ക്ലാസുകളിൽ പ്രകാശം സഞ്ചരിക്കുന്നത് നേർരേഖയിലാണെന്നും എന്നാൽ പന്ത്രണ്ടാം ക്ലാസ്സിലും അതിനു ശേഷവും അങ്ങനെയല്ല എന്നും പഠിക്കുന്നു. ഇത് നമ്മെ ആശയക്കുഴപ്പത്തിലാക്കുന്നുണ്ടാകും. അല്ലേ?

ഇനി പറയുന്ന പരീക്ഷണം നിങ്ങൾ താഴ്ന്നക്ളാസ്സിൽ പഠിക്കുമ്പോൾ ചെയ്തിട്ടുണ്ടാകാം. വളരെ ചെറിയ സുഷിരങ്ങൾ ഉള്ള 3 കാർഡ് ബോർഡുകൾ എടുത്ത് ഒരു നിരയിൽ വക്കുക. ഒരു മെഴുകുതിരി ഒരുവശത്ത് സ്ഥാപിക്കുക. അതിനുശേഷം മറുവശത്തുകൂടി നോക്കുക. മെഴുകുതിരിയുടെ ജ്വാലയും, മൂന്നു സുഷിരങ്ങളും ഒരേ നേർ രേഖയിൽ ആണെങ്കിൽ, നിങ്ങൾക്ക് മെഴുകുതിരി കാണുവാൻ കഴിയും. ഏതെങ്കിലും ഒരു കാർഡ് ബോർഡ് അല്പം നീക്കിയാൽ പ്രകാശം കാണുവാൻ കഴിയുകയില്ല. (താഴ്ന്ന ക്ളാസ്സിലെ നിങ്ങളുടെ അധ്യാപകൻ പറഞ്ഞതുപോലെ)പ്രകാശം നേർരേഖയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നുവെന്ന് ഇത് തെളിയിക്കുന്നു.

ഈ പുസ്തകത്തിൽ അടുത്തടുത്ത രണ്ടു അധ്യായങ്ങളിൽ, ഒന്ന് രശ്മി പ്രകാശികത്തെക്കുറിച്ചും അടുത്തത് തരംഗ പ്രകാശികത്തെക്കുറിച്ചുമാണ്. പ്രകാശത്തിന്റെ നേർരേഖാ സഞ്ചാരത്തെ അടിസ്ഥാനമാക്കിയാണ് രശ്മിപ്രകാശികം. ദർപ്പണങ്ങൾ, ലെൻസുകൾ, പ്രതിപതനം, അപവർത്തനം എന്നിവയെക്കുറിച്ച് ഇതിൽ പ്രതിപാദിക്കുന്നു. അതിനുശേഷം നിങ്ങൾ പഠിക്കുന്ന തരംഗ പ്രകാശികത്തിൽ, പ്രകാശം തരംഗമായി സഞ്ചരിക്കുന്നു എന്നും അതിന് വളരെ ചെറിയ വസ്തുക്കൾക്ക് ചുറ്റും വളയാനും, ഡിഫ്രാക്ഷനും ഇന്റർഫറൻസിനും വിധേയമാകാനും കഴിയുമെന്നു പഠിക്കുന്നു. പ്രകാശിക പരിധിയിൽ, ഏകദേശം അര മൈക്രോമീറ്റർ ആണ് പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം. ഈ തരംഗദൈർഘ്യത്തിന്റെ വലുപ്പമുള്ള വസ്തുക്കളിൽ തട്ടുന്ന പ്രകാശത്തിന് അതിനെ ചുറ്റി വളയാൻ കഴിയുന്നതു കൊണ്ട്, മറുവശത്ത് കാണുന്നു. അതായത് ഒരു മൈക്രോമീറ്റർ വലുപ്പമുള്ള തടസ്സത്തിന് പ്രകാശത്തിനെ തടഞ്ഞു നിർത്തുവാൻ കഴിയുന്നില്ല.എന്നാൽ വസ്തു വളരെ വലുതാണെങ്കിൽ, പ്രകാശത്തിന് ആ വസ്തുവിന്റെ വലുപ്പത്തിന്റെ അതേ അളവിൽവിൽ വളയുവാൻ കഴിയാത്തതുകൊണ്ട്, പ്രകാശത്തിന് മറുവശത്ത് എത്തുവാൻ സാധിക്കില്ല. അതായത് ഇത്തരം വസ്തുക്കൾ പ്രകാശത്തെ തടഞ്ഞു നിർത്തുന്നു.

ഇത്തരം പ്രതിഭാസം തരംഗങ്ങളുടെ ഒരു പൊതുവായ സ്വഭാവമാണ്. ശബ്ദതരംഗങ്ങളിലും ഈ സ്വഭാവം കാണാൻ കാണാൻ കഴിയും. നമ്മുടെ സംഭാഷണങ്ങളിലെ ശബ്ദ തരംഗത്തിന് ഏകദേശം 50 സെന്റീമീറ്റർ മുതൽ ഒരു മീറ്റർവരെ തരംഗദൈർഘ്യം ഉണ്ട്. അതുകൊണ്ട് ഇത് ഏതാനും മീറ്റർ വലുപ്പമുള്ള വസ്തുക്കളെ ചുറ്റിവളഞ്ഞ് വസ്തുവിന്റെ മറുപുറത്ത് എത്തുന്നു. എന്നാൽ മലകൾ പോലെ നൂറുകണക്കിന് മീറ്ററുകൾ വലുപ്പമുള്ള തടസ്സങ്ങളിൽ പതിക്കുമ്പോൾ ശബ്ദത്തിന്റെ കൂടുതൽ ഭാഗവും പ്രതിപതിക്കുകയും പ്രതിധ്വനിയായി കേൾക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

മുകളിൽപറഞ്ഞ കാർഡ് ബോർഡ് (card board) പരീക്ഷണത്തിൽ എന്താണ് സംഭവിക്കുന്നത്? ഇവിടെ കാർഡ് ബോർഡ് ഏതാനും മില്ലിമീറ്ററുകൾ നീക്കുമ്പോൾ, ആ ദൂരം പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യത്തേക്കാൾ വളരെ കൂടുതലാകുന്നു. അതുകൊണ്ട് മെഴുകുതിരി കാണാൻ സാധിക്കുന്നില്ല.എന്നാൽ ഒരു മൈക്രോമീറ്ററോ അതിൽ കുറവോ ദൂരത്തേക്ക് ഒരു കാർഡ് ബോർഡിനെ നീക്കാൻ കഴിഞ്ഞാൽ, പ്രകാശം ഡിഫ്രാക്ഷന് വിധേയമാകുകയും നമുക്ക് മെഴുകുതിരിയെ വീണ്ടും കാണാൻ സാധിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗത്തിന്റെ സഞ്ചാരത്തിന്, സമകാല ബന്ധിതമായ കാന്തികമണ്ഡലവും വൈദ്യുത മണ്ഡലവും കാരണമാകുന്നു.

ഹൈഗൻസ്തത്വത്തിന്റെ രൂപീകരണവും ഈ തത്വത്തെ ആസ്പദമാക്കി അപവർത്തനത്തിന്റെയും പ്രതിപതനത്തിന്റെയും നിയമങ്ങളുടെ രൂപീകരണവുമാണ് ഈ അധ്യായത്തിൽ ആദ്യം ചർച്ച ചെയ്യുക. തരംഗങ്ങളുടെ കൂടിച്ചേരലിനെ അടിസ്ഥാനമാക്കിയുള്ള ഇന്റർഫറൻസ് എന്ന പ്രതിഭാസം 10.4, 10.5 എന്നീ ഭാഗങ്ങളിൽ ചർച്ച ചെയ്യപ്പെടും. തുടർന്ന് ഹൈഗൻസിന്റെയും ഫ്രിനലിന്റെയും (Fresnel) തത്വമനുസരിച്ചുള്ള ഡിഫ്രാക്ഷൻ എന്ന പ്രതിഭാസം ഭാഗം 10.6 ൽ ചെയ്യപ്പെടും. അവസാനമായി ഭാഗം 10.7-ൽ പ്രകാശ തരംഗങ്ങൾ അനുപ്രസ്ഥതരംഗങ്ങളാണെന്ന വസ്തുതയെ അടിസ്ഥാനമാക്കി പോളറൈസേഷൻ എന്ന പ്രതിഭാസവും ചർച്ച ചെയ്യപ്പെടും.

* വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങളുടെ അസ്തിത്വം മാക്സ്വെൽ 1855 നോടടുപ്പിച്ച് പ്രവചിച്ചിരുന്നു. ഏറെക്കാലത്തിനുശേഷം 1890 നോടടുപ്പിച്ച് ഹൈൻറിക് ഹെർട്സ് പരീക്ഷണശാലയിൽ റേഡിയോ തരംഗങ്ങളെ സൃഷ്ടിച്ചു. ജെ.സി ബോസ്., ജി.മാർക്കോണി എന്നിവർ ഹെർട്സിയൻ തരംഗങ്ങളെ പ്രയോഗികമാക്കി.

10.2 ഹൈഗൻസ് തത്ത്വം (HUYGENS PRINCIPLE)

ചിത്രം 10.1 (a) ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെട്ടു കൊണ്ടിരിക്കുകയും വ്യാപിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുകയും ചെയ്യുന്ന ഒരു ഗോളീയ തരംഗം. തരംഗമുഖങ്ങൾ ഗോളീയമാണ്.

ആദ്യം നമുക്ക് തരംഗമുഖത്തെ (wave front) നിർവചിക്കാം. നിശ്ചലമായ ജലാശയത്തിൽ ഒരു ചെറിയകല്ല് വീഴ്ത്തുകയാണങ്കിൽ കല്ല് പതിച്ച സ്ഥാനത്തുനിന്നും തരംഗങ്ങൾ പുറത്തേക്കു വ്യാപിച്ച്, ജലോപരിതലത്തിലെ എല്ലാ ബിന്ദുക്കളും സമയബന്ധിതമായി ദോലനം ചെയ്യാൻ ആരംഭിക്കുന്നു. ജലോപരിതലത്തിൽ ഏതെങ്കിലും ഒരു നിമിഷത്തെ ഫോട്ടോ എടുത്താൽ അത് (photograph), പരമാവധി വിക്ഷോഭങ്ങൾ (disturbance) ഉള്ള ഗോളീയവലയങ്ങളെ കാണിക്കുന്നു. ഒരു വലയത്തിലെ എല്ലാ ബിന്ദുക്കളും ഒരേ ഫേസിൽ (phase) ദോലനം ചെയ്യുന്നുവെന്ന് വ്യക്തമാണ്. കാരണം, ഈ ബിന്ദുക്കൾ എല്ലാം തരംഗസ്രോതസ്സിൽ നിന്നും ഒരേ ദൂരത്താണ് സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നത്. ഒരേ ഫേസിൽ ദോലനം ചെയ്യുന്ന, ഇങ്ങനെയുള്ള എല്ലാ ബിന്ദുക്കളുടേയും ബിന്ദുപഥത്തെയാണ് തരംഗമുഖം (wave front) എന്നു വിളിക്കുന്നത്. അതായത് തരംഗത്തിന്റെ സ്ഥിരഫേസുള്ള ഒരു പ്രതലത്തേയാണ് ഒരു തരംഗമുഖമെന്നു നിർവചിച്ചിരിക്കുന്നത്. തരംഗമുഖം സ്രോതസ്സിൽനിന്നും പുറത്തേക്ക് ചലിക്കുന്ന വേഗത്തെയാണ്, തരംഗവേഗമെന്നു വിളിക്കുന്നത്. തരംഗമുഖത്തിന് ലംബമായ ദിശയിലാണ് തരംഗത്തിലെ ഊർജം സഞ്ചരിക്കുന്നത്.

ചിത്രം 10.1 (b) ഒരു സ്രോതസ്സിൽ നിന്നും വളരെ വലിയ അകലത്തിൽ, ഗോളീയതരംഗത്തിന്റെ ചെറിയൊരു ഭാഗത്തെ ഏകദേശം ഒരു സമതല തരംഗമായി കരുതാം.

തരംഗങ്ങളെ എല്ലാ ദിശയിലേക്കും സമാനമായി പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ഒരു ബിന്ദുസ്രോതസ്സ് നമുക്കുണ്ടെങ്കിൽ ഒരേ ആയതിയിലും ഒരേ ഫേസിലും കമ്പനം ചെയ്യുന്ന ബിന്ദുക്കളുടെ ബിന്ദുപഥങ്ങൾ ഗോളോപരിതലങ്ങളായാണ് നമുക്ക് ലഭിക്കുന്നത്. ചിത്രം 10.1 (a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ ഇത്തരം തരംഗങ്ങൾ ഗോളീയതരംഗങ്ങൾ (spherical waves) എന്ന് അറിയപ്പെടുന്നു.

സ്രോതസ്സിൽനിന്നും വളരെ വലിയ അകലത്തിൽ ഗോളോപരിതലത്തിന്റെ ചെറിയൊരു ഭാഗത്തെ സമതലമായി കരുതുവാൻ കഴിയും.ഇത്തരം സാഹചര്യത്തിൽ നമുക്ക് ലഭിക്കുന്നത് ചിത്രം 10.1 (b) യിൽ കാണുന്നതുപോലെ ഒരു സമതല തരംഗം (plane wave) ആയിരിക്കും.

ചിത്രം 10.2 $t = 0$ സമയത്തുള്ള ഗോളീയ തരംഗമുഖത്തിന്റെ ഒരു ഭാഗമാണ് F_1F_2 പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നത്. F_1F_2 - വിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന ദ്വിതീയ ചെറുതരംഗങ്ങളുടെ വളയങ്ങൾ G_1G_2 മുന്നോട്ട് നീങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നു. പുറകോട്ട് നീങ്ങികൊണ്ടിരിക്കുന്ന തരംഗങ്ങൾ നിലനിൽക്കുന്നില്ല.

$t = 0$ സമയത്തിൽ തരംഗമുഖത്തിന്റെ ആകൃതി അറിയാമെങ്കിൽ, പിന്നീട് വരുന്ന $t = \tau$ എന്ന സമയത്തിലുള്ള തരംഗമുഖത്തിന്റെ ആകൃതി നിർണ്ണയിക്കാൻ ഹൈഗൻസ്തത്വം നമ്മെ സഹായിക്കുന്നു. അതായത് യഥാർഥത്തിൽ ഹൈഗൻസ്തത്വം ഒരു ജ്യാമിതീയ നിർമാണമാണ്. ഏതെങ്കിലുമൊരു സമയത്തെ തരംഗത്തിന്റെ ആകൃതി അറിയാമെങ്കിൽ, പിന്നീടുള്ളൊരു സമയത്തെ തരംഗമുഖത്തിന്റെ ആകൃതി നിർണ്ണയിക്കാൻ ഇത് നമ്മെ സഹായിക്കുന്നു. വ്യാപിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു തരംഗത്തെ പരിഗണിക്കുക. $t = 0$ സമയത്തുള്ള ഗോളീയ തരംഗമുഖത്തിന്റെ ഒരു ഭാഗമാണ് ചിത്രം 10.2 ൽ F_1F_2 പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നതെന്ന് കരുതുക.

അങ്ങനെയാണങ്കിൽ, ഹൈഗൻസിന്റെ തത്വമനുസരിച്ച്, തരംഗമുഖത്തിലെ ഓരോ ബിന്ദുവും ദ്വിതീയ (secondary) ക്ഷോഭത്തിന്റെ സ്രോതസാവുകയും, ചെറുതരംഗങ്ങൾ (wavelets) ഈ ബിന്ദുക്കളിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുകയും, എല്ലാ ദിശയിലേക്കും തരംഗത്തിന്റെ വേഗത്തിൽ വ്യാപിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. തരംഗ മുഖത്തുനിന്നും പുറപ്പെടുന്ന ഈ ചെറു തരം

ഗങ്ങളെ ദ്വിതീയ ചെറുതരംഗങ്ങൾ എന്നു വിളിക്കാറുണ്ട്. ഈ ചെറു തരംഗഗോളങ്ങൾക്ക് പൊതുവായി ഒരു തൊടുവര വരയ്ക്കുകയാണെങ്കിൽ, പിന്നീടൊരു സമയത്തെ തരംഗമുഖത്തിന്റെ സ്ഥാനം ലഭിക്കുന്നു. അതായത് $t = \tau$ എന്ന സമയത്തെ തരംഗമുഖത്തിന്റെ ആകൃതി നിർണ്ണയിക്കണമെന്ന് നമ്മൾ ആഗ്രഹിക്കുകയാണെങ്കിൽ, ഗോളീയതരംഗ മുഖത്തിന്റെ ഓരോ ബിന്ദുവിൽ നിന്നും $v\tau$ ആരത്തിലുള്ള ഗോളങ്ങൾ വരക്കുക. ഇവിടെ v, മാധ്യമത്തിലെ തരംഗങ്ങളുടെ വേഗമാണ്. എല്ലാ ഗോളങ്ങൾക്കും പൊതുവായ ഒരു തൊടുവര വരക്കുകയാണെങ്കിൽ, $t = \tau$ എന്ന സമയത്തെ തരംഗമുഖത്തിന്റെ പുതിയ സ്ഥാനം ലഭിക്കുന്നു. ചിത്രം 10.2 ൽ G_1G_2 ആയി കാണിച്ചിരിക്കുന്ന പുതിയ തരംഗമുഖം, വീണ്ടും O കേന്ദ്രമായ ഒരു ഗോളമാണ്.

ചിത്രം 10.3 വലതു വശത്തേക്ക് വ്യാപിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു സമതലതരംഗം ലഭിക്കാനുള്ള ഹൈഗസിന്റെ ജ്യാമിതീയ രൂപീകരണം $t = 0$ സമയത്തുള്ള സമതല തരംഗമുഖമാണ് F_1F_2. പിന്നീടുള്ള ഒരു സമയം τ യിലുള്ള സമതല മുഖമാണ് G_1G_2. A_1A_2, B_1B_2 തുടങ്ങിയ രേഖകൾ പ്രകാശരശ്മികളെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു. ഇവ F_1F_2, G_1G_2 എന്നിവയ്ക്ക് ലംബവുമാണ്.

മേൽ പറഞ്ഞ വിന്യാസങ്ങൾക്ക് ഒരു ന്യൂനതയുണ്ട്. അതായത് ചിത്രം 10.2 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന D_1D_2 വിനെ പോലെ പിൻഭാഗതരംഗവും (back wave) നമുക്കു ലഭിക്കുന്നു. ദ്വിതീയ ചെറുതരംഗങ്ങളുടെ ആയതി ഏറ്റവും കൂടുതൽ മുൻഭാഗ ദിശയിലേക്കും, ഏറ്റവും കുറവ് പിൻഭാഗ ദിശയിലേക്കുമാണെന്ന് ഹൈജൻസ് വാദിച്ചു. ഈ താർകാലിക നിഗമനത്തിലൂടെ പിൻഭാഗ തരംഗത്തിന്റെ അഭാവം ഹൈഗൻസിന് വിശദീകരിക്കുവാൻ കഴിഞ്ഞു. എന്നിരുന്നാലും ഈ താർകാലിക നിഗമനം തൃപ്തികരമായിരുന്നില്ല. ഹൈഗൻസ് കൂടുതൽ കൃത്യതയുള്ള തരംഗ സിദ്ധാന്തത്തിലൂടെ പിൻഭാഗതരംഗത്തിന്റെ അഭാവം വിശദീകരിച്ചു.

ഇതേ രീതിയിൽ, മാധ്യമത്തിലൂടെ വ്യാപിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു സമതലതരംഗത്തിലെ തരംഗമുഖത്തിന്റെ ആകൃതി നിർണ്ണയിക്കാൻ, ഹൈഗൻസിന്റെ തത്വം നമുക്ക് ഉപയോഗിക്കാം (ചിത്രം 10.3).

10.3 ഹൈഗൻസിന്റെ തത്വം ഉപയോഗിച്ച് സമതലതരംഗങ്ങളുടെ അപവർത്തനവും പ്രതിപതനവും (Refraction and Reflection of Plane Waves using Huygens Principle)

10.3.1 ഒരു സമതല തരംഗത്തിന്റെ അപവർത്തനം (Refraction of a plane wave)

ഹൈഗൻസിന്റെ തത്വം ഉപയോഗിച്ച് അപവർത്തന നിയമങ്ങൾ എങ്ങനെ തെളിയിക്കാമെന്ന് നമുക്ക് നോക്കാം. ചിത്രം 10.4 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ മാധ്യമം 1, മാധ്യമം 2 എന്നിവയെ വേർതിരിക്കുന്ന സമതലത്തെ PP' പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു എന്നു കരുതുക. v_1, v_2 എന്നിവ യഥാക്രമം ഒന്നാമത്തേയും, രണ്ടാമത്തേയും, മാധ്യമങ്ങളിലെ വേഗത്തെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു എന്നും കരുതുക. A'A ദിശയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന AB സമതല തരംഗമുഖം, ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ, i പതനകോണിൽ സമ്പർക്കതലത്തിൽ പതിക്കുന്നുവെന്നും കരുതുക. BC ദൂരം സഞ്ചരിക്കാൻ തരംഗമുഖം ഉപയോഗിച്ച സമയം t ആണെന്ന് സങ്കൽപിക്കുക. തന്മൂലം

ചിത്രം 10.4 മാധ്യമം 1, മാധ്യമം 2 എന്നിവയെ വേർതിരിക്കുന്ന PP' സമ്പർക്കതലത്തിൽ AB - സമതല തരംഗം i കോണളവിൽ പതിച്ച് അപവർത്തനത്തിന് വിധേയമാവുന്നു. CE അപവർത്തന തരംഗമുഖത്തെ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നു. ചിത്രത്തിൽ $v_2 < v_1$ ആയതുകൊണ്ട് അപവർത്തനതരംഗം ലംബത്തിന്റെ സമീപത്തേക്കു വളയുന്നു.

ക്രിസ്റ്റൻ ഹൈഗൻസ് (1629 – 1695)
ഡച്ച് ഭൗതിക ശാസ്ത്രജ്ഞനും ജ്യോതിശാസ്ത്രജ്ഞനും, ഗണിത ശാസ്ത്രജ്ഞനും, പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗസിദ്ധാന്തത്തിന്റെ ഉപജ്ഞാതാവുമാണ്. അദ്ദേഹത്തിന്റെ ഗവേഷണപഠന പ്രബന്ധത്തിന്റെ വായന ഇന്നു പോലും മനം കവരുന്നതാണ്. പ്രതിപതനത്തിനും അപവർത്തനത്തിനും പുറമേ കാൽസൈറ്റ് ധാതു (calcite mineral) പ്രദർശിപ്പിക്കുന്ന ദ്വയാപവർത്തനവും (double refraction) ഈ പ്രബന്ധത്തിൽ അദ്ദേഹം വിശദീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. ആദ്യമായി വർത്തുളചലനവും സരള ഹാർമോണിക ചലനവും വിശകലനം ചെയ്തതും, പരിഷ്കരിച്ച ക്ലോക്കുകളും ദൂരദർശിനികളും രൂപകല്പന ചെയ്തതും നിർമ്മിച്ചതും ഇദ്ദേഹമാണ്. ശനിഗ്രഹത്തിന്റെ വലയങ്ങളുടെ ശരിയായ ജ്യാമിതീയ ആകൃതി കണ്ടുപിടിച്ചതും ഇദ്ദേഹമാണ്.

ക്രിസ്റ്റൻ ഹൈഗൻസ് (1629 – 1695)

$$BC = v_1 \tau$$

അപവർത്തന തരംഗമുഖത്തിന്റെ ആകൃതി നിർണ്ണയിക്കുന്നതിനായി, നമ്മൾ രണ്ടാമത്തെ മാധ്യമത്തിൽ A എന്ന ബിന്ദുവിൽ നിന്നും $v_2\tau$ ആരത്തിൽ ഒരു ഗോളം വരക്കുന്നു (രണ്ടാമത്തെ മാധ്യമത്തിൽ തരംഗത്തിന്റെ വേഗം v_2 ആയതിനാൽ). C എന്ന ബിന്ദുവിൽ നിന്നും ഗോളത്തിലേക്കു വരക്കുന്ന തൊടുവരതലത്തെ (tangent plane) പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നത് CE ആണന്ന് കരുതുക. എങ്കിൽ $AE = v_2t$ എന്നെഴുതുവാൻ കഴിയും. അതായത് CE പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നത് അപവർത്തന തരംഗമുഖത്തേയാണ്.

ഇവിടെ ABC, AEC എന്നീ ത്രികോണങ്ങളെ പരിഗണിക്കുമ്പോൾ

$$\sin i = \frac{BC}{AC} = \frac{v_1 \tau}{AC} \qquad (10.1)$$

$$\sin r = \frac{AE}{AC} = \frac{v_2 \tau}{AC} \qquad (10.2)$$ എന്നിങ്ങനെ ലഭിക്കുന്നു.

ഇവിടെ i –പതന കോണും r-അപവർത്തനകോണും ആണ്. സമവാക്യം (10.1) നെ (10.2) കൊണ്ട് ഹരിച്ചാൽ

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$$ എന്ന് ലഭിക്കുന്നു (10.3).

സമവാക്യം (10.3) ൽ നിന്നും നമുക്ക് പ്രധാനപ്പെട്ടൊരു ഫലം ലഭിക്കുന്നു. $r < i$ (അതായത് പ്രകാശരശ്മി ലംബത്തിന്റെ സമീപത്തേക്ക് വളയുന്നു) ആണെങ്കിൽ, രണ്ടാമത്തെ മാധ്യമത്തിലെ പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗം (v_2) ആദ്യത്തെ മാധ്യമത്തിലെ പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗ (v_1)ത്തേക്കാൾ കുറവായിരിക്കും. ഈ നിരീക്ഷണം പ്രകാശത്തിന്റെ കണമാതൃകയനുസരിച്ചുള്ള അനുമാനത്തിന് വിപരീതമാണ്. എന്നാൽ പിന്നീടുള്ള പരീക്ഷണങ്ങൾ തരംഗസിദ്ധാന്തം ഉപയോഗിച്ച് കിട്ടിയ അനുമാനമാണ് ശരിയെന്ന് തെളിയിച്ചു.

c- പ്രകാശത്തിന്റെ ശൂന്യതയിലെ വേഗത്തെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നുവെങ്കിൽ

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \qquad (10.4)$$

$$n_2 = \frac{c}{v_2}$$ എന്നിങ്ങനെ എഴുതുവാനാകും. (10.5)

ഇവിടെ n_1, n_2 എന്നിവ യഥാക്രമം മാധ്യമം 1, മാധ്യമം 2 എന്നിവയുടെ അപവർത്തനാങ്കങ്ങൾ ആണ്. അതുകൊണ്ട്

$$n_1 = \frac{c}{v_1}, \quad n_2 = \frac{c}{v_2}$$

ഇവയുപയോഗിച്ച് സമവാക്യം (10.3) അപവർത്തനാങ്കങ്ങളെ ബന്ധപ്പെടുത്തി

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$ എന്നെഴുതാം. (10.6)

ഇത് സ്നെല്ലിന്റെ അപവർത്തന നിയമമാണ്. λ_1, λ_2 എന്നിവ യഥാക്രമം മാധ്യമം 1, മാധ്യമം 2 എന്നിവയിലെ പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു എന്നും BC ദൂരത്തിന് λ_1 സമമാണെന്നും കരുതുക. എങ്കിൽ AF ദൂരത്തിന് λ_2 സമമായിരിക്കും (കാരണം B യിൽ നിന്നും ശൃംഗം C –യിൽ എത്തുന്ന t സമയം കൊണ്ട് A എന്ന ബിന്ദുവിൽ നിന്ന് ശൃംഗം t യിൽ എത്തിച്ചേരും. അതായത്

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{BC}{AF} \text{ അല്ലെങ്കിൽ } \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1 t}{v_2 t} \text{ അതായത്}$$

$$\frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2} \tag{10.7}$$

സമവാക്യം 10.7 സൂചിപ്പിക്കുന്നത്, ഒരു തരംഗത്തിന് പ്രകാശ സാന്ദ്രത കൂടിയ മാധ്യമത്തിലേക്ക് അപവർത്തനം സംഭവിക്കുമ്പോൾ, അതിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യവും സഞ്ചാരവേഗവും കുറയും എന്നാൽ ആവൃത്തിക്ക് മാറ്റമുണ്ടാവുന്നില്ലയെന്നാണ്.

10.3.2 പ്രകാശസാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ ഒരു മാധ്യമത്തിലെ അപവർത്തനം (Refraction at a rarer medium)

പ്രകാശ സാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ ഒരു മാധ്യമത്തിൽ ഒരു സമതല തരംഗത്തിന്റെ അപവർത്തനം തരംഗസിദ്ധാന്തത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ പരിഗണിച്ചു നോക്കാം. അതായത് ഇവിടെ $v_2 > v_1$ ആയിരിക്കും. മുകളിൽ വിവരിച്ചതിനു സമാനമായ രീതിയിൽ നമുക്ക് അപവർത്തന തരംഗമുഖം, ചിത്രം 10.5ലേതു പോലെ നിർമിക്കാൻ കഴിയും. ഇവിടെ അപവർത്തന കോൺ പതന കോണിനേക്കാൾ സ്വഭാവികമായും കൂടിയതാണ്. എന്നിരുന്നാലും $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ എന്ന സമവാക്യം നമുക്ക് ലഭിക്കും.

$$\sin i_c = \frac{n_2}{n_1} \tag{10.8}$$

പാലിക്കത്തക്ക രീതിയിൽ i_c എന്നൊരു കോണളവ് നിർവചിക്കാം. അതുകൊണ്ട് $i = i_c$ ആകുമ്പോൾ, $\sin r = 1$, $r = 90^0$. $i > i_c$ ആണെങ്കിൽ അപവർത്തനതരംഗം ഉണ്ടാകില്ലായെന്നു വ്യക്തമാകും. കോൺ i_c ക്രിറ്റിക്കൽ കോൺ എന്നറിയപ്പെടുന്നു. പതന കോൺ i ക്രിറ്റിക്കൽ കോണിനേക്കാൾ കൂടിയാൽ, നമുക്ക് അപവർത്തനതരംഗം ലഭിക്കില്ല. പകരം ലഭിക്കുന്നത് പൂർണാന്തരപ്രതിപതനമാണ്. ഇതിനെക്കുറിച്ച് ഭാഗം 9.4-ൽ ചർച്ച ചെയ്തിട്ടുണ്ട്.

ചിത്രം 10.5 പ്രകാശസാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ മാധ്യമത്തിൽ പതിക്കുന്ന ഒരു സമതല തരംഗത്തിന്റെ അപവർത്തനം. അതായത് $v_2 > v_1$ സമതല തരംഗം ലംബത്തിൽ നിന്നും അകലേക്കു വളയുന്നു.

Demonstration of interference, diffraction, refraction, reflection, Doppler effect
http://www.falstad.com/ripple/

10.3.3 സമതല തരംഗത്തിന്റെ സമതല പ്രതലത്തിലുള്ള പ്രതിപതനം (Reflection of a plane wave by a plane surface)

MN പ്രതിപതന പ്രതലത്തിൽ i കോണിൽ പതിക്കുന്ന AB എന്ന ഒരു സമതല തരംഗത്തെ നമുക്ക് പരിഗണിക്കാം. v തരംഗത്തിന്റെ മാധ്യമത്തിലെ വേഗമായും, തരംഗമുഖം B യിൽ നിന്നും C യിൽ എത്തിച്ചേരാനുള്ള സമയം τ ആയും പരിഗണിക്കുകയാണങ്കിൽ

$$BC = v\tau \text{ ആണ്.}$$

പ്രതിപതനതരംഗമുഖം നിർമിക്കുന്നതിനു വേണ്ടി ചിത്രം 10.6 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ A എന്ന ബിന്ദുവിൽ നിന്നും $v\tau$ ആരത്തിൽ ഒരു ഗോളം വരക്കുന്നു. ഈ ഗോളത്തിലേക്ക് C എന്ന ബിന്ദുവിൽ നിന്നും വരച്ച തൊടുവര തലത്തെ CE പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നുവെന്ന് കരുതുക. എങ്കിൽ

$$AE = BC = v\tau \text{ ആണ്.}$$

ത്രികോണങ്ങൾ EAC, BAC പരിഗണിക്കുകയാണങ്കിൽ, അവ സർവ്വസമത്രികോണങ്ങളാണെന്നു കാണാൻ കഴിയും. അതുകൊണ്ട് i, r എന്നീ കോണുകൾ സമമായിരിക്കും. ഇത് പ്രതിപതന നിയമമാണ്.

പ്രതിപതന നിയമങ്ങളും അപവർത്തന നിയമങ്ങളും അറിയാമെങ്കിൽ, നമുക്ക് പ്രിസങ്ങളും, ലെൻസുകളും, ദർപ്പണങ്ങളും ഉണ്ടാക്കുന്ന വിവിധ പ്രതിഭാസങ്ങൾ മനസ്സിലാക്കുവാൻ കഴിയും. പ്രകാശത്തിന്റെ നേർരേഖാചലനത്തെ ആസ്പദമാക്കി ഈ പ്രതിഭാസങ്ങളെക്കുറിച്ച് അധ്യായം 9 ൽ വ്യക്തമായി ചർച്ച ചെയ്തിട്ടുണ്ട്. പ്രതിപതനം, അപവർത്തനം തുടങ്ങിയവക്ക് വിധേയമാകുന്ന തരംഗമുഖങ്ങളുടെ പ്രത്യേകതകളാണ് ഇനി നാം വിവരിക്കുവാൻ പോകുന്നത്. ഒരു കനം കുറഞ്ഞ പ്രിസത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന ഒരു സമതല തരംഗത്തെ ചിത്രം 10.7 (a) ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത് പരിഗണിക്കുക. പ്രിസത്തിന്റെ അകത്തോട്ട് ആദ്യം പ്രവേശിക്കുന്ന തരംഗമുഖത്തിന്റെ താഴത്തെ ഭാഗം (ഗ്ലാസിലൂടെ കൂടുതൽ ദൂരം തരംഗമുഖം സഞ്ചരിക്കുന്നു) പുറത്ത് വരുന്നത് താമസിച്ചായിരിക്കും. കാരണം ഗ്ലാസ്സിൽ പ്രകാശതരംഗത്തിന്റെ വേഗം വായുവിലേതിനേക്കാൾ കുറവാണ്. ഒരു പ്രിസത്തിൽ നിന്നും പുറത്തു വരുന്ന തരംഗമുഖം ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ ചരിഞ്ഞതായിരിക്കും. കനം കുറഞ്ഞ ഒരു ഉത്തല ലെൻസിൽ ഒരു സമതലതരംഗം പതിക്കുന്നത് ചിത്രം 10.7(b) യിൽ നമ്മൾ പരിഗണിക്കുന്നു. ഈ സമതലതരംഗമുഖത്തിന്റെ മധ്യഭാഗം, ലെൻസിന്റെ ഏറ്റവും കട്ടി കൂടിയ ഭാഗത്തു കൂടി സഞ്ചരിക്കുന്നതു കൊണ്ട്, ഏറ്റവും താമസിച്ച് പുറത്തു വരുന്നു. പുറത്തു വരുന്ന തരംഗമുഖം ഗോളീയമായിരിക്കുകയും, ഫോക്കസ്സ് എന്നറിയപ്പെടുന്ന ബിന്ദു (F) വിലേക്ക് കേന്ദ്രീകരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ചിത്രം 10.7(c) യിൽ ഒരു

ചിത്രം 10.6 MN പ്രതിപതനതലത്തിലൂടെ AB സമതല തരംഗത്തിന്റെ പ്രതിപതനം
AB പതനതരംഗമുഖത്തേയും, CE പ്രതിപതന തരംഗ മുഖത്തേയും പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു.

കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിൽ ഒരു സമതല തരംഗം പതിക്കുന്നു. പ്രതിപതനത്തിനു ശേഷം ഫോക്കൽ ബിന്ദു (F) വിലേക്ക് കേന്ദ്രീകരിക്കുന്ന ഒരു ഗോളീയ തരംഗമാണ് നമുക്കിവിടെ ലഭിക്കുന്നത്.

ചിത്രം 10.7 ഒരു സമതലതരംഗത്തിന്റെ അപവർത്തനം (a) ഒരു കനം കുറഞ്ഞ പ്രിസത്തിലൂടെ (b) ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിലൂടെ (c) ഒരു പ്രതലതരംഗത്തിന്റെ കോൺകേവ് ദർപ്പണത്തിലൂടെ പ്രതിപതനം

ഇതിനു സമാനമായ രീതിയിൽ കോൺവെക്സ് ദർപ്പണങ്ങളിലെയും കോൺകേവ് ലെൻസുകളിലെയും പ്രതിപതനവും അപവർത്തനവും നമുക്ക് മനസ്സിലാക്കുവാൻ കഴിയും.

പ്രതിപതനമോ അപവർത്തനമോ പോലുള്ള ഏതുതരം പ്രതിഭാസമെടുത്താലും പ്രകാശൾമി വസ്തുവിന്റെ ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നും പുറപ്പെട്ട് അതിന് സമാനമായ പ്രതിബിംബത്തിലെ ഒരു ബിന്ദുവിലേക്ക് എത്തുവാനെടുക്കുന്ന സമയം തുല്യമായിരിക്കും എന്നു മുകളിലത്തെ വിവരണം സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന് ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസ് പ്രകാശകേന്ദ്രീകരണത്തിലൂടെ ഒരു യഥാർഥ പ്രതിബിബം രൂപപ്പെടുത്തുന്നത് പരിഗണിക്കുക. ഇവിടെ ലെൻസിന്റെ മധ്യഭാഗത്തു കൂടെ പ്രകാശ രശ്മി സഞ്ചരിക്കുന്ന ദൂരം കുറവാണങ്കിലും, ഇത് പ്രതിബിംബത്തിൽ എത്തുന്ന സമയവും, ലെൻസിന്റെ വക്കിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്ന രശ്മി പ്രതിബിംബത്തിലെത്തുവാനെടുക്കുന്ന സമയവും തുല്യമായിരിക്കും. ഗ്ലാസ്സിലൂടെയുള്ള പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗത്തിലുള്ള കുറവാണ് ഇതിനു കാരണം.

10.3.4 ഡോപ്ളർ പ്രഭാവം (The Doppler effect)

സ്രോതസ്സിനും നിരീക്ഷകനും ഇടയിൽ ആപേക്ഷിക ചലനമുള്ളപ്പോൾ തരംഗമുഖം സൃഷ്ടിക്കുക വളരെ ശ്രമകരമാണ്. ഉദാഹരണത്തിന് മാധ്യമം ഇല്ലാത്ത സ്ഥലത്ത് നിരീക്ഷകനിൽ നിന്നും സ്രോതസ്സ് ദൂരത്തേക്ക് സഞ്ചരിക്കുകയാണെങ്കിൽ, പിന്നീട് വരുന്ന ഓരോ തരംഗമുഖവും നിരീക്ഷകന്റെ അടുത്തെത്താൻ കൂടുതൽ ദൂരം സഞ്ചരിക്കുകയും കൂടുതൽ സമയം ഉപയോഗിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. അടുത്തടുത്ത രണ്ട് തരംഗമുഖങ്ങൾ നിരീക്ഷകന്റെ അടുത്തെത്തുന്നതിനിടയിലെ സമയവ്യത്യാസം സ്രോതസ്സിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുമ്പോഴുള്ള സമയവ്യത്യാസത്തേക്കാൾ കൂടുതലാണ്. നിരീക്ഷകനിൽ നിന്നും സ്രോതസ്സ് ദൂരേക്ക് ചലിക്കുബോൾ നിരീക്ഷകന് അനുഭവപ്പെടുന്ന ആവൃത്തി സ്രോതസ്സിലേക്കാൾ കുറവായിരിക്കും. സ്രോതസ്സ് നിരീക്ഷകനോടടുത്തുവരുമ്പോൾ അതിന്റെ ആവൃത്തി കൂടിവരികയും ചെയ്യും. ആവൃത്തിയിൽ ആപേക്ഷിക മാറ്റമുണ്ടാക്കുന്ന ഈ മാറ്റം ഡോപ്ളർ പ്രഭാവം എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഡോപ്ളർ പ്രഭാവം കാരണം തരംഗദൈർഘ്യത്തിലുണ്ടാകുന്ന വർദ്ധനവിനെ ജ്യോതിശാസ്ത്രജ്ഞർ ചുവപ്പ് നീക്കം (red shift) എന്നു

വിളിക്കുന്നു. അകന്നുപോകുന്ന പ്രകാശസ്രോതസ്സുകളുടെ വർണ്ണരാജിയിലെ ദൃശ്യപരിധിയിലുള്ള തരംഗങ്ങളുടെ മധ്യഭാഗത്തുള്ള തരംഗദൈർഘ്യം ദൃശ്യ പരിധിയിലെ ചുവപ്പിന്റെ വശത്തേക്കു നീങ്ങുന്നതാണ് ഈ പേരിനു കാരണം. അതേ സമയം സ്രോതസ്സ് നിരീക്ഷകന്റെ അടുത്തേക്കു നീങ്ങുമ്പോൾ ലഭിക്കുന്ന തരംഗങ്ങളുടെ തരംഗദൈർഘ്യം കുറയുന്നതായും നിരീക്ഷകനു തോന്നും. ഇതിനെ നീല നീക്കം (blue shift) എന്ന് വിളിക്കുന്നു.

പതിനൊന്നാം ക്ലാസ്സിലെ അധ്യായം 15 ൽ ശബ്ദത്തിന്റെ ഡോപ്ളർ പ്രഭാവം നമ്മൾ പഠിച്ചിട്ടുണ്ട്. പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗവുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ സ്രോതസ്സിന്റെയോ നിരീക്ഷകന്റെയോ വേഗം വളരെ കുറവാണങ്കിൽ, ശബ്ദത്തിലെ ഡോപ്ളർ പ്രഭാവത്തിന്റെ സമവാക്യങ്ങൾ ഇവിടെയും ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്. അതായത് ആവൃത്തിയിലെ അംശവ്യത്യാസം (fractional change),

$\frac{\Delta \nu}{\nu} = -\frac{v_{\text{ആപേക്ഷിക വേഗം}}}{c}$ എന്നു ലഭിക്കുന്നു. ഇവിടെ $v_{\text{ആപേക്ഷിക}}$ എന്നത് നിരീക്ഷകനെ അപേക്ഷിച്ച്, നിരീക്ഷകനിൽ നിന്നും നേർരേഖയിലൂടെ സ്രോതസ്സിലേക്കുള്ള സ്രോതസ്സിന്റെ ആപേക്ഷിക വേഗത്തിന്റെ ഘടകമാണ്. നിരീക്ഷകനിൽ നിന്നും സ്രോതസ്സ് ദൂരേക്ക് ചലിക്കുമ്പോൾ $v_{\text{സ്രോതസ്സ്}}$ പോസിറ്റീവായി കണക്കാക്കുന്നു. അതായത് ഡോപ്ളർ വ്യതിചലനത്തെ

$$\frac{\Delta \nu}{\nu} = \frac{v_{\text{ആപേക്ഷിക വേഗം}}}{c} \quad \text{എന്നെഴുതാം.} \qquad (10.9)$$

മേൽപറഞ്ഞ സമവാക്യത്തിന് സ്രോതസ്സിന്റെ വേഗം പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗതയേക്കാൾ വളരെ കുറവായിരിക്കുമ്പോൾ മാത്രമേ സാധുതയുള്ളു. സ്രോതസ്സിന്റെ വേഗം പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗത്തോടടുക്കുമ്പോൾ, കൂടുതൽ കൃത്യതയുള്ള ഡോപ്ളർ പ്രഭാവത്തിന്റെ സമവാക്യത്തിന്, ഐൻസ്റ്റൈന്റെ സവിശേഷ ആപേക്ഷികതാ സിദ്ധാന്തം (special theory of relativity) ഉപയോഗിക്കേണ്ടി വരും. പ്രകാശത്തിന്റെ ഡോപ്ളർ പ്രഭാവം ജ്യോതിശ്ശാസ്ത്രത്തിൽ വളരെ പ്രധാനപ്പെട്ടതാണ്. ഇതിനെ അടിസ്ഥാനപ്പെടുത്തിയാണ് വളരെ ദൂരെയുള്ള ഗാലക്സികളുടെ ആരമിക പ്രവേഗം (radial velocity) നിർണ്ണയിക്കുന്നത്.

ഉദാഹരണം 10.1

ഉദാഹരണം 10.1 : 589.0 nm-ൽ നിരീക്ഷിക്കുന്ന സോഡിയം രേഖയെ 589.6 nm- ൽ നിരീക്ഷിക്കുന്നതിന്, നമ്മളെ അപേക്ഷിച്ച് ഒരു ഗാലക്സി എത്ര വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കണം?

ഉത്തരം: $c = \nu\lambda$ ആയതുകൊണ്ട് തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിൽ വരുന്ന നേരിയ മാറ്റങ്ങൾക്ക്

$\frac{\Delta \nu}{\nu} = -\frac{\Delta \lambda}{\lambda}$ എന്നെഴുതാം. ഇവിടെ $\Delta\lambda = 589.6 - 589.0 = +0.6\,\text{nm}$

$$\frac{\Delta \nu}{\nu} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{v_{\text{ആപേക്ഷിക വേഗം}}}{c} \quad \text{അതായത്}$$

$$v_{\text{ആപേക്ഷിക}} \cong +c\left(\frac{0.6}{589.0}\right) = +3.06 \times 10^{5}\,\text{m s}^{-1} = 306\ \text{km/s}$$

അതുകൊണ്ട് ഗാലക്സി നമ്മളിൽ നിന്നും ദൂരേക്ക് 306 km/s എന്ന വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കുന്നു.

ഉദാഹരണം 10.2

ഉദാഹരണം 10.2 :

(a) രണ്ടു മാധ്യമങ്ങളുടെ സമ്പർക്കതലത്തിൽ ഏകവർണ്ണ പ്രകാശം പതിച്ചപ്പോളുണ്ടായ പ്രതിപതനതരംഗത്തിന്റെയും അപവർത്തന തരംഗത്തിന്റെയും ആവൃത്തി സമമാണ്. കാരണം വിശദമാക്കുക.

(b) പ്രകാശ സാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ ഒരു മാധ്യമത്തിൽ നിന്നും കൂടിയ ഒരു മാധ്യമത്തിലേക്ക് പ്രകാശം സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ അതിന്റെ വേഗം കുറയുന്നു. ഈ വേഗക്കുറവ് അർഥമാക്കുന്നത് പ്രകാശതരംഗം വഹിക്കുന്ന ഊർജത്തിന്റെ കുറവിനെയാണോ?

(c) പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗസിദ്ധാന്തമനുസരിച്ച് തരംഗത്തിന്റെ ആയതിയുടെ വർഗ്ഗമാണ് പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത നിർണ്ണയിക്കുന്നത്. പ്രകാശകണികളായ ഫോട്ടോണുകൾ വഹിക്കുന്ന പ്രകാശോർജത്തിന്റെ തീവ്രത നിർണ്ണയിക്കുന്നതെന്താണ്?

ഉത്തരം:

(a) പ്രകാശവും ദ്രവ്യത്തിലെ ആറ്റ ഘടകങ്ങളുമായുള്ള പരസ്പര പ്രവർത്തന ഫലമായാണ് അപവർത്തനവും പ്രതിപതനവും സംഭവിക്കുന്നത്. ആറ്റങ്ങളെ ദോലകങ്ങളായി കരുതാൻ കഴിയും. ഇവ ബാഹ്യ ഏജൻസിയുടെ (പ്രകാശം) ആവൃത്തി സ്വീകരിച്ച് പ്രണോദിത ദോലന (forced oscillation) ത്തിന് വിധേയമാകുന്നു. ചാർജു ചെയ്യപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന ഒരു ദോലകം പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തി, അതിന്റെ ദോലനത്തിന്റെ ആവൃത്തിക്കു സമമാണ്. അതായത് ദോലകത്തിൽ നിന്നും വരുന്ന വിസരണ പ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തിയും പതനപ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തിയും തുല്യമാണ്.

(b) അല്ല. പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗ മാതൃകയിൽ ഒരു തരംഗം വഹിക്കുന്ന ഊർജം അതിന്റെ ആയതിയെ ആശ്രയിക്കുന്നു. എന്നാൽ സഞ്ചാരവേഗത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല.

(c) തന്നിരിക്കുന്ന ഒരു ആവൃത്തിയിൽ, ഫോട്ടോൺ വിന്യാസമനുസരിച്ച്, യൂണിറ്റ് സമയത്തിൽ, യൂണിറ്റ് പ്രതലത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണമാണ് പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത നിർണ്ണയിക്കുന്നത്.

10.4 കൊഹറന്റും കൊഹറന്റല്ലാത്തതുമായ തരംഗങ്ങളുടെ കൂടിച്ചേരൽ (COHERENT AND INCOHERENT ADDITION OF WAVES)

രണ്ട് തരംഗങ്ങളുടെ കൂടിച്ചേരൽ (Superposition) കാരണം സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്ന ഇന്റർഫറൻസ് (interference) വിന്യാസത്തെയാണ് ഈ വിഭാഗത്തിൽ നമ്മൾ ചർച്ച ചെയ്യുന്നത്. നിങ്ങൾ 11-ാം ക്ലാസ്സിലെ അധ്യായം 15ൽ പഠിച്ച സൂപ്പർപൊസിഷൻ തത്വം (superposition principle) ഓർക്കുക. യഥാർഥത്തിൽ എല്ലാത്തരം ഇന്റർഫറൻസുകളും നടക്കുന്നത് കൂട്ടിച്ചേരൽ തത്വത്തെ അടിസ്ഥാനപ്പെടുത്തിയാണ്. ഈ തത്വം അനുസരിച്ച് രണ്ടോ അതിലധികമോ തരംഗങ്ങൾ മാധ്യമത്തിലെ ഏതെങ്കിലും ഒരു പ്രത്യേക ബിന്ദുവിൽ സൃഷ്ടിക്കുന്ന സ്ഥാനാന്തരം, ഓരോ തരംഗവും സൃഷ്ടിച്ചിരിക്കുന്ന സ്ഥാനാന്തരത്തിന്റെ സദിശതുകയാണ്.

ഒരു ചെറിയ പാത്രത്തിനുള്ളിലെ ജലത്തിൽ താഴേക്കും മുകളിലേക്കും ക്രമാവർത്തന ചലനത്തിലേർപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന S_1, S_2 എന്ന രണ്ട് സൂചികളെ പരിഗണിക്കുക ചിത്രം 10.8 (a). ഇവ രണ്ട് ജലതരംഗങ്ങളെ സൃഷ്ടിക്കുന്നു. ജലത്തിലെ ഏതെ

(a)

(b)

ചിത്രം **10.8** (a) ഒരേ ഫേസിൽ ജലത്തിൽ ദോലനം ചെയ്യുന്ന രണ്ട് സൂചികൾ പൊരുത്തമുള്ള രണ്ട് സ്രോതസ്സുകളെ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നു. (b) ജലോപരിതലത്തിലെ ജലതന്ത്രികളുടെ ഏതെങ്കിലും ഒരു സമയത്തെ സ്ഥാനാന്തരത്തിന്റെ മാതൃക. ഇതിൽ N നോഡൽ (nodal) സ്ഥാനാന്തരം ഇല്ല; തുടർച്ചയായവരകളും A ആന്റി നോഡൽ (Antinodal) (ഏറ്റവും കൂടുതൽ സ്ഥാനാന്തരം) ഇടവിട്ട വരകളും കാണിക്കുന്നു.

ങ്കിലും ഒരു പ്രത്യേക ബിന്ദുവിൽ ഒരോ തരംഗവും സൃഷ്ടിക്കുന്ന സ്ഥാനാന്തരങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള ഫേസ് വ്യത്യാസം സമയത്തിനനുസരിച്ച് മാറുന്നില്ലങ്കിൽ, സ്രോതസുകൾ അനുരൂപമുള്ളതാണ്. ചിത്രം 10.8(b)യിൽ ഏതെങ്കിലും ഒരു സമയത്തുള്ള ശൃംഗങ്ങളെയും (തുടർച്ചയായ വരകൾ കൊണ്ടുള്ള വൃത്തങ്ങൾ) ഗർത്തങ്ങളെയും (ഇടവിട്ട വരകൾ കൊണ്ടുള്ള വൃത്തങ്ങൾ) കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. S_1 ൽ നിന്നും S_2 വിൽ നിന്നും തുല്യദൂരത്തിലുള്ള P എന്നൊരു ബിന്ദു പരിഗണിക്കുക.

അതായത്

$$S_1 P = S_2 P$$

ദൂരം തുല്യമായതുകൊണ്ട്, രണ്ട് തരംഗങ്ങളും P യിൽ എത്തിച്ചേരുമ്പോഴുള്ള സമയവും, ഫേസും തുല്യമായിരിക്കും.

P യിൽ S_1 സ്രോതസ്സ് സൃഷ്ടിക്കുന്ന സ്ഥാനാന്തരം

$$y_1 = a \cos \omega t$$

ആണെങ്കിൽ P യിൽ S_2 സ്രോതസ്സ് സൃഷ്ടിക്കുന്ന സ്ഥാനാന്തരം

$$y_2 = a \cos \omega t \text{ ആയിരിക്കും.}$$

അതായത് P യിലുള്ള സ്ഥാനാന്തരത്തിന്റെ ആകെത്തുക

$$y = y_1 + y_2 = 2\, a \cos \omega t \text{ ആണ്.}$$

പ്രകാശ തീവ്രത തരംഗത്തിന്റെ ആയതിയുടെ വർഗ്ഗത്തിനു ആനുപാതികമായതുകൊണ്ട് P യിലെ പരിണിതപ്രകാശതീവ്രത

$$I = 4\, I_0 \text{ ആണ്.}$$

I_0 പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നത് ഒരോ സ്രോതസ്സും തനിയെ സൃഷ്ടിക്കുന്ന പ്രകാശ തീവ്രതയെയാണ്. a^2ന് ആനുപാതികമാണ് I_0. യഥാർഥത്തിൽ S_1S_2 നേർരേഖക്ക് ലംബീയമായ രണ്ടു ഭാഗങ്ങളിലെ ഏത് ബിന്ദുവിലും പ്രകാശ തീവ്രത $4I_0$ ആണ്. ഇവിടെ രണ്ടു സ്രോതസ്സുകളും പോഷണാത്മകമായി കൂടിച്ചേർന്നിരിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള കൂടിച്ചേരലിനെ കൺസ്ട്രക്റ്റീവ് ഇന്റർഫെറൻസ് (constructive interference) എന്ന് വിളിക്കുന്നു. അടുത്തതായി Q എന്ന ബിന്ദു പരിഗണിക്കുക. (ചിത്രം 10.9 (a)) ഇതിൽ

$$S_2Q - S_1Q = 2\lambda \text{ ആണ്.}$$

S_1 - ൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന തരംഗങ്ങൾ S_2 വിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന തരംഗങ്ങളേക്കാൾ രണ്ട് സൈക്കിളുകൾ മുൻപേ Q വിൽ എത്തിച്ചേരുന്നു. ഈ രണ്ട് തരംഗങ്ങളും ഒരേ ഫേസിൽ ആണ്. S_1 സൃഷ്ടിക്കുന്ന തരംഗത്തെ

$$y_1 = a \cos \omega t \text{ ആണെങ്കിൽ}$$

P യിൽ S_2 സ്രോതസ്സ് സൃഷ്ടിക്കുന്ന സ്ഥാനാന്തരം

$$y_2 = a \cos (\omega t - 4\pi) = a \cos \omega t \text{ ആണ്.}$$

4πഫേസ് വ്യത്യാസത്തിന് ആനുപാതികമായ പാതവ്യത്യാസം (path difference) 2λ ആണ്. രണ്ട് സ്ഥാനാന്തരങ്ങളും ഒരിക്കൽ കൂടി ഒരേ ഫേസിലും പ്രകാശ തീവ്രത $4I_0$ യുമാണ്. ഇവിടേയും കൺസ്ട്രക്ടീവ് ഇന്റർഫറൻസ് സംഭവിക്കുന്നു.

മേൽപറഞ്ഞ വിശകലനത്തിൽ S_1Q, S_2Q എന്നീ ദൂരങ്ങൾ (S_1, S_2 ഇവ തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസം) d യെ അപേക്ഷിച്ച് വളരെ കൂടുതലാണെന്ന് അനുമാനിച്ചിരിക്കുന്നു. അളവുകൊണ്ട് S_1Q, S_2Q എന്നിവ തുല്യമല്ല. രണ്ട് തരംഗങ്ങളും സൃഷ്ടിക്കുന്ന സ്ഥാനാന്തരത്തിന്റെ ആയതി തുല്യതയോടു വളരെ അടുത്താണ്. അടുത്തതായി R എന്ന ബിന്ദു പരിഗണിക്കുക. (ചിത്രം 10.9 (b)) ഇതിൽ

$S_2R - S_1R = -2.5\lambda$ ആണ്.

S_1- ൽ നിന്നു പുറപ്പെടുന്ന തരംഗങ്ങൾ S_2 വിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്നതിനേക്കാൾ 2.5 സൈക്കിളുകൾ താമസിച്ചാണ് R-ൽ എത്തിച്ചേരുന്നത്. ചിത്രം 10.10 (b). അതായത് S_1 സൃഷ്ടിച്ച സ്ഥാനാന്തരം

$y_1 = a \cos \omega t$ ആണെങ്കിൽ

S_2 സൃഷ്ടിച്ച സ്ഥാനാന്തരം

$y_2 = a \cos (\omega t + 5\pi) = - a \cos \omega t$ ആണ്.

ഇവിടെ പാതവ്യതിയാനം 2.5λ ക്ക് ആനുപാതികമായ ഫേസ് വ്യത്യാസം 5π ആയതുകോണ്ടാണ് സമവാക്യത്തിൽ 5π കാണപ്പെടുന്നത്. ഇപ്പോൾ രണ്ട് സ്ഥാനാന്തരങ്ങളും എതിർഫേസിൽ ആയതു കൊണ്ട്, അവ പരസ്പരം റദ്ദാക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട് ആ ബിന്ദുവിലെ പ്രകാശതീവ്രത പൂജ്യം ആയിരിക്കും. ഇതിനെ ഡിസ്ട്രക്ടീവ് ഇന്റർഫെറൻസ് (destructive interference) എന്ന് വിളിക്കുന്നു.

ചിത്രം 10.9 (a) Q ബിന്ദുവിലെ കൺസ്ട്രക്റ്റീവ് ഇന്റർഫെറൻസ് ഇവിടെ പാതവ്യത്യാസം 2λ ആണ്. (b) R ബിന്ദുവിലെ ഡിസ്ട്രക്ടീവ് ഇന്റർഫെറൻസ് ഇവിടെ പാതവ്യത്യാസം $2.5\ \lambda$ ആണ്.

ചുരുക്കത്തിൽ ഒരേ ഫേസിലുള്ള രണ്ട് സ്രോതസ്സുകൾ നമുക്കുണ്ടെന്ന് കരുതുക. പാതവ്യത്യാസം

$$S_1P \sim S_2P = n\lambda \quad (n = 0, 1, 2, 3, \ldots) \qquad (10.10)$$

ആണെങ്കിൽ ആ ബിന്ദുവിൽ നമുക്ക് കൺസ്ട്രക്ടീവ് ഇന്റർഫെറൻസും അവിടുത്തെ പ്രകാശ തീവ്രത $4I_0$ ആയും ലഭിക്കുന്നു.

~ ചിഹ്നം S_1P, S_2P എന്നിവക്കിടയിലെ വ്യത്യാസം സൂചിപ്പിക്കുന്നു. എന്നാൽ പാതവ്യത്യാസം

$$S_1P \sim S_2P = (n+\frac{1}{2})\ \lambda \quad (n = 0, 1, 2, 3 \ldots) \qquad (10.11)$$

ആണെങ്കിൽ നമുക്ക് ഡിസ്ട്രക്ടീവ് ഇന്റർഫെറൻസും, പൂജ്യം പ്രകാശതീവ്രതയും ലഭിക്കുന്നു. വേറെ ഏതെങ്കിലും ഒരു ബിന്ദു G യിൽ രണ്ടു സ്ഥാനാന്തരങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള ഫേസ് വ്യത്യാസം ϕ ആണെന്ന് കരുതുക. S_1 സൃഷ്ടിക്കുന്ന സ്ഥാനാന്തരം

$y_1 = a \cos \omega t$

ആണെങ്കിൽ S_2 സൃഷ്ടിക്കുന്ന സ്ഥാനാന്തരം

$y_2 = a \cos (\omega t + \phi)$ ആണ്.

ചിത്രം 10.10
$S_1P - S_2P = 0, \pm\lambda, = 2\lambda, \pm 3\lambda$ തുടങ്ങിയ ബിന്ദുക്കളുടെ ബിന്ദുപഥം (locus)

സ്ഥാനാന്തരത്തിന്റെ ആകെത്തുക

$$y = y_1 + y_2$$

$$= a [\cos \omega t + \cos (\omega t + \phi)]$$

$$= 2\ a \cos (\phi/2) \cos (\omega t + \phi/2)$$

പരിണത (resultant displacement) സ്ഥാനാന്തരത്തിന്റെ ആയതി $2a \cos(\phi/2)$ ആണ്. അതുകൊണ്ട് ആ ബിന്ദുവിലെ പ്രകാശ തീവ്രത

$$I = 4\, I_0 \cos^2(\phi/2) \qquad (10.12)$$

സമവാക്യം 10.10 അനുസരിച്ച് $\phi = 0, \pm 2\pi, \pm 4\pi, \ldots$ ആണെങ്കിൽ ഏറ്റവും അധികം തീവ്രതയുള്ള കൺസ്ട്രക്ടീവ് ഇന്റർഫെറൻസ് ലഭിക്കുന്നു. $\phi = \pm\pi, \pm 3\pi, \pm 5\pi \ldots$ ആണെങ്കിൽ പൂജ്യം പ്രകാശതീവ്രതയുള്ള ഡിസ്ട്രക്ടീവ് ഇന്റർഫെറൻസും ലഭിക്കുന്നു.

സ്രോതസ്സുകൾ കൊഹറന്റ് ആണെങ്കിൽ ഒരു ബിന്ദുവിലും ഫേസ് വ്യത്യാസത്തിന് മാറ്റം ഉണ്ടാകുന്നില്ല. അതുകൊണ്ട് നമ്മൾക്ക് സ്ഥിരമായ ഇന്റർഫെറൻസ് വിന്യാസം ലഭിക്കുന്നു. അതായത് ഏറ്റവും കൂടിയ പ്രകാശതീവ്രതയുടേയും ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ പ്രകാശതീവ്രതയുടെയും സ്ഥാനത്തിന് സമയത്തിനനുസരിച്ച് മാറ്റം സംഭവിക്കുന്നില്ല. എന്നാൽ രണ്ട് സൂചികളും ഫേസ് വ്യത്യാസം സ്ഥിരമായി നിലനിർത്തുന്നില്ലെങ്കിൽ, ഫേസ് വ്യത്യാസം വളരെ വേഗം മാറികൊണ്ടിരിക്കുന്നതിനാൽ ഇന്റർഫറൻസ് വിന്യാസം സമയത്തിനനുസരിച്ച് മാറുന്നു. സമയത്തിനനുസരിച്ച് പ്രകാശതീവ്രതയുടെ ഏറ്റവും കൂടുതലും, ഏറ്റവും കുറവും വരുന്ന സ്ഥാനങ്ങളും വളരെപ്പെട്ടെന്ന് മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കും. ഇത്തരം സന്ദർഭങ്ങളിൽ പ്രകാശതീവ്രതയുടെ സമയബന്ധിതമായ ശരാശരി വിതരണമാണ് നമുക്കു കാണുവാൻ കഴിയുക. ഇത്തരം ശരാശരി പ്രകാശതീവ്രത

$$\langle I \rangle = 4I_0 \langle \cos^2(\phi/2) \rangle \text{ എന്നാണു രേഖപ്പെടുത്തുക} \qquad (10.13)$$

ഇവിടെ കോണീയ ബ്രാക്കറ്റുകൾ സമയബന്ധിതമായ ശരാശരിയെ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നു. യഥാർഥത്തിൽ $\phi(t)$ സമയത്തിനനുസരിച്ച് ക്രമമില്ലാതെ വ്യത്യാസപ്പെടുകയാണെങ്കിൽ, $\langle \cos^2(\phi/2) \rangle$ ന്റെ സമയബന്ധിത ശരാശരി അളവ് 1/2 ആയിരിക്കും എന്ന് 7.2 ഭാഗത്തിൽ സൂചിപ്പിച്ചിട്ടുണ്ട്. കാരണം (t) ക്രമരഹിതമായി മാറികൊണ്ടിരിക്കുമ്പോൾ, $\cos^2(\phi/2)$ പൂജ്യത്തിനും ഒന്നിനും ഇടയിൽ ക്രമരഹിതമായി വ്യത്യാസപ്പെട്ടുകൊണ്ടിരിക്കും. അതുകൊണ്ട് $\cos^2(\phi/2)$ വിന്റെ ശരാശരി വില 1/2 ആണ്. ഈ ആശയം പരിണത പ്രകാശതീവ്രതയുടെ നാം കണ്ട സമവാക്യത്തിൽ ആരോപിക്കുമ്പോൾ എല്ലാ ബിന്ദുക്കളിലേയും പരിണിത പ്രകാശതീവ്രത

$$I = 2\, I_0 \text{ എന്നു ലഭിക്കും.} \qquad (10.14)$$

സമയത്തിനനുസരിച്ച് കമ്പനം ചെയ്യുന്ന രണ്ട് സ്രോതസ്സുകളിലെ ഫേസ് വ്യത്യാസം മാറുന്നുവെങ്കിൽ, ആ സ്രോതസ്സുകളെ കൊഹറന്റ് അല്ലാത്ത സ്രോതസ്സുകളെന്ന് നമ്മൾ പറയുന്നു. ഇങ്ങനെയാകുമ്പോൾ പ്രകാശതീവ്രതകൾ കൂടിച്ചേരുക മാത്രം ചെയ്യുന്നു. ഒരു ഭിത്തിയെ രണ്ട് വ്യത്യസ്ത പ്രകാശ സോതസ്സുകൾ പ്രകാശിപ്പിക്കുമ്പോൾ യഥാർഥത്തിൽ ഇതാണു സംഭവിക്കുന്നത്.

10.5 പ്രകാശ തരംഗങ്ങളുടെ ഇന്റർഫെറൻസും യങ്ങിന്റെ പരീക്ഷണവും (INTERFERENCE OF LIGHT WAVES AND YOUNG'S EXPERIMENT)

പ്രകാശതരംഗങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചുള്ള ഇന്റഫെറൻസിന്റെ വിശദാംശങ്ങളാണ് ഇനി നാം ചർച്ച ചെയ്യുന്നത്. രണ്ട് പിൻഹോളുകളെ (ചിത്രം 10.11) പ്രകാശിപ്പിക്കുവാൻ രണ്ട് സോഡിയം ലാംപുകൾ ഉപയോഗിക്കുകയാണങ്കിൽ നമുക്ക് ഇന്റർഫറൻസ് വിന്യാസം നിരീക്ഷിക്കാൻ കഴിയില്ല. ഇതിന് കാരണം സാധാരണ സ്രോതസ്സിൽ (സോഡിയം ലാമ്പ് പോലെയുള്ളത്) നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന പ്രകാശ

തരംഗം, 10^{-10}s സമയത്തിൽ ഫേസ് വ്യത്യാസത്തിന് വിധേയമാകുന്നതാണ്. അതായത് രണ്ട് സ്വതന്ത്ര പ്രകാശസ്രോതസ്സിൽ നിന്നു വരുന്ന പ്രകാശതരംഗങ്ങൾക്ക് സ്ഥിരമായ ഫേസ് ബന്ധമില്ല. അതുകൊണ്ട് പ്രകാശ സ്രോതസ്സുകൾ പൊരുത്തമുള്ളവയല്ല. നേരത്തേ ചർച്ച ചെയ്തതു പോലെ, ഇങ്ങനെയാകുമ്പോൾ പ്രകാശ തീവ്രതകൾ ഇന്റർഫെറൻസുണ്ടാകാതെ സ്ക്രീനിൽ കൂടിച്ചേരുന്നു.

ചിത്രം 10.11 രണ്ട് പിൻ ഹോളുകളെ രണ്ട് സോഡിയം ലാബുകൾ കൊണ്ട് പ്രകാശിപ്പിക്കുകയാണെങ്കിൽ പ്രകാശ തീവ്രതകൾ കൂടിച്ചേരുകയും ഇന്റർഫെറൻസ് ബാൻഡുകൾ സ്ക്രീനിൽ കാണാതിരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

ബ്രിട്ടീഷ് ഭൗതിക ശാസ്ത്രജ്ഞനായ തോമസ് യങ്ങ് (Thomas Young) S_1, S_2 എന്നിവയിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന തരംഗങ്ങളുടെ ഫേസുകളെ പരസ്പരം ബന്ധിപ്പിക്കുവാൻ വിദഗ്ധമായ ഒരു രീതി കണ്ടുപിടിച്ചു. അദ്ദേഹം അതാര്യമായ ഒരു സ്ക്രീനിൽ S_1, S_2 (തമ്മിൽ വളരെ അടുത്ത്) എന്ന രണ്ട് പിൻ ഹോളുകൾ സൃഷ്ടിച്ചു (ചിത്രം 10.12 (a)) പ്രകാശമാർന്ന ഒരു സ്രോതസ്സു കൊണ്ട് പ്രകാശിപ്പിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കുന്ന മറ്റൊരു പിൻവിടവിലൂടെ വരുന്ന പ്രകാശം ഉപയോഗിച്ച് ഈ രണ്ട് സുഷിരങ്ങളും പ്രകാശിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. S-ൽ നിന്നും പുറത്തേക്ക് വ്യാപിക്കുന്ന പ്രകാശ തരംഗങ്ങൾ S_1, S_2 എന്നിവയിൽ പതിക്കുന്നതുകൊണ്ട് S_1, S_2 വിനെ അവ കൊഹറന്റ് ആയ രണ്ട് സ്രോതസ്സുകളാക്കി മാറ്റും. കാരണം S_1, S_2 എന്നിവയിൽ നിന്നും വരുന്ന തരംഗങ്ങൾ ഉരുത്തിരിഞ്ഞിരിക്കുന്നത് ഒരേ സ്രോതസ്സിൽ നിന്നുമാണ്. അതുകൊണ്ട് S സ്രോതസ്സിൽ ഉണ്ടാകുന്ന ഏതൊരു ഫേസ് വ്യത്യാസവും S_1, S_2 എന്നിവയിൽ നിന്നും വരുന്ന പ്രകാശത്തിലും അതേ രീതിയിൽ തന്നെ പ്രകടമാകും. അങ്ങനെ S_1, S_2 എന്നീ രണ്ട് സ്രോതസ്സുകളും ഒരേ ഫേസിൽ ബന്ധിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 10.12 ഇന്റർഫെറൻസ് മാതൃക സൃഷ്ടിക്കാനുള്ള യങ്ങിന്റെ പരീക്ഷണ ക്രമീകരണം

അവ നേരത്തെ ചർച്ചചെയ്ത ജലതരംഗ പരീക്ഷണത്തിലെ കമ്പനം ചെയ്യുന്ന രണ്ട് സൂചികൾ പോലെ പൊരുത്തമുള്ളവയായിക്കും (ചിത്രം 10.8 (a)). അതുകൊണ്ട് S_1, S_2 എന്നിവയിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന ഗോളീയ തരംഗങ്ങൾ GG' സ്ക്രീനിൽ ഇന്റർഫെറൻസ് ബാൻഡുകൾ സൃഷ്ടിക്കുന്നു. ഭാഗം 10.4 ൽ തന്നിരിക്കുന്ന വിശകലനരീതി ഉപയോഗിച്ച് ഏറ്റവും കൂടിയതും, ഏറ്റവും കുറഞ്ഞതുമായ പ്രകാശതീവ്രതയുടെ സ്ഥാനങ്ങൾ നിർണ്ണയിക്കാൻ കഴിയും. GG' രേഖയിലെ ഏതെങ്കിലും ഒരു ബിന്ദു, P യിൽ ഏറ്റവും കൂടിയ പ്രകാശ തീവ്രത ലഭിക്കണമെങ്കിൽ, അവിടെ എത്തുന്ന പ്രകാശരശ്മികൾക്കിടയിലുള്ള പാതവ്യത്യാസം

$$S_2P - S_1P = n\lambda; \quad n = 0, 1, 2 \ldots \qquad (10.15)$$

ആയിരിക്കണമെന്ന് നാം നേരത്തേ പഠിച്ചിട്ടുണ്ട്.

ഇവിടെ ജ്യാമിതിപരമായി $S_1 S_2 = d$, $OP = x$ എന്നിങ്ങനെയാണ്. അതിനാൽ

$$(S_2P)^2 - (S_1P)^2 = \left[D^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2\right] - \left[D^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2\right] = 2xd$$

$$S_2P - S_1P = \frac{2xd}{S_2P + S_1P} \qquad (10.16)$$

ഇവിടെ x, d എന്നിവ D യെക്കാൾ വളരെ ചെറുതാണെങ്കിൽ, S_1P+S_2P യെ 2D എന്ന് മാറ്റി എഴുതിയാൽ ഉണ്ടാകുന്ന വ്യത്യാസം അവഗണിക്കാൻ പര്യാപ്തമായ തരത്തിൽ ചെറുതായിരിക്കും. ഉദാഹരണത്തിന് d=0.1cm, D=100cm, OP=1cm (ഇവയെല്ലാം പ്രകാശ തരംഗങ്ങളുടെ ഇന്റർഫെറൻസ് പരീക്ഷണത്തിലെ സാധാരണ അളവുകളാണ്.) ആണെങ്കിൽ,

$$S_2P + S_1P = [(100)^2 + (1.05)^2]^{1/2} + [(100)^2 + (0.95)^2]^{1/2} = 200.01 \text{ cm}$$

അതുകൊണ്ട് $S_2P + S_1P$ യെ 2D ആക്കിയെഴുതുകയാണെങ്കിൽ ഉണ്ടാകുന്ന പിശക് ഏകദേശം 0.005% ആണ്. ഈ സമീപനം അനുസരിച്ച് സമവാക്യം (10.16)

$$S_2P - S_1P \approx \frac{xd}{D} \qquad (10.17)$$

പ്രകാശിത മേഖലയുള്ള കൺസ്ട്രക്ടീവ് ഇന്റർഫെറൻസ് ലഭിക്കാൻ

$$x = x_n = \frac{n\lambda D}{d}\,;\; n = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots \qquad (10.18)$$

ആയിരിക്കണം ഇരുണ്ട മേഖലയുള്ള ഡിസ്ട്രക്ടീവ് ഇന്റർഫെറൻസ് ലഭിക്കാൻ ഇതുപോലെ

$$x = x_n = (n + \frac{1}{2})\,\frac{\lambda D}{d};\;\; n = 0, \pm 1, \pm 2 \qquad (10.19)$$

ആയിരിക്കണം. അങ്ങനെ ചിത്രം 10.13 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ പ്രകാശമുള്ളതും, ഇരുണ്ടതുമായ ബാൻഡുകൾ ലഭിക്കുന്നു. സമവാക്യം (10.18), (10.19) എന്നിവയിൽ നിന്നും പ്രകാശമുള്ളതും ഇരുണ്ടതുമായ ബാൻഡുകൾ തുല്യ അകലത്തിലാണ്. പ്രകാശമുള്ളതോ ഇരുണ്ടതോ ആയ അടുത്തടുത്ത രണ്ട് ബാൻഡുകൾ തമ്മിലുള്ള അകലം

$\beta = x_{n+1} - x_n$. ഇവിടെ x_{n+1}, x_n സൂചിപ്പിക്കുന്നത് പൂജ്യത്തിൽ നിന്നും (n+1), n തുടങ്ങിയ ബാൻഡുകളിലേക്കുള്ള ദൂരമാണ്.

അല്ലെങ്കിൽ $\beta = \dfrac{\lambda D}{d}$ ആണ് (10.20)

ഇതാണ് ബാൻഡ്‌വിഡ്തിന്റെ (bandwidth) സമവാക്യം. $S_1O = S_2O$ ആയതു കൊണ്ട്, മധ്യബിന്ദു O പ്രകാശിതമായിരിക്കും. ഇത് n=0 എന്നു സൂചിപ്പിക്കുന്ന ബാൻഡിനെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു. O ബിന്ദുവിലൂടെ (അതായത് Y അക്ഷത്തിലൂടെ) കടന്നു പോകുന്നതും പേപ്പറിന് ലംബവുമായ രേഖ പരിഗണിക്കുകയാണെങ്കിൽ, ആ രേഖയിലെ എല്ലാ ബിന്ദുക്കളും S_1, S_2 എന്നിവയിൽ നിന്നു തുല്യ ദൂരത്തിലാണ്. അതുകൊണ്ട് ചിത്രം 10.13 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ പ്രകാശിതമായതും നേർരേഖയിലുള്ളതുമായ ബാൻഡുകൾ ലഭിക്കും. സ്ക്രീനിലുണ്ടാകുന്ന ഇന്റർഫെറൻസ് വിന്യാസത്തിന്റെ ആകൃതി നിർണ്ണയിക്കുവാൻ, $S_2P - S_1P$ യുടെ വില ഒരു സ്ഥിരസംഖ്യയായി വരുന്ന ബിന്ദുപഥത്തെ നിരീക്ഷിക്കുക. ഈ ബിന്ദുപഥം ഒരു പ്രത്യേക ബാൻഡിനെയാണ് സൃഷ്ടിക്കുക. ഈ സ്ഥിരസംഖ്യ λ യുടെ പൂർണ്ണ

സംഖ്യാ ഗുണകങ്ങൾ (whole number multiples) ആയിരിക്കുമ്പോൾ പ്രകാശിത ബാൻഡുകളും, $\lambda/2$വിന്റെ ഒറ്റ സംഖ്യാ ഗുണകങ്ങൾ (odd multiples) ആയിരിക്കുമ്പോൾ ഇരുണ്ട ബാൻഡുകളും ലഭിക്കുന്നു. S_2P-S_1P (= Δ) ഒരു സ്ഥിരസംഖ്യയായിരിക്കുന്ന X-Y തലത്തിലെ ബിന്ദുക്കളെ തമ്മിൽ യോജിപ്പിച്ചാൽ കിട്ടുന്നത് ഹൈപ്പർബോള (hyperbola) യാണ്. അതുകൊണ്ട് കൃത്യമായി പറഞ്ഞാൽ ബാൻഡ് വിന്യാസം ഒരു ഹൈപ്പർബോളയാണ്. എന്നിരുന്നാലും ബാൻഡ് വിഡ്ത്തിനെ അപേക്ഷിച്ച് D ദൂരം വളരെ കൂടുതലാണെങ്കിൽ, ചിത്രം 10.13 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ, ബാൻഡുകൾ ഏകദേശം നേർരേഖയിലായിരിക്കും കാണപ്പെടുക.

ഇരട്ടസുഷിര പരീക്ഷണത്തിൽ രണ്ട് സുഷിരങ്ങളുടെയും ലംബീയ അർധരേഖയിലാണ് സ്രോതസ്സ് (വിള്ളൽ) സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നത്. ഇതാണ് ചിത്രം 10.12 ലെ SO രേഖ കാണിക്കുന്നത്. S സ്രോതസ്സ് ലംബീയ അർദ്ധരേഖയിൽ നിന്നും അൽപം മാറിയാൽ എന്തു സംഭവിക്കുന്നുവെന്ന് നോക്കാം. സ്രോതസ്സ് ഒരു പുതിയ ബിന്ദു S' ലേക്ക് നീക്കിയെന്നും, S_1S_2 എന്നിവയുടെ മധ്യബിന്ദു Q ആണെന്നും കരുതുക. S'QS ന്റെ കോണളവ് ϕ ആണെങ്കിൽ, മധ്യത്തിലുള്ള പ്രകാശിത ബാൻഡിന്റെ സ്ഥാനം മറുവശത്ത് $-\phi$ കോണളവിലായിരിക്കും. അതായത് S സ്രോതസ്സ് ലംബീയ അർധരേഖയിലാണെങ്കിൽ പ്രകാശിത മധ്യബാൻഡിന്റെ സ്ഥാനം ലംബീയ അർധരേഖയിലെ O ബിന്ദുവിലായിരിക്കും. എന്നാൽ S ന്റെ സ്ഥാനം ϕ കോണളവിലുള്ള S' ബിന്ദുവിലേക്ക് മാറ്റിയാൽ

തോമസ്സ് യങ്ങ് (1773 – 1829)

തോമസ്സ് യങ്ങ് (1773 – 1829) ഇംഗ്ലീഷ് ഭൗതിക ശാസ്ത്രജ്ഞൻ ഭിഷഗ്വരൻ, ഈജിപ്റ്റോളജിസ്റ്റ് (egyptologist) എന്നീ നിലകളിൽ അറിയപ്പെട്ടു. നേത്രത്തിന്റെ ഘടന, കാഴ്ചയിലെ പ്രവർത്തനം എന്നീ വിഷയങ്ങളിൽ ഗവേഷണം നടത്തി. കൂടാതെ റോസെറ്റാ സ്റ്റോണിലെ (Rosetta stone) കല്ലിലെഴുത്തിന്റെ വിവരണം വരെയുള്ള വിവിധങ്ങളായ ശാസ്ത്രീയ വിഷയങ്ങളിൽ ഗവേഷണം നടത്തി. അദ്ദേഹം ഇന്റർഫെറൻസ് എന്ന പ്രതിഭാസം പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗ സവിശേഷതകളുടെ തെളിവാണെന്ന് തിരിച്ചറിയുകയും ചെയ്തു.

ചിത്രം 10.13 GG' സ്ക്രീനിൽ S_1, S_2 എന്നീ സ്രോതസ്സുകൾ സൃഷ്ടിക്കുന്ന ബാൻഡ് മാതൃകയുടെ കംപ്യൂട്ടർ നിർമിത രൂപം
ചിത്രം 10.13 (a) - യിൽ d= 0.005 mm, (b) - യിൽ d = 0.025 mm എന്നിങ്ങനെയാണ്.
(രണ്ടു ചിത്രത്തിലും D = 5 cm, $\lambda = 5 \times 10^{-5}$ cm എന്നിങ്ങനെയാണ്)

പ്രകാശിത മധ്യബാൻഡിന്റെ സ്ഥാനം ϕ കോണളവിലുള്ള Q' ബിന്ദുവിലായിരിക്കും. അതായത് ലംബീയ അർധരേഖയിൽ നിന്നും സ്രോതസ്സ് മാറുന്ന അതേ കോണളവിൽ, മറുവശത്ത് പ്രകാശിത മധ്യബാൻഡും മാറുന്നു. അതുപോലെ S' സ്രോതസ്സ്, മധ്യബിന്ദു Q, മധ്യബാൻഡിലെ ബിന്ദു Q' എന്നിവയെല്ലാം ഒരേ നേർരേഖയിലാണ്. ഡെന്നിസ് ഗാബറിന്റെ (Dennis Gabor) * നോബൽ പ്രഭാഷണം ഉദ്ധരിച്ചു കൊണ്ട് ഈ ഭാഗം നാം അവസാനിപ്പിക്കുന്നു.

അതിശയകരമായ ഒരു ലഘു പരീക്ഷണത്തിലൂടെ 1801-ൽ തോമസ്സ് യങ്ങ് ആദ്യമായി പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗവിന്യാസം ഏവർക്കും ബോധ്യമാകുന്ന രീതിയിൽ പ്രദർശിപ്പിച്ചു. അദ്ദേഹം ഇരുണ്ടമുറിയിൽ വെച്ചിരുന്ന ഒരു കറുത്ത സ്ക്രീനിലുള്ള രണ്ട് പിൻ സുഷിരങ്ങളിലൂടെ ഒരു സൂര്യ രശ്മിയെ കടത്തിവിട്ടു. പിൻ സുഷിരങ്ങളിൽ നിന്നും വരുന്ന പ്രകാശത്തെ ഒരു വെളുത്ത സ്ക്രീനിൽ പതിയാനനുവദിച്ചു. അപ്പോൾ പ്രകാശിതരേഖക്കിരുവശത്തുമായി രണ്ട് ഇരുണ്ട രേഖകളും കാണാൻ കഴിഞ്ഞു. ഇത് പരമാവധി പരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തുവാനുദ്യോഗത്തെ പ്രചോദിതനാക്കി. തുടർന്ന് ഒരു സ്പിരിറ്റ് ലാമ്പിൽ നിന്നും വരുന്ന ജ്വാലയിൽ ഉപ്പിട്ടപ്പോൾ കിട്ടിയ ശോഭയുള്ള മഞ്ഞ സോഡിയം പ്രകാശം ഉപയോഗിച്ച് അദ്ദേഹം പരീക്ഷണം ആവർത്തിച്ചു. ഈ സമയത്ത് ഒരു കൂട്ടം ഇടവിട്ട ഇരുണ്ട രേഖകൾ അദ്ദേഹം കണ്ടു. ഇതായിരുന്നു പ്രകാശങ്ങൾ കൂടി ചേർന്നാൽ ഇരുട്ടും സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുമെന്നുള്ളതിന്റെ ആദ്യത്തെ തെളിവ്. ഈ പ്രതിഭാസത്തെ ഇന്റർഫെറൻസ് എന്നു വിളിക്കുന്നു. തോമസ്സ് യങ്ങ് പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗമാതൃകയിൽ വിശ്വസിച്ചിരുന്നതുകൊണ്ട് ഇത് പ്രതീക്ഷിച്ചിരുന്നു.

S_1, S_2 എന്നിവ പോയിന്റ് സ്രോതസ്സുകൾ ആണെങ്കിലും ബാൻഡുകൾ നേർരേഖകളാണ്. പോയിന്റ് സ്രോതസ്സുകൾക്ക് പകരം സ്ലിറ്റുകൾ (ചിത്രം 10.14) ഉപയോഗിച്ചിരുന്നെങ്കിൽ, ഒരോ ജോഡി ബിന്ദുക്കളും നേർരേഖയെ സൃഷ്ടിക്കുന്നതിന്റെ ഫലമായി കൂടുതൽ പ്രകാശ തീവ്രതയുള്ള നേർരേഖ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടും.

ചിത്രം **10.14** യങ്ങിന്റെ ഇരട്ട സ്ലിറ്റ് ഇന്റർഫെറൻസ് പരീക്ഷണത്തിലെ പ്രകാശതീവ്രതയുടെ വിതരണത്തിന്റെ ഛായാചിത്രവും ഗ്രാഫും

* ഹോളോഗ്രഫിയുടെ തത്വങ്ങൾ കണ്ടെത്തിയതിന് ഡെന്നിസ് ഗബറിന് 1971 ലെ ഫിസിക്സ് നോബൽ പുരസ്കാരം ലഭിച്ചു.

ഉദാഹരണം 10.3

ഉദാഹരണം 10.3: ഒരു സ്ക്രീനിൽ നിന്നും 1 m ദൂരത്തിൽ, 1mm അകലത്തിലുള്ള രണ്ടു സ്ലിറ്റുകൾ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നു. 500nm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള നീല-പച്ച (blue-green) പ്രകാശം ഉപയോഗിച്ചാൽ ലഭിക്കുന്ന ഫ്രിഞ്ച് അകലം എത്രയാണ്?

ഉത്തരം:

ഫ്രിഞ്ച് അകലം $= \frac{D\lambda}{d} = \frac{1 \times 5 \times 10^{-7}}{1 \times 10^{-3}}$ m $= 5 \times 10^{-4}$ m = 0.5 mm

ഉദാഹരണം 10.4

ഉദാഹരണം 10.4: താഴെപ്പറയുന്ന പ്രവൃത്തികൾക്ക് യങ്ങിന്റെ ഇരട്ട സ്ലിറ്റ് പരീക്ഷണത്തിലെ ഇന്റർഫെറൻസ് ബാൻഡുകളിലെ സ്വാധീനം എന്താണ്?

(a) സ്ലിറ്റുകളുടെ തലത്തിൽ നിന്നും സ്ക്രീൻ ദൂരേക്കു ചലിക്കുന്നു.

(b) ഏകവർണ്ണ സ്രോതസ്സിനെ മാറ്റി പകരം അതിനേക്കാൾ കുറവു തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വേറൊരു സോതസ്സ് ഉപയോഗിക്കുന്നു.

(c) രണ്ട് സ്ലിറ്റുകൾ തമ്മിലുള്ള അകലം വർധിപ്പിക്കുന്നു.

(d) ഇരട്ട സ്ലിറ്റുതലത്തിന്റെ അടുത്തേക്കു സ്രോതസ്സ് ചലിപ്പിക്കുന്നു

(e) പ്രകാശം വരുന്ന സ്ലിറ്റിന്റെ വലുപ്പം വർധിപ്പിക്കുന്നു.

(f) ഏകവർണ്ണ സ്രോതസ്സിനെ മാറ്റി പകരം ധവളപ്രകാശത്തിന്റെ സ്രോതസുപയോഗിക്കുന്നു.

ഉത്തരം

(a) ബാൻഡുകളുടെ കോണീയ അകലം മാറ്റമില്ലാതെ നിലനിർക്കുന്നു. $(= \lambda/d)$ രണ്ട് സുഷിരങ്ങളുടെ തലത്തിൽ നിന്നുള്ള സ്ക്രീനിന്റെ ദൂരത്തിനനുസരിച്ച് യ്വാർഥ ബാൻഡിന്റെ അകലം കൂടുന്നു.

(b) ബാൻഡുകളുടെ അകലം (കോണീയ അകലം) കുറയുന്നു.

(c) ബാൻഡുകളുടെ അകലം (കോണീയ അകലം) കുറയുന്നു. എന്നിരുന്നാലും താഴെ *(d)* യിൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന അവസ്ഥ കൂടി നോക്കുക.

(d) സ്രോതസ്സിന്റെ വലുപ്പം s ആണെന്നും, സ്ലിറ്റിന്റെ തലത്തിൽ നിന്നുള്ള അകലം S ആണെന്നും കരുതുക. $s/S \leq \lambda/d$ എന്ന നിബന്ധന പാലിച്ചെങ്കിൽ മാത്രമേ ഇന്റർഫെറൻസ് ബാൻഡുകൾ കാണുകയുള്ളൂ. അല്ലെങ്കിൽ സ്രോതസ്സിന്റെ വ്യത്യസ്ത ഭാഗങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കുന്ന ഇന്റർഫെറൻസ് വിന്യാസങ്ങൾ പരസ്പര അതിവ്യാപന (overlap) ത്താൽ ഇന്റർഫെറൻസ് ബാൻഡുകൾ കാണാതിരിക്കുന്നു. അതായത് S കുറഞ്ഞാൽ (സ്രോതസ്സ് സ്ലിറ്റ് സ്ക്രീനിന്റെ അടുത്തേക്കു കൊണ്ടുവരുന്നു.) കൺസ്ട്രക്ടീവ് ഇന്റർഫെറൻസ് ബാൻഡിന്റെ പ്രകാശതീവ്രത കുറഞ്ഞു കുറഞ്ഞു വരുകയും ഒരു ഘട്ടം കഴിയുമ്പോൾ അപ്രത്യക്ഷമാകുകയും ചെയ്യുന്നു. ഈ സമയത്തെല്ലാം ഫ്രിഞ്ച് അകലം സ്ഥിരമാണ്.

(e) ഉത്തരം (d)- യിലേതിനു സമാനമാണ്. സ്രോതസ്സ് സ്ലിറ്റിന്റെ വലുപ്പം കൂടുമ്പോൾ, ബാൻഡ് വിന്യാസത്തിന്റെ പ്രകാശ തീവ്രത കുറയുന്നു. $s/S \leq \lambda/d$ എന്ന നിബന്ധന പാലിക്കാതാകുമ്പോൾ ഇന്റർഫെറൻസ് ബാൻഡ് അപ്രത്യക്ഷമാകുന്നു.

ഉദാഹരണം 10.4

(I) ധവള പ്രകാശത്തിലെ വ്യത്യസ്ത ഘടക വർണ്ണങ്ങൾ കൊണ്ടുള്ള ഇന്റർ ഫെറൻസ് വിന്യാസങ്ങൾ പരസ്പരം കവിഞ്ഞു കിടക്കുന്നു. (ശോഷണ പരമായി). വ്യത്യസ്ത വർണ്ണങ്ങൾ കൊണ്ടുള്ള പ്രകാശിത മധ്യ ബാൻഡു കൾ എല്ലാം ഒരേ സ്ഥാനത്ത് കൂടിച്ചേരും. അതുകൊണ്ട് മധ്യബാൻഡ് വെളുത്തതായിരിക്കും. S_2P-$S_1P = \lambda_b/2$ന് സമാനമായ P എന്ന ബിന്ദുവി ലുള്ള ബാൻഡ് ചുവപ്പു നിറത്തിൽ കാണപ്പെടുന്നു. എന്നാൽ നീലവർണ്ണം കാണുന്നുമില്ല. S_2Q-$S_1Q = \lambda_r/2$ന് സമാനമായ 2 എന്ന ബിന്ദുവിൽ നിന്നു കുറച്ചകലെയുള്ള ബിന്ദുവിലുള്ള ബാൻഡിൽ കൂടുതലായും നീല കാണുന്നു. എന്നാൽ ചുവപ്പ് കാണുന്നില്ല. (λ_b നീലവർണ്ണത്തിന്റേയും λ_r ചുവപ്പ് വർണ്ണത്തിന്റേയും തരംഗദൈർഘ്യത്തെ പ്രതിനിധാനം ചെ യ്യുന്നു) അതായത് മധ്യ ബാൻഡിന്റെയടുത്ത് ഇരുവശത്തുമായി ചുവപ്പ് വർണ്ണവും, അകലെ നീലവർണ്ണവും കാണപ്പെടുന്നു. കുറച്ചു ബാൻഡു കൾക്ക് ശേഷം ബാൻഡ് വിന്യാസങ്ങൾ വ്യക്തമായി കാണുന്നില്ല.

10.6 ഡിഫ്രാക്ഷൻ (DIFFRACTION)

അതാര്യവസ്തുക്കൾ സൃഷ്ടിക്കുന്ന നിഴലിനെ വളരെ ശ്രദ്ധാപൂർവ്വം നിരീക്ഷിക്കു കയാണെങ്കിൽ, ജ്യാമിതീയ നിഴലിന്റെ അടുത്ത മേഖലകളിൽ, ഇന്റർഫെറൻസി ലേതു പോലെ, ഇരുണ്ടതും പ്രകാശിതവുമായ ഇടവിട്ട പ്രദേശങ്ങൾ കാണാൻ കഴിയും. ഡിഫ്രാക്ഷന്റെ ഫലമായാണിത് കാണപ്പെടുന്നത്. ദ്രവ്യ തരംഗങ്ങൾ, ജലതരംഗങ്ങൾ, പ്രകാശ തരംഗങ്ങൾ, ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ തുടങ്ങിയ എല്ലാത്തരം തരംഗങ്ങളും പ്രദർശിപ്പിക്കുന്ന പൊതു സ്വഭാവമാണ് ഡിഫ്രാക്ഷൻ. പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം സാധാരണ വസ്തുക്കളുടെ വലുപ്പത്തെ അപേക്ഷിച്ച് വളരെ വളരെ ചെറുതായതുകൊണ്ട് പ്രകാശ ഡിഫ്രാക്ഷന്റെ സ്വാധീനം നിത്യജീവിത ത്തിലെ നിരീക്ഷണത്തിൽ നാം കാര്യമായി അഭിമുഖീകരിക്കുന്നില്ല. എന്നിരു ന്നാലും, പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങളായ സൂക്ഷ്മദർശിനി, ദൂരദർശിനി, നേത്രം തുടങ്ങിയവയുടെ വിശ്ലേഷണശേഷിക്ക് പരിധി (resolution) ഉണ്ടാക്കുന്നത് ഡിഫ്രാ ക്ഷൻ എന്ന പ്രതിഭാസമാണ്. പ്രകാശമുള്ളിടത്തു വച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു സിഡിയിൽ പ്രകാശം പതിക്കുമ്പോൾ അനേകം വർണ്ണങ്ങൾ കാണുന്നത് ഡിഫ്രാക്ഷൻ എന്ന പ്രതിഭാസം കാരണമാണ്. ഡിഫ്രാക്ഷനെക്കുറിച്ചാണ് നാം ഇനി ചർച്ച ചെയ്യു ന്നത്.

10.6.1. ഏക സ്ലിറ്റ് (The single slit)

ഒരു ഏക സ്ലിറ്റ്, പ്രകാശത്തെ വ്യാപിപ്പിക്കുന്ന ഒരു സ്രോതസ്സായി പെരുമാറുമെന്ന് നമ്മൾ യങ്ങ് പരീക്ഷണവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട് പ്രതിപാദിച്ചിട്ടുണ്ട്. യങ്ങിന് മുൻപു തന്നെ, ന്യൂട്ടൺ ഉൾപ്പെടെയുള്ളവരുടെ ആദ്യകാല പരീക്ഷണങ്ങളിൽ നിന്നും ചെറിയ സുഷിരങ്ങളിൽ നിന്നും ചെറിയ വിടവുകളിൽ നിന്നും പ്രകാശം പുറ ത്തേക്കു വ്യാപിക്കുമെന്ന് നിരീക്ഷിച്ചിരുന്നു. പ്രകാശം വക്കുകളിൽ തട്ടി വളയു മെന്നും, നാം നിഴൽ പ്രതീക്ഷിക്കുന്ന ഭാഗങ്ങളിലേക്കു വ്യാപിക്കുന്നെന്നും കണ്ടെ ത്തിയിരുന്നു. ഈ പ്രതിഭാസങ്ങൾ ഉണ്ടാക്കുന്ന ഡിഫ്രാക്ഷനെക്കുറിച്ച് കൂടുതൽ മനസ്സിലാക്കണമെങ്കിൽ തരംഗത്തിലെ ആശയങ്ങളെ ഉപയോഗിക്കണം. ഡിഫ്രാ ക്ഷൻ മനസ്സിലാക്കിയാൽ, വളവിനപ്പുറം നിൽക്കുന്ന ഒരാളുടെ സംസാരം കേട്ടാൽ നിങ്ങൾ അത്ഭുതപ്പെടുകയില്ല.

യങ്ങിന്റെ പരീക്ഷണത്തിലെ ഇരട്ട സുഷിരങ്ങൾക്ക് പകരം ഒരു ഏക സ്ലിറ്റ് (ഏക വർണ്ണ സ്രോതസ്സ് കൊണ്ട് പ്രകാശിപ്പിച്ചത്) ഉപയോഗിക്കുകയാണെങ്കിൽ പ്രകാശിത മധ്യഭാഗത്തോടു കൂടിയതും, വീതി കൂടിയതും ആയ ഒരു പ്രകാശ വിന്യാസം കാണുന്നു. മധ്യഭാഗത്തിന്റെ ഇരുവശത്തുമായി പ്രകാശിതവും ഇരുണ്ടതുമായ ഇടവിട്ട മേഖലകൾ കാണുന്നു. മധ്യഭാഗത്തു നിന്ന് നീങ്ങുന്നതിനനുസരിച്ച് പ്രകാശമേഖലകളുടെ പ്രകാശ തീവ്രത കുറഞ്ഞു വരുന്നു (ചിത്രം 10.16). ഇതിന്റെ കാരണം മനസ്സിലാക്കണമെങ്കിൽ ചിത്രം (10.15) പരിഗണിക്കേണ്ടിവരും. a- വീതിയുള്ള ഏക സ്ലിറ്റിന് ലംബമായി ഒരു കൂട്ടം സമാന്തര പ്രകാശരശ്മികൾ പതിക്കുന്നത് ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. സ്ലിറ്റിൽ വച്ച് ഡിഫ്രാക്ഷൻ സംഭവിച്ച രശ്മികൾ സ്ക്രീനിൽ പതിക്കുന്നു. സ്ലിറ്റിന്റെ മധ്യ ബിന്ദു M ആണ്.

സ്ലിറ്റിന്റെ തലത്തിനു ലംബമായി M ലൂടെ കടന്നു പോകുന്ന ഒരു നേർരേഖ സ്ക്രീനിൽ C എന്ന ബിന്ദുവിൽ പതിക്കുന്നു. സ്ക്രീനിലെ ഏതെങ്കിലും ഒരു ബിന്ദുവായി സങ്കൽപിക്കാവുന്ന P യിലെ പ്രകാശ തീവ്രത നമുക്കു കണ്ടുപിടിക്കണം. L, M, N തുടങ്ങിയ ബിന്ദുക്കളിൽ നിന്നും P യിലേക്കുള്ള നേർരേഖകൾ സമാന്തരങ്ങൾ ആണെന്നും, അവ MC ലംബവുമായി ഉണ്ടാക്കുന്ന കോണളവ് θ യാണെന്നും കരുതുക.

സ്ലിറ്റിനെ വളരെ ചെറിയ ഭാഗങ്ങളാക്കി ഭാഗിക്കുക. ഓരോ ഭാഗത്തിന്റെയും P യിലെ സംഭാവനകൾ ശരിയായ ഫേസ് വ്യത്യാസത്തിൽ കൂട്ടുകയെന്നതാണ് ഇവിടെ അവലംബിക്കുന്ന അടിസ്ഥാന ആശയം. സ്ലിറ്റിലുള്ള തരംഗമുഖത്തിലെ വ്യത്യസ്ത ഭാഗങ്ങളെ ദ്വിതീയ സ്രോതസ്സുകളായി പരിഗണിക്കുന്നു. സ്ലിറ്റിലേക്കു വരുന്ന തരംഗമുഖം സ്ലിറ്റിന്റെ തലത്തിനു സമാന്തരമായതു കൊണ്ട് ഈ സ്രോതസ്സുകൾ ഒരേ ഫേസിലായിരിക്കും. യങ്ങിന്റെ പരീക്ഷണത്തിലേതു പോലെ സ്ലിറ്റിന്റെ വക്കുകൾക്കിടയിലെ പാതവ്യത്യാസം, NP – LP കണ്ടുപിടിക്കാവുന്നതാണ്. ചിത്രം 10.15 ൽ നിന്നും

ചിത്രം 10.15 ഏക സ്ലിറ്റിലുള്ള ഡിഫ്രാക്ഷന്റെ പാത വ്യത്യാസത്തിന്റെ ജ്യാമിതി

$$NP - LP = NQ = a \sin\theta \approx a\theta \qquad (10.21)$$

ഇവിടെ a എന്നത് സ്ലിറ്റിന്റെ വലുപ്പത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

ഇതുപോലെ സ്ലിറ്റിന്റെ തലത്തിലുള്ള രണ്ട് ബിന്ദുക്കൾ M_1, M_2 തമ്മിലുള്ള അകലം y ആണെങ്കിലുള്ള പാതവ്യത്യാസം $M_2P - M_1P = y\theta$ ആണ്. വ്യത്യസ്ത ഫേസിലുള്ള അനവധി സ്രോതസ്സുകളിലെ (തരംഗമുഖത്തിലെ വിവിധ ഭാഗങ്ങളിലെ) തുല്യവും, പോഷണപരവുമായ ഭാഗങ്ങളിലെ സംഭാവനകൾ കൂട്ടിയാൽ അവിടുത്തെ പ്രകാശതീവ്രത നമുക്ക് ലഭിക്കും. ഇന്റെഗ്രൽ കാൽകുലസ് (integral calculus) ഉപയോഗിച്ച് ഫ്രനൽ (Fresnel) ഇതു കണക്കാക്കി. ഇവിടെ നാം അത് ഒഴിവാക്കുന്നു. പകരം നിസ്സാര യുക്തി ഉപയോഗിച്ച് ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസത്തിന്റെ പ്രധാനപ്പെട്ട സവിശേഷതകൾ മനസിലാക്കാം.

സ്ക്രീനിലെ മധ്യബിന്ദുവായ Cയിൽ കോണളവ് 0 യുടെ വില പൂജ്യമാണ്. എല്ലാ പാതവ്യത്യാസങ്ങളും പൂജ്യമായതുകൊണ്ട് സ്ലിറ്റിന്റെ എല്ലാ ഭാഗങ്ങളിൽ നിന്നും ഒരേ ഫേസിലുള്ള പ്രകാശതരംഗങ്ങൾ ഇവിടെയെത്തി P യിൽ പരമാവധി

പ്രകാശ തീവ്രത നൽകുന്നു. പരീക്ഷണനിരീക്ഷണങ്ങളിൽ കാണാൻ കഴിയുന്നത് മധ്യബിന്ദുവായ C യിൽ കാണുന്ന ബാൻഡിന് പരമാവധി പ്രകാശതീവ്രതയുള്ളതായും തുടർന്ന് ഇരുവശങ്ങളിലായി കാണപ്പെടുന്ന മറ്റു പ്രകാശിത ബാൻഡുകളുടെ തീവ്രത ക്രമമായി കുറയുന്നതുമാണ്.

Q = C യിൽ കാണപ്പെടുന്ന പ്രകാശതീവ്രത ഏറ്റവും കൂടുതലുള്ള മധ്യബാൻഡിനെ സെൻട്രൽ മാക്സിമം (central maximum) എന്നും, $\theta \approx (n+1/2)\lambda/a$ കോണളവുകൾ ഉണ്ടാക്കുന്ന മറ്റു പ്രകാശിത ബാൻഡുകളെ സെക്കണ്ടറി മാക്സിമ (secondary maxima) എന്നും വിളിക്കുന്നു. ഇതിന് സമാനമായി $\theta \approx n\lambda/a$-ൽ ($n = \pm1, \pm2, \pm3.....$) ഉണ്ടാക്കുന്ന ബാൻഡുകളെ സെക്കണ്ടറി മിനിമ (secondary minima) എന്നും വിളിക്കുന്നു. ഈ കോണളവുകളിൽ എന്തുകൊണ്ട് സെക്കണ്ടറി മിനിമം ഉണ്ടാക്കുന്നുവെന്ന് മനസിലാക്കാൻ വളരെ എളുപ്പമാണ്. ഇതിനായി θ കോണളവിലെ പാതവ്യത്യാസം $a\theta = \lambda$ ആണെന്നു കരുതുക. എങ്കിൽ

$$\theta \approx \lambda / a . \qquad (10.22)$$

സ്ലിറ്റിനെ a/2 വലുപ്പമുള്ള LM, MN എന്നിങ്ങനെ രണ്ടു തുല്യ ഭാഗങ്ങളാക്കുക. $M_1M_2 = a/2$ ആകത്തക്കവിധം LM ഭാഗത്തിലെ M_1 പോലുള്ള ഒരോ ബിന്ദുവിനും സമാനമായി MN ഭാഗത്തിൽ ഓരോ M_2 തുടങ്ങിയ ബിന്ദുക്കൾ ഉണ്ടായിരിക്കും. ഓരോ M_1, M_2 ബിന്ദുക്കളിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന പ്രകാശരശ്മികൾ P യിലെത്തുമ്പോഴുള്ള പാതവ്യത്യാസം, $M_2P - M_1P = a\theta/2 = \lambda/2$ ആയിരിക്കും. M_1, M_2 എന്നിവയിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശതരംഗങ്ങൾ Pയിൽ സംഗമിക്കുന്നത് 180^0 ഫേസ് വ്യത്യാസത്തിലാണ്, $\theta = \lambda/a$ യുടെ ദിശയിൽ P യിലെത്തുന്ന പ്രകാശതരംഗങ്ങൾ പരസ്പരം ഇല്ലായ്മ ചെയ്യപ്പെടും.

പ്രകാശതീവ്രത പൂജ്യത്തിലെത്തുമ്പോഴുള്ള കോണളവ് സമവാക്യം (10.22) നൽകുന്നു. ഇതുപോലെ $\theta = n\lambda/a$ (n പൂജ്യം ഒഴികെയുള്ള എണ്ണൽ സംഖ്യയാണ്) കോണളവ് ഉണ്ടാക്കുന്ന എല്ലാ ബിന്ദുക്കളിലും പ്രകാശ തീവ്രത പൂജ്യമാണന്ന് കാണാവുന്നതാണ്. സ്ലിറ്റിന്റെ വീതി, a, കുറയുമ്പോൾ മധ്യഭാഗത്തെ ഏറ്റവും തീവ്രമായ ബാൻഡിന്റെ കോണീയ വലുപ്പം കൂടുന്നു. ഇതുപോലെ $\theta \approx (n+1/2)\lambda/a$ ആയാൽ എന്തുകൊണ്ടാണ് അത്തരം ബിന്ദുക്കളിൽ പരമാവധി തീവ്രത (maxima) വരുന്നത് എന്നും, 'n' കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് ഈ മാക്സിമകൾ ദുർബലമായി വരുന്നുവെന്നും മനസ്സിലാക്കാൻ വളരെ എളുപ്പമാണ്. രണ്ടിരുണ്ട ബാൻഡുകൾക്ക് ഇടയിലുള്ള കോണളവ് $\theta = 3\lambda/2a$ പരിഗണിക്കുക. സ്ലിറ്റിനെ മൂന്ന് തുല്യ ഭാഗങ്ങളാക്കുക. സ്ലിറ്റിന്റെ ആദ്യത്തെ 2/3 ഭാഗങ്ങൾ പരിഗണിക്കുക. ഇതിന്റെ രണ്ടഗ്രങ്ങളിലെ പാതവ്യത്യാസം

$$\frac{2}{3}a \times \theta = \frac{2a}{3} \times \frac{3\lambda}{2a} = \lambda \qquad (10.23)$$

അതുകൊണ്ട് സ്ലിറ്റിന്റെ ആദ്യത്തെ ഈ 2/3 ഭാഗത്തെ $\lambda/2$ പാതവ്യത്യാസമുള്ള രണ്ട് പകുതികളായി വിഭജിക്കുന്നതായി പരിഗണിക്കുക. ഈ ഭാഗങ്ങളിൽനിന്നുള്ള ദ്വിതീയ തരംഗങ്ങൾ, നേരത്തെ വിവരിച്ച അതേ രീതിയിൽ പരസ്പരം ഇല്ലാതാക്കുന്നു. ശേഷിക്കുന്ന 1/3 ഭാഗമാണ് രണ്ട് പരമാവധി കുറവുകൾക്കിടയിലെ ഒരു ബിന്ദുവിന്റെ പ്രകാശതീവ്രതയിലേക്ക് സംഭാവന ചെയ്യുന്നത്. വ്യക്തമായും ഇത് മധ്യഭാഗത്തുള്ള പ്രകാശതീവ്രതയെക്കാൾ വളരെ കുറവായിരിക്കും.

(അവിടെ മുഴുവൻ സ്ലിറ്റിൽ നിന്നും വരുന്ന പ്രകാശം ഒരേ ഫേസിൽ ആണ്). ഇതു പോലെ $(n + 1/2)\theta/a$, $n = 2, 3$ etcയിലും പരമാവധി പ്രകാശതീവ്രതയുണ്ടെന്ന് കാണിക്കാൻ കഴിയും. ഈ സാഹചര്യങ്ങളിൽ 1/5, 1/7 എന്നിവ മാത്രം പ്രകാശതീവ്രത സംഭാവന ചെയ്യുന്നതു കൊണ്ട്, n ന്റെ വില കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് പരമാവധി പ്രകാശതീവ്രത (maxima) കൾ ദുർബലമാകുന്നു. ഇതിന് സമാനമായ ഛായാചിത്രവും പ്രകാശതീവ്രതയുടെ വിന്യാസവുമാണ് ചിത്രം 10.16 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്.

ചിത്രം 10.16 ഏക സ്ലിറ്റിലുള്ള ഡിഫ്രാക്ഷനും പ്രകാശ തീവ്രതാ വിന്യാസവും

ഇന്റർഫെറൻസും ഡിഫ്രാക്ഷനും തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസത്തെപ്പറ്റി, ഇവ കണ്ടുപിടിച്ച കാലം മുതൽ വളരെ ദീർഘമായ ചർച്ചകൾ നടന്നുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിലെ ഫെയ്മാൻ (Feynman) * പ്രഭാഷണങ്ങൾ എന്ന പുസ്തകത്തിൽ റിച്ചാർഡ് ഫെയ്മാൻ പറഞ്ഞത് ഇവിടെ രേഖപ്പെടുത്തുന്നത് വളരെ ഉചിതമായിരിക്കും.

ആർക്കും ഇതുവരെ ഇന്റർഫെറൻസും ഡിഫ്രാക്ഷനും തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസം തൃപ്തികരമായി നിർവചിക്കാൻ കഴിഞ്ഞിട്ടില്ല. പ്രത്യേകമായതോ പ്രധാനപ്പെട്ടതോ ആയ ഭൗതികവ്യത്യാസമൊന്നും ഇവയ്ക്കിടയിലില്ല. ഒരു പദ പ്രയോഗത്തിലെ വ്യത്യാസം മാത്രം സ്രോതസ്സുകളുടെ എണ്ണം വളരെക്കുറവായിരിക്കുമ്പോൾ സാധാരണയായി ഇന്റർഫെറൻസ് എന്ന വാക്കും, വളരെയധികം സ്രോതസ്സുകൾ ഉണ്ടെങ്കിൽ ഡിഫ്രാക്ഷൻ എന്ന വാക്കും ഉപയോഗിക്കുന്നു.

ഓരോ സ്ലിറ്റിൽ നിന്നോ, സുഷിരത്തിൽ നിന്നോ ഉള്ള ഏക സ്ലിറ്റ് ഡിഫ്രാക്ഷനുകളുടെ കൂടിച്ചേരലാണ് ഇരട്ട സ്ലിറ്റ് പരീക്ഷണത്തിൽ സ്ക്രീനിൽ ലഭിക്കുന്ന വിന്യാസം (ചിത്രം 10.17) ഇതിൽ വീതി കൂടിയ മധ്യബാൻഡിനെ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇരട്ടസ്ലിറ്റ് ഇന്റർഫെറൻസ് കാരണം വീതി കുറഞ്ഞ നിരവധി ബാൻഡുകളും ഈ മധ്യബാൻഡിൽ കാണുന്നു. ഇങ്ങനെ വീതി കൂടിയ ഡിഫ്രാക്ഷൻ ബാൻഡിൽ കാണപ്പെടുന്ന ബാൻഡുകളുടെ എണ്ണം d/a അനുപാതത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു (അതായത് രണ്ട് സ്ലിറ്റുകൾ തമ്മിലുള്ള അകലവും, സ്ലിറ്റിന്റെ വീതിയും തമ്മിലുള്ള അനുപാതം). a വളരെ ചെറുതാകുമ്പോൾ ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസത്തിന്റെ വീതി വളരെ കൂടുന്നതു കൊണ്ട് നമ്മൾ ഇരട്ട സ്ലിറ്റ് ഇന്റർഫെറൻസ് വിന്യാസം നിരീക്ഷിക്കുന്നു. ചിത്രം 10.13(b) കാണുക.

ചിത്രം 10.17 യഥാർത്ഥ ഇരട്ട സ്ലിറ്റ് ഇന്റർഫെറൻസ് വിന്യാസം. ഇതിന്റെ ആവരണം ഏക സ്ലിറ്റ് വിന്യാസത്തെ കാണിക്കുന്നു.

* ക്വാണ്ടം ഇലക്ട്രോഡൈനാമിക്സിൽ അടിസ്ഥാന ഗവേഷണം നടത്തിയതിന് 1965 ലെ ഫിസിക്സ് നോബൽ പുരസ്കാരം ലഭിച്ചവരിൽ ഒരാളായിരുന്നു റിച്ചാർഡ് ഫെയ്മാൻ.

ചിത്രം 10.12 ലെ ഇരട്ട സ്ലിറ്റ് പരീക്ഷണത്തിൽ ഒരു സ്ലിറ്റ് അടച്ചാൽ എന്ത് സംഭവിക്കുന്നു. ഇപ്പോൾ ഒരു ഏക സ്ലിറ്റ് പരീക്ഷണത്തിൽ ലഭ്യമായ പ്രകാശവിന്യാസമായിരിക്കും നിങ്ങൾ കാണുക. പക്ഷെ വിന്യാസത്തിന്റെ സ്ഥാനം മാറിയിരിക്കും. ഇപ്പോൾ നമുക്ക് ഒരു സ്രോതസ്സ് S, ഒരു സ്ലിറ്റ് S_1 അല്ലെങ്കിൽ S_2, എന്നിവയെ ഉള്ളൂ. ഇത് സ്ക്രീനിൽ ഒരു ഏക സ്ലിറ്റ് ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസം സൃഷ്ടിക്കുന്നു. ഏത് സ്ലിറ്റ് അടക്കുന്നു എന്നതിനെ ആശ്രയിച്ച് SS_1 അല്ലെങ്കിൽ SS_2 എന്നിവയിൽ ഏതെങ്കിലുമൊരു നേർരേഖയിലെ ഒരു ബിന്ദുവിൽ മധ്യഭാഗത്തെ പ്രകാശിത ബാൻഡിന്റെ കേന്ദ്രം പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നു.

ഇന്റർഫെറൻസ് വിന്യാസവും ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസവും ഇപ്പോൾ നമുക്ക് താരതമ്യം ചെയ്ത് നോക്കാം.

(i) തുല്യ വീതിയിലുള്ളതും ഒരേ അകലത്തിലുള്ളതും ഇരുണ്ടതും പ്രകാശിതവുമായ ബാൻഡുകൾ ഇന്റർഫെറൻസ് വിന്യാസത്തിൽ ഉണ്ട്.

ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസത്തിൽ, മധ്യഭാഗത്തുള്ള പരമാവധി പ്രകാശിത ബാൻഡിന് മറ്റുള്ള പ്രകാശിത ബാൻഡിനേക്കാൾ ഇരട്ടി വീതിയുണ്ട്. മധ്യഭാഗത്തുനിന്ന് വശത്തേക്ക് നീങ്ങുമ്പോൾ പ്രകാശതീവ്രത കുറയുന്നു.

(ii) രണ്ട് സ്ലിറ്റിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശതരംഗങ്ങൾ കൂടി ചേർന്നാണ് ഇന്റർഫെറൻസ് വിന്യാസം സൃഷ്ടിക്കുന്നത്. ഒരു സ്ലിറ്റിലെ ഒരോ ബിന്ദുവിൽ നിന്നുള്ള അനവധി തരംഗങ്ങൾ കൂടിച്ചേർന്നാണ് ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസം സൃഷ്ടിക്കുന്നത്.

(iii) സ്ലിറ്റിന്റെ വീതി a ആണെങ്കിൽ ഇന്റർഫെറൻസ് വിന്യാസത്തിലെ ആദ്യത്തെ ഇരുണ്ട മേഖല ലഭിക്കുന്നത് λ/a കോണളവിലാണ്. a അകലത്തിലുള്ള ഇരട്ട സ്ലിറ്റിൽ, λ/a കോണളവിൽ പരമാവധി പ്രകാശിതമായ മേഖല ലഭിക്കുന്നു. (ഇരുണ്ട മേഖല അല്ല)

വ്യക്തമായ ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസവും, ഇന്റർഫെറൻസ് വിന്യാസവും ലഭിക്കുന്നതിന് d യും a യും വളരെ കുറവായിരിക്കണം. ഉദാഹരണത്തിന്, രണ്ട് വിള്ളലുകൾ തമ്മിലുള്ള അകലം, d, മില്ലീമീറ്ററിന്റെ തോതിലായിരിക്കണം. a യുടെ വില 0.1 അല്ലെങ്കിൽ 0.2mm ആയിരിക്കണം.

യങ്ങ് പരീക്ഷണത്തിന്റെയും, ഏക സ്ലിറ്റ് ഡിഫ്രാക്ഷന്റെയും ചർച്ചയിൽ സ്ക്രീൻ വളരെ ദൂരത്താണെന്നാണ് നാം സങ്കൽപിച്ചിരിക്കുന്നത്. സ്ലിറ്റിൽ നിന്നും സ്ക്രീനിലേക്കുള്ള രണ്ടോ അതിലധികമോ തരംഗസഞ്ചാരപാതകൾ സമാന്തരങ്ങളായി കണക്കാക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട് തന്നെ സ്ലിറ്റിനുശേഷം ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസും, അതിന്റെ ഫോക്കസ്സിൽ ഒരു സ്ക്രീനും സ്ഥാപിച്ചാൽ ഇതേ അവസ്ഥ തന്നെ നമുക്കു ലഭിക്കും. സ്ലിറ്റിൽ നിന്നുള്ള സമാന്തര പാതകൾ, ലെൻസ് സ്ക്രീനിലെ ഒരു ബിന്ദുവിൽ സംയോജിപ്പിക്കും. ഇവിടെ സമാന്തര പ്രകാശരശ്മികളിൽ ലെൻസ് അധികമായ പാതവ്യത്യാസം ഒരിക്കലും ഉണ്ടാക്കുന്നില്ല. കൂടുതൽ പ്രകാശ തീവ്രത ബാൻഡുകൾക്കു നൽകുന്നതു കൊണ്ട് ഈ ക്രമീകരണം പലപ്പോഴും ഉപയോഗിക്കാറുണ്ട്. ഇങ്ങനെ ഉപയോഗിക്കുന്ന ലെൻസിന്റെ ഫോക്കൽ ദൂരം 'f' അറിയാമെങ്കിൽ ഡിഫ്രാക്ഷൻ വഴിയുള്ള സെൻട്രൽ മാക്സിമത്തിന്റെ വലുപ്പം എളുപ്പത്തിൽ കണക്കാക്കാനാകും. ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസത്തിൽ മധ്യഭാഗത്തുള്ള പ്രകാശിത മേഖലയും തൊട്ടടുത്ത ഇരുണ്ട മേഖലയും തമ്മിലുള്ള അകലം കോണളവിൽ λ/a ആണ്. അതുകൊണ്ട് സ്ക്രീനിലെ വലുപ്പം $f\lambda/a$ ആയിരിക്കും.

ഉദാഹരണം 10.5

ഉദാഹരണം 10.5: ഏക സ്ലിറ്റ് ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസത്തിന്റെ മധ്യത്തിലുള്ള പരമാവധി പ്രകാശിത മേഖലയ്ക്കുള്ളിൽ ഇരട്ട സ്ലിറ്റ് വിന്യാസത്തിന്റെ 10 പ്രകാശിത ബാൻഡുകൾ ലഭിക്കാൻ ഒരോ സ്ലിറ്റിന്റേയും വീതി എത്രയായിരിക്കണം?

ഉത്തരം: $a\theta = \lambda, \theta = \frac{\lambda}{a}$

$$10\frac{\lambda}{d} = 2\frac{\lambda}{a} \quad a = \frac{d}{5} = 0.2\text{mm}$$

a കണക്കാക്കുമ്പോൾ പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യമോ സ്ലിറ്റിൽ നിന്നും സ്കീനിലേക്കുള്ള ദൂരമോ ഇല്ലാത്തത് ശ്രദ്ധിക്കുക.

10.6.2 ഏക സ്ലിറ്റ് ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസത്തിന്റെ നിരീക്ഷണം (Seeing the single slit diffraction pattern)

ഏകസ്ലിറ്റ് ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസം സ്വയം കാണുവാൻ വളരെ എളുപ്പമാണ്. ഫിലമെൻറ് നേർരേഖയിലുള്ള ഒരു ബൾബും, രണ്ട് ഷേവിങ്ങ് ബ്ളേഡുമാണ് ഇതിനാവശ്യമായ ക്രമീകരണങ്ങൾ. ചിത്രം 10.18 ൽ കാണുന്നതുപോലെ, ഒരു ചെറിയ സ്ലിറ്റുണ്ടാകുന്ന വിധത്തിൽ ബ്ളേഡുകൾ ക്രമികരിക്കുക.

ചിത്രം 10.18 ഏക വിള്ളൽ സൃഷ്ടിക്കാൻ ബ്ലേഡ് പിടിക്കുന്നി വധം ഒരു ബൾബിന്റെ ഫിലമെന്റിനെ ഈ വിള്ളലിലൂടെ നിരീക്ഷിച്ചാൽ വ്യക്തമായ ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസം ലഭിക്കും

സ്ലിറ്റ് നേത്രത്തിന് മുൻപിൽ ഫിലമെന്റിന് സമാന്തരമായി വരത്തക്കവിധം ക്രമീകരിക്കുക. സ്ലിറ്റിന്റെ വീതി ക്രമീകരിച്ച് പ്രകാശിതവും ഇരുണ്ടതുമായ ഒന്നിടവിട്ട ബാൻഡുകൾ കാണാൻ കഴിയും. എല്ലാ ബാൻഡുകളുടേയും സറാനം (മദ്ധ്യ ബാൻഡ് ഒഴികെ) തരംഗദൈർഘ്യത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നതു കൊണ്ട്, ബാൻഡുകളിൽ ചില വർണ്ണങ്ങൾ കാണാൻ കഴിയും. ചുവപ്പിനോ നീലക്കോ അരിപ്പ സറാപിച്ചാൽ വ്യക്തമായ ബാൻഡുകൾ ലഭിക്കും. രണ്ട് അരിപ്പകളും ഉപയോഗിച്ച് നിരീക്ഷണം നടത്തിയാൽ നീല ബാൻഡുകളേക്കാൾ ചുവപ്പു ബാൻഡ് വീതിയുള്ളതായി കാണാൻ കഴിയും. ഈ പരീക്ഷണത്തിൽ ചിത്രം 10.16-ലെ ആദ്യത്തെ സ്ലിറ്റ് S ആയി ഫിലമെന്റ് പ്രവർത്തിക്കുന്നു. നേത്രത്തിലെ ലെൻസ് ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസത്തെ സ്ക്രീനായി പ്രവർത്തിക്കുന്ന റെറ്റീനയിൽ ഫോക്കസ്സ് ചെയ്യുന്നു.

ബ്ളേഡ് ഉപയോഗിച്ച് ഒരു അലുമിനിയം തകിടിൽ ഒരു സ്ലിറ്റ് മുറിക്കുവാൻ കഴിയും. യങ്ങിന്റെ ഇരട്ട സ്ലിറ്റ് പരീക്ഷണം ആവർത്തിക്കാൻ ബൾബ് ഫിലമെൻറ് ആദ്യത്തേതു പോലെ ഉപയോഗിക്കാൻ കഴിയും. പകൽ സമയത്ത് നേത്രത്തിൽ ചെറിയൊരു കോണളവ് രൂപപ്പെടുത്തുന്ന വേറൊരു അനുയോജ്യമായ സ്രോതസ്സ് ലഭ്യമാണ്. മിനുസമുള്ള ഒരു കോൺവെക്സ് പ്രതലത്തിലെ (ഉദാഹരണം സൈക്കിൾ ബെൽ) സൂര്യന്റെ പ്രതിപതനമാണ് ഈ സ്രോതസ്സ്. നേരിട്ടുള്ള സൂര്യപ്രകാശം ഒരിക്കലും ഉപയോഗിക്കരുത്. ഇത് നേത്രത്തിന് ക്ഷതം വരുത്തും. മാത്രമല്ല സൂര്യൻ കണ്ണിൽ $1/2^0$ (അര ഡിഗ്രി) കോൺ രൂപപ്പെടുത്തുന്നതു കൊണ്ട് ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസം ലഭിക്കില്ല.

ഡിഫ്രാക്ഷനിലും, ഇന്റർഫെറൻസിലും പ്രകാശോർജത്തിന്റെ പുനർക്രമീകരണമാണ് സംഭവിക്കുന്നത്. പ്രകാശം പൂജ്യം ആകുന്ന മേഖലകളിൽ ഇരുണ്ട ബാൻഡുകളും, പരമാവധി കൂടുന്ന മേഖലകളിൽ പ്രകാശിത ബാൻഡും സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്നു. അതിനാൽ ഇവിടെ ഊർജത്തിൽ ലാഭമോ നഷ്ടമോ ഇല്ല. അതുകൊണ്ട് ഇത് ഊർജസംരക്ഷണ നിയമത്തിന് അനുസൃതമാണ്.

10.6.3 പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങളുടെ വിശ്ലേഷണ ശേഷി (Resolving power of optical instruments)

അധ്യായം 9 -ൽ നമ്മൾ ദൂരദർശിനികളെക്കുറിച്ച് പഠിച്ചിട്ടുണ്ട്. ദൂരദർശിനിയുടെ കോണീയ വിശ്ലേഷണ ശേഷി നിർണ്ണയിക്കുന്നത് ഒബ്ജക്ടീവാണ് (objective). ഒരു ഒബ്ജക്ടീവിന് രണ്ടു നക്ഷത്രങ്ങളുടെ പ്രതിബിംബങ്ങളെ വേർതിരിക്കാൻ കഴിഞ്ഞില്ലെങ്കിൽ, ആവർധനത്തിലൂടെ അതിനെ വേർതിരിക്കുവാൻ ഐപീസിന് ഒരിക്കലും കഴിയുകയില്ല. ഒബ്ജക്ടീവ് രൂപപ്പെടുത്തുന്ന പ്രതിബിംബത്തിന് ആവർധനം നൽകുകയെന്നതാണ് ഐപീസിന്റെ പ്രാഥമിക ധർമം.

ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിൽ പതിക്കുന്ന സമാന്തരപ്രകാശരശ്മികളെ പരിഗണിക്കുക. എല്ലാ ന്യൂനതകളും അപഭ്രംശങ്ങളും പരിഹരിച്ച ലെൻസാണെങ്കിൽ ജ്യാമിതീയ പ്രകാശികം അനുസരിച്ച് പ്രകാശം ഒരു ബിന്ദുവിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കണം. എന്നാൽ ഡിഫ്രാക്ഷൻ കാരണം,ഒരു ബിന്ദുവിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നതിന് പകരം നിശ്ചിത പരപ്പളവുള്ള ഒരു പുള്ളി (Spot) ആണ് രൂപപ്പെടുക. വൃത്താകൃതിയിലുള്ള ഒരു സുഷിരത്തിൽ കൂടി കടന്ന് കോൺവെക്സ് ലെൻസിൽ പതിക്കുന്ന ഒരു സമതലതരംഗം പരിഗണിച്ച് ഇത്തരം ഡിഫ്രാക്ഷന്റെ സ്വാധീനം പഠിക്കാനാകും (ചിത്രം 10.19). ഇങ്ങനെ ലഭിക്കുന്ന ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസത്തെ, ഏകസ്ലിറ്റ് ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസം വിശകലന വിധേയമാക്കുന്ന അതേ രീതിയിൽ, വിശകലനം ചെയ്യാവുന്നതാണ്. ലെൻസിന്റെ ഫോക്കൽ തലത്തിലുള്ള ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസത്തിൽ, മധ്യഭാഗത്ത് ഒരു പരമാവധി പ്രകാശിത മേഖലയും, അതിന് ചുറ്റും ഏകകേന്ദ്ര വൃത്താകൃതിയിൽ ഇരുണ്ടതും, പ്രകാശിതവുമായ ധാരാളം മേഖലകളും കാണുന്നു (ചിത്രം 10.19). വിശദമായ വിശകലനത്തിൽ നിന്നും മധ്യഭാഗത്തുള്ള പരമാവധി പ്രകാശിത മേഖലയുടെ ആരം

$$r_0 \approx \frac{1.22\,\lambda f}{2a} = \frac{0.61\lambda f}{a} \qquad (10.24)$$

ചിത്രം 10.19 ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിൽ സമാന്തര പ്രകാശ രശ്മികൾ പതിക്കുന്നു. ഡിഫ്രാക്ഷന്റെ പ്രഭാവത്താൽ $\approx 0.61\ \lambda f/a$ ആരമുള്ള ഒരു പുള്ളിയിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നു.

ആണെന്ന് മനസ്സിലാകുന്നു. സമവാക്യത്തിൽ f-ഫോക്കൽ ദൂരം, 2a- വൃത്താകൃതിയുള്ള സുഷിരത്തിന്റെ വ്യാസമോ അല്ലങ്കിൽ ലെൻസിന്റെ വ്യാസമോ (ഇവയിൽ കുറവുള്ളതേതാണോ അത്). $\lambda \approx 0.5\ \mu m$, $f \approx 20\ cm$, $a \approx 5\ cm$ ആണെങ്കിൽ $r_0 \approx 1.2\ \mu m$ ആണ്.

ദൂരദർശിനി, സൂക്ഷ്മദർശിനി മുതലായ പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങളുടെ വിശ്ലേഷണ പരിധി (limit of resolution) നിർണ്ണയിക്കുന്നതിൽ പ്രതിബിംബം രൂപം കൊള്ളുന്ന പുള്ളിയുടെ വലുപ്പം വളരെ കുറവാണെങ്കിലും, അതിന് വളരെ നിർണ്ണായകമായ സ്ഥാനം ഉണ്ട്. രണ്ട് നക്ഷത്രങ്ങൾ കഷ്ടിച്ച് വേർപെട്ടുകാണുന്നുവെങ്കിൽ

$$f\Delta\theta \approx r_0 \approx \frac{0.61\lambda f}{a}$$

ഇവിടെ

$$\Delta\theta \approx \frac{0.61\lambda}{a}$$ (10.25) ആണ്.

അതായത് a. കൂടുതലാണെങ്കിൽ $\Delta\theta$ കുറവായിരിക്കും. a വളരെ കൂടുതലാണെങ്കിൽ ഒരു ദൂരദർശിനിയുടെ വിശ്ലേഷണ ശേഷി കൂടുതലായിരിക്കും എന്നാണിതർഥമാക്കുന്നത്. അതുകൊണ്ടാണ് ഒരു ദൂരദർശിനിയുടെ ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ വ്യാസം വളരെ കൂടുതലായിരിക്കണമെന്നു പറയപ്പെടുന്നത്.

ഉദാഹരണം 10.6

ഉദാഹരണം 10.6: ഒരു നക്ഷത്രത്തിൽ നിന്നും 6000Å തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള പ്രകാശം എത്തുന്നതായി പരിഗണിക്കുക. 100 ഇഞ്ച് വ്യാസത്തോടു കൂടിയ ഒബ്ജക്ടീവുള്ള ഒരു ദൂരദർശിനിയുടെ വിശ്ലേഷണ പരിധി എത്രയായിരിക്കും?

ഉത്തരം $2a = 100$ ഇഞ്ച് $= 254$ cm.

$\lambda \approx 6000\text{Å} = 6\times10^{-5}$ cm

$$\Delta\theta \approx \frac{0.61\times6\times10^{-5}}{127} \approx 2.9\times10^{-7}$$ റേഡിയൻസ്

സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ ഒബ്ജക്ടീവ് ലെൻസിലും നമുക്ക് ഇതേ യുക്തി ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്. ഇവിടെ ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ ഫോക്കസ്സിന്റെ അൽപം പിറകിലാണ് വസ്തു സ്ഥാപിക്കുന്നത്. അതുകൊണ്ട് v ദൂരത്ത് പ്രതിബിംബം ലഭിക്കുന്നു. ആവർധനം $m \approx v/f$ ആണ്. ചിത്രം 10.20ൽ നിന്നും

$$D/f \approx 2\tan\beta$$ (10.26)

ചിത്രം 10.20 ഒരു സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ ഒബ്ജക്ടീവ് ലെൻസ് യഥാർഥ പ്രതിബിംബം രൂപപ്പെടുത്തുന്നു

നിങ്ങളുടെ നേത്രത്തിന്റെ വിശ്ലേഷണ ശേഷി നിർണ്ണയിക്കുന്ന വിധം (Determine the resolving power of your eye)

ഒരു നിസ്സാര പരീക്ഷണത്തിലൂടെ നിങ്ങൾക്ക് നിങ്ങളുടെ നേത്രത്തിന്റെ വിശ്ലേഷണ ശേഷി കണക്കാക്കാവുന്നതാണ് ചിത്രത്തിൽ കാണുന്നതുപോലെ തുല്യ വീതിയുള്ള കറുത്ത തുണ്ടുകളെ വെളുത്ത തുണ്ടുകൾ കൊണ്ട് വേർതിരിക്കുക. എല്ലാ കറുത്ത തുണ്ടുകളും തീർച്ചയായും തുല്യ വീതി ഉള്ളതായിരിക്കണം കറുത്ത തുണ്ടുകൾക്കിടയിലുള്ള വെളുത്ത തുണ്ടുകളുടെ വീതി വലത്തേക്ക് നീങ്ങുമ്പോൾ കൂടിക്കൊണ്ടിരിക്കണം. ഉദാഹരണത്തിന് കറുത്ത തുണ്ടുകളുടെ വീതി 5 mm ആണെന്ന് കരുതുക. ഇടത്തുനിന്നും ആദ്യത്തെ രണ്ട് വെളുത്ത തുണ്ടുകൾ ഓരോന്നിനും വീതി 0.5 mm ആണെന്നും അതിനുശേഷമുള്ള 2 തുണ്ടുകളുടെ വീതി 1 mm വീതം ആണെന്നും, അതിനടുത്ത രണ്ടു തുണ്ടുകളുടെ വീതി 1.5 mm വീതം ആണെന്നും കരുതുക. നേത്രത്തിന്റെ ഉയരത്തിൽ ഈ വിന്യാസം നിങ്ങളുടെ മുറിയിലെയോ പരീക്ഷണശാലയിലെയോ ഭിത്തിയിൽ ഒട്ടിക്കുക.

ഒരു കണ്ണടച്ച് ഭിത്തിയിൽ നിന്നും നിങ്ങളുടെ ദൂരം ക്രമീകരിച്ച്, ഭിത്തിയിലെ വിന്യാസം നിരീക്ഷിക്കുക. ഇടതു വശത്തുള്ള കറുത്ത തുണ്ടുകൾ വേർതിരിച്ചു കാണാൻ ഒരു പക്ഷെ നിങ്ങൾക്ക് സാധിച്ചെന്നിരിക്കില്ല. എന്നാൽ വലതുവശത്തേക്കുള്ള കറുത്ത തുണ്ടുകൾ വ്യക്തമായി വേർതിരിച്ചു കാണാൻ സാധിക്കുന്നു. വേർതിരിച്ചു കാണാൻ കഴിയുന്ന തുണ്ടുകളുടെ അകലം d യും നേത്രവും ഭിത്തിയും തമ്മിലുള്ള അകലം, D യും കണ്ടെത്തുക. എങ്കിൽ d/D ആയിരിക്കും നിങ്ങളുടെ നേത്രത്തിന്റെ വിശ്ലേഷണ ശേഷി.

വീട്ടിലെ ജനലുകളിലൂടെ ഉള്ളിൽ വരുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ പാതയിൽ, വായുവിൽ തങ്ങി നിൽക്കുന്ന പൊടിപടലങ്ങളുടെ തരികൾ നിങ്ങൾ നിരീക്ഷിച്ചിട്ടുണ്ടാകും. നിങ്ങൾക്ക് വ്യക്തമായി കാണാൻ കഴിയുന്ന രണ്ടു തരികൾക്കിടയിലുള്ള ദൂരം നിർണ്ണയിക്കുക. ഇതിൽ നിന്നും, നിങ്ങളുടെ കണ്ണിന്റെ വിശ്ലേഷണ ശേഷി അറിയാമെങ്കിൽ, തരിയുടെ വലുപ്പം നിർണ്ണയിക്കാൻ കഴിയും.

ഇവിടെ ഒബ്ജക്ടീവ് ലെൻസിന്റെ വ്യാസരേഖ, സൂക്ഷ്മ ദർശിനിയുടെ ഫോക്കസ്സിൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കോണളവാണ് 2β. സൂക്ഷ്മദർശിയുടെ നിരീക്ഷണ വസ്തുവിലെ രണ്ട് ബിന്ദുക്കൾക്കിടയിലുള്ള ദൂരം പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യത്തിനോട് താരതമ്യം ചെയ്യാവുന്നതാകുമ്പോൾ ഡിഫ്രാക്ഷന്റെ പ്രഭാവം പ്രധാനപ്പെട്ടതാകുന്നു. അപ്പോൾ ഒരു വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസമാകുന്നു. പ്രതിബിംബത്തിന്റെ തലത്തിലുള്ള അതിന്റെ വലുപ്പം

$$v\theta = v\left(\frac{1.22\,\lambda}{D}\right) \qquad (10.27)$$

ആയിരിക്കും. രണ്ട് വസ്തുക്കളുടെ പ്രതിബിംബങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള അകലം ഇതിലും കുറവാണെങ്കിൽ അവ വേർപ്പെട്ടു കാണുന്നതിനുപകരം ഒന്നായി കാണപ്പെടും. ഇങ്ങനെ വേർപെട്ടുകാണുന്നതിനു ഒബ്ജക്ട് തലത്തിൽ ആവശ്യമായ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ അകലം

$$d_{min} = \left[v\left(\frac{1.22\,\lambda}{D}\right)\right]\Big/m$$

$$= \frac{1.22\,\lambda}{D}\frac{v}{m} \quad \text{എന്നാൽ } m = \frac{v}{f} \text{ ആയതിനാൽ}$$

$$d_{min} = \frac{1.22\lambda}{D}f \qquad (10.28)$$

സമവാക്യം (10.26), (10.28) എന്നിവ സംയോജിപ്പിക്കുമ്പോൾ

$$d_{min} = \frac{1.22\lambda}{2\tan\beta}$$

$$d_{min} = \frac{1.22\lambda}{2\sin\beta} \qquad (10.29)$$

(β വളരെ ചെറുതാണെങ്കിൽ $\tan\beta \approx \sin\beta$) ഒബ്ജക്റ്റീവ് ലെൻസിനും വസ്തുവിനും ഇടയിലുള്ള മാധ്യമം വായുവല്ല, മറിച്ച് അപവർത്തനാങ്കം n ഉള്ള ഒരു മീഡിയം ആണെങ്കിൽ

$$d_{min} = \frac{1.22\lambda}{2n\sin\beta} \qquad (10.30)$$

$n\sin\beta$ എന്ന ഗുണനഫലത്തെ ന്യൂമറിക്കൽ അപേർച്ചർ (numerical aperture) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇത് ചിലപ്പോൾ ഒബ്ജക്റ്റീവിൽ അടയാളപ്പെടുത്താറുണ്ട്.

ദൂരെയുള്ള രണ്ട് ബിന്ദുക്കൾ തമ്മിലുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ അകലത്തിന്റെ വ്യൂൽ ക്രമത്തെയാണ് ഒരു സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ വിശ്ലേഷണ ശേഷിയായി കണക്കാക്കുന്നത്. കൂടിയ അപവർത്തനാങ്കം ഉള്ള ഒരു മീഡിയം ഉപയോഗിച്ച് വിശ്ലേഷണ ശേഷി ഉയർത്താമെന്ന് സമവാക്യം (10. 30) സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഒബ്ജക്ടീവ് ഗ്ലാസ്സിന്റെ അപവർത്തനാങ്കത്തോട് അടുത്ത അപവർത്തനാങ്കമുള്ള എണ്ണകളാണ് സാധാരണയായി ഇതിനുപയോഗിക്കുന്നത്. ഇങ്ങനെയുള്ള ക്രമീകരണത്തെയാണ് 'എണ്ണനിമഗ്ന ഒബ്ജക്ടീവ്' എന്ന് വിളിക്കുന്നത്. Sin β യുടെ വില ഒന്നിനേക്കാൾ ഉയർത്താനാവില്ല. അതുകൊണ്ട് സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ വിശ്ലേഷണ ശേഷി അടിസ്ഥാനപരമായി നിർണയിക്കുന്നത് ഉപയോഗിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം ആണെന്നു നമുക്ക് കാണാൻ കഴിയും. ആവർധനം, വിശ്ലേഷണ ശേഷി ഇവ തമ്മിൽ ആശയക്കുഴപ്പത്തിനു സാധ്യതയുണ്ട്. അതുപോലെ ഈ ശേഷികളെ ദൂരദർശിനിയുടെയും സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെയും പ്രവർത്തനങ്ങളെ വിലയിരുത്തുമ്പോൾ പരിഗണിക്കേണ്ടതെങ്ങിനെയെന്നതിലും ആശയക്കുഴപ്പം നിലനിൽക്കുന്നുണ്ട്. ഒരു ദൂരദർശിനി അകലെയുള്ള ഒരു വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം കണ്ണിനു മുന്നിൽ സൃഷ്ടിക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട് വളരെ അകലത്തിൽ അടുത്തിരിക്കുന്ന രണ്ടു വസ്തുക്കളെ ഒരു ദൂരദർശിനിയിലൂടെ നോക്കുമ്പോൾ വേർപെട്ടതായി കാണുന്നു. നേരെമറിച്ച് സൂക്ഷ്മദർശിനി വസ്തുക്കളുടെ പ്രതിബിംബങ്ങളുടെ വലുപ്പം വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നു (വസ്തുക്കൾ നമ്മളുടെ അടുത്താണ്). ഭൂമിയിൽ നിന്നും വളരെ അകലെയുള്ള രണ്ട് ഉപഗ്രഹങ്ങളെയോ നക്ഷത്രങ്ങളെയോ വീക്ഷിക്കേണ്ട സന്ദർഭത്തിലും, ഒരു കോശത്തിലെ രണ്ടു മേഖലകൾ വീക്ഷിക്കേണ്ട സന്ദർഭത്തിലും. സൂക്ഷ്മദർശിനി പ്രതിബിംബങ്ങളെ വലുതാക്കുന്നെന്നും, ദൂരദർശിനി പ്രതിബിംബങ്ങളെ വേർപെടുത്തുന്നെന്നും ഓർത്തിരിക്കുന്നത് നല്ലതാണ്.

10.6.4 രശ്മി പ്രകാശികത്തിന്റെ സാധുത (The validity of ray optics)

സമാന്തര പ്രകാശരശ്മികൾ കൊണ്ട് a വലുപ്പമുള്ള ഒരു സ്ലിറ്റിനേയോ, *(slit)* ഹോളിനെയോ *(hole)* പ്രകാശിപ്പിച്ചാൽ ലഭിക്കുന്ന ഡിഫ്രാക്റ്റിത അല്ലെങ്കിൽ ഡിഫ്രാക്ഷൻ സംഭവിച്ച പ്രകാശത്തിന്റെ കോൺ ഏകദേശം $\approx \lambda/a$ ആയിരിക്കും. ഇതാണ് മധ്യഭാഗത്തെ പരമാവധി പ്രകാശിത മേഖലയുടെ കോണീയ വലുപ്പം. അതുകൊണ്ട് ഡിഫ്രാക്റ്റിത പ്രകാശ രശ്മികൾ z ദൂരം സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ അവയ്ക്ക് കൈവരിക്കാവുന്ന പരമാവധി വീതി $z\lambda/a$ ആണ്. ഡിഫ്രാക്ഷൻ കാരണമുള്ള വ്യാപനം പ്രകാശരശ്മി എത്ര ദൂരം (z) സഞ്ചരിക്കുമ്പോഴാണ് വിള്ളലിന്റെ വലുപ്പവുമായി താരതമ്യം ചെയ്യത്തക്കതാവുന്നതെന്നു പരിശോധിക്കാം. a യെ $z\lambda/a$ യുമായി തുലനം ചെയ്യുമ്പോൾ ഡിഫ്രാക്ഷന്റെ പ്രഭാവം അനുഭവപ്പെടാൻ തുടങ്ങുന്ന പരമാവധി ദൂരം നമുക്കു ലഭിക്കുന്നു. അതായത്

$$z \simeq a^2/\lambda \qquad (10.31)$$

ഇവിടെ ഫ്രെനൽ ദൂരം എന്ന പുതിയ പദത്തെ

$$z_F \simeq a^2/\lambda$$

എന്ന് നിർവചിച്ചാൽ, z_F നേക്കാൾ വളരെ കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിൽ, ഡിഫ്രാക്ഷൻ കാരണമുള്ള വ്യാപനം, ബീമിന്റെ വലുപ്പത്തെ അപേക്ഷിച്ച് കുറവാണെന്നാണ് സമവാക്യം 10.31 കാണിക്കുന്നത്. ദൂരം ഏകദേശം z_F ആകുമ്പോൾ ഇത്

താരതമ്യം ചെയ്യത്തക്കതാകും. ദൂരം z_F നേക്കാൾ വളരെ കൂടുതലാണെങ്കിൽ, രശ്മി പ്രകാശികം കാരണമുള്ളതിനേക്കാൾ (അതായത് a യുടെ വലുപ്പം), ഡിഫ്രാക്ഷൻ മൂലമുള്ള വ്യാപനം മുന്നിട്ടു നിൽക്കുന്നു. തരംഗദൈർഘ്യത്തിന്റെ വില പൂജ്യത്തോടടുക്കുമ്പോൾ രശ്മി പ്രകാശികത്തിന് സാധുതയുണ്ടെന്നും കൂടി സമവാക്യം (10.31) കാണിക്കുന്നു

ഉദാഹരണം 10.7

ഉദാഹരണം 10.7: 500 nm തരംഗദൈർഘ്യവും 3 mm വിള്ളൽ വീതിയും ഉണ്ടെങ്കിൽ, എത്ര ദൂരത്തേക്ക് രശ്മി പ്രകാശികത്തിന് സാധുതയുണ്ട്?

ഉത്തരം $z_F = \dfrac{a^2}{\lambda} = \dfrac{\left(3\times10^{-3}\right)^2}{5\times10^{-7}} = 18\ \text{m}$

വളരെ ചെറിയ വിള്ളലാണെങ്കിലും, വളരെയധികം ദൂരത്തേക്ക് ഡിഫ്രാക്ഷൻ കാരണമുള്ള വ്യാപനത്തെ അവഗണിക്കാമെന്ന് ഈ ഉദാഹരണം കാണിക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട് സാധാരണ സന്ദർഭങ്ങളിലെല്ലാം രശ്മി പ്രകാശികത്തിന് സാധുതയുണ്ട്.

10.7 പോളറൈസേഷൻ (POLARISATION)

ഒരഗ്രമുറപ്പിച്ചതും ഭൂമിക്കു സമാന്തരവുമായ ഒരു നീളമുള്ള ചരട് പിടിച്ചിരിക്കുന്നുവെന്നു കരുതുക. ഈ ചരടിനെ മുകളിലേക്കും താഴേയ്ക്കും ക്രമാവർത്തന രീതിയിൽ ചലിപ്പിച്ചാൽ നമുക്കു പോസിറ്റീവ് x ദിശയിൽ നീങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു തരംഗത്തെ സൃഷ്ടിക്കാൻ കഴിയും. (ചിത്രം 10.22). അത്തരത്തിലുള്ള ഒരു തരംഗത്തെ

ചിത്രം 10.21 (a) ഒരു സൈൻ തരംഗം $+x$ ദിശയിൽ മുന്നേറുമ്പോൾ ചരടിന്റെ $t = 0$, $t = \Delta t$ സമയങ്ങളിലുള്ള സ്ഥാനാന്തരത്തെ വക്രരേഖ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. (b) സൈൻ തരംഗം $+x$ ദിശയിൽ മുന്നേറുമ്പോൾ $x = 0$ യിൽ ഉണ്ടാകുന്ന സ്ഥാനാന്തരത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്ന വക്രരേഖ.

$$y(x,t) = a \sin(kx - \omega t) \qquad (10.32)$$

എന്ന സമവാക്യം ഉപയോഗിച്ച് എഴുതുവാൻ കഴിയും. ഇവിടെ a ആയതിയേയും ω (= $2\pi\nu$) കോണിയാവൃത്തിയേയും സൂചിപ്പിക്കുന്നു. മാത്രമല്ല

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} \qquad (10.33)$$

എന്നെഴുതുവാനും കഴിയും. ഇത് തരംഗത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. പതിനൊന്നാം ക്ലാസിലെ പുസ്തകത്തിൽ പതിനഞ്ചാമത്തെ അധ്യായത്തിൽ ഈ തരത്തിലുള്ള തരംഗങ്ങളുടെ സഞ്ചാരത്തെക്കുറിച്ച് പ്രതിപാദിച്ചിട്ടുണ്ട്. സ്ഥാനാന്തരം (ഇത് Y ദിശയിലാണ്), തരംഗത്തിന്റെ സഞ്ചാരദിശയ്ക്ക് ലംബമായതിനാൽ, ഇത്തരത്തിലുള്ള തരംഗങ്ങളെ അനുപ്രസ്ഥതരംഗങ്ങൾ എന്നു വിളിക്കുന്നു. സ്ഥാനാന്തരം y ദിശയിൽ ആയതുകൊണ്ട് ചിലപ്പോൾ ഈ തരംഗത്തെ y പോളറൈസേഷൻ സംഭവിച്ച തരംഗമെന്നും വിളിക്കാറുണ്ട്. ചരടിലെ ഓരോ ബിന്ദുവും നേർരേഖയിൽ ചലിക്കുന്നതുകൊണ്ട് രേഖീയ പോളറൈസേഷൻ (linearly polarised) സംഭവിച്ച തരംഗം എന്നും വിളിക്കാറുണ്ട്.

ഇതേരീതിയിൽ x-z തലത്തിൽ കമ്പനം ചെയ്യുന്ന ചരട് z പോളറൈസേഷൻ സംഭവിച്ച തരംഗം സൃഷ്ടിക്കുന്നെന്ന് നമുക്കു കരുതുവാൻ കഴിയും. ഈ തരംഗത്തിന്റെ സ്ഥാനാന്തരം

$$z(x,t) = a \sin(kx - \omega t) \qquad (10.34)$$

നൽകുന്നു. രേഖീയപോളറൈസേഷൻ സംഭവിച്ച തരംഗങ്ങളെല്ലാം [സമവാക്യം (10.32), (10.34) എന്നിവയിൽ വിവരിക്കുന്ന] അനുപ്രസ്ഥതരംഗങ്ങളാണ്. അതായത് ചരടിലെ ഓരോ ബിന്ദുവിന്റെയും സ്ഥാനാന്തരം എപ്പോഴും തരംഗത്തിന്റെ സഞ്ചാരദിശയ്ക്ക് ലംബമായിരിക്കും. ചരടിന്റെ കമ്പനതലം (plane of vibration) ചെറിയ ഇടവേളകളിൽ ക്രമരഹിതമായി വ്യത്യാസപ്പെട്ടു കൊണ്ടിരിക്കുകയാണെങ്കിൽ, അതിനെ പോളറൈസേഷൻ സംഭവിക്കാത്ത തരംഗം (unpolarized) എന്നു വിളിക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട് പോളറൈസേഷൻ സംഭവിക്കാത്ത തരംഗത്തിൽ, സമയത്തിനനുസരിച്ച് സ്ഥാനാന്തരത്തിന്റെ ദിശ ക്രമരഹിതമായി മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നു. എന്നിരുന്നാലും ഈ ദിശ എപ്പോഴും തരംഗത്തിന്റെ സഞ്ചാര പാതയ്ക്ക് ലംബമായിരിക്കും.

പ്രകാശതരംഗങ്ങൾ അനുപ്രസ്ഥതരംഗങ്ങളാണ്. അതായത് സഞ്ചരിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന തരംഗവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട വൈദ്യുതമണ്ഡലം എപ്പോഴും സഞ്ചാര ദിശക്കു ലംബമായിരിക്കും. ഒരു സാധാരണ പോളറോയിഡ് (polaroid) ഉപയോഗിച്ച് ഇത് എളുപ്പത്തിൽ തെളിയിക്കുവാൻ കഴിയും. പോളറോയിഡെന്നു വിളിക്കുന്ന പ്ലാസ്റ്റിക് പോലെയുള്ള ഷീറ്റുകൾ നിങ്ങൾകണ്ടിരിക്കും. ഒരു പ്രത്യേക ദിശയിൽ ക്രമീകരിച്ചിരിക്കുന്ന തന്മാത്രകളുടെ ശ്രേണിയാണ് പോളറോയിഡുകളിൽ ഉള്ളത്. നിരന്നിരിക്കുന്ന തന്മാത്രകളുടെ ദിശയിലുള്ള വൈദ്യുത സദിശങ്ങൾ (സഞ്ചരിക്കുന്ന പ്രകാശ തരംഗങ്ങളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട) ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നു. അതായത് പോളറൈസേഷൻ സംഭവിക്കാത്ത പ്രകാശ തരംഗങ്ങൾ ഒരു പോളറോയിഡിൽ പതിക്കുകയാണെങ്കിൽ, നിരന്നിരിക്കുന്ന തന്മാത്രകളുടെ ദിശക്ക് ലംബമായ ദിശയിൽ വൈദ്യുത സദിശങ്ങൾ ദോലനം ചെയ്യുന്ന, രേഖീയ പോളറൈസേഷനോടുകൂടിയ പ്രകാശതരംഗങ്ങൾ നമുക്കു ലഭിക്കുന്നു. ഈ ദിശ, പോളറോയിഡിന്റെ കടത്തിവിടൽ അക്ഷം (pass axis) എന്നറിയപ്പെടുന്നു.

ഇതിനാൽ ഒരു സാധാരണ (ഉദാഹരണം: സോഡിയം ലാംപ്) സ്രോതസ്സിൽ നിന്നും വരുന്ന പ്രകാശം, ഒരു പോളറോയിഡ് ഷീറ്റ് P_1 ലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോൾ അതിന്റെ തീവ്രത പകുതിയായി കുറയുന്നു. P_1 ന്റെ കറക്കം, ഷീറ്റിൽ നിന്നും പുറത്തുവരുന്ന പ്രകാശത്തെയോ, അതിന്റെ തീവ്രതയേയോ ഒരു രീതിയിലും സ്വാധീനിക്കുന്നില്ല. P_1 നു പിറകിലായി പ്രകാശം ആദ്യം പതിക്കത്തക്കവിധം സമാനമായ പോളറോയിഡ് P_2 സ്ഥാപിക്കുന്നുവെന്നു കരുതുക. നമ്മൾ പ്രതീക്ഷിക്കുന്നതുപോലെ P_2 വിലൂടെമാത്രം പ്രകാശം കടന്നു വരികയാണെങ്കിൽ, അതിന്റെ തീവ്രത കുറയുന്നു. എന്നാൽ P_1 കറക്കുകയാണെങ്കിൽ P_2ലൂടെ കടന്നു വരുന്ന പ്രകാശത്തിന് കാര്യമായ വ്യത്യാസമുണ്ടാകുന്നു. കറക്കിക്കൊണ്ടിരിക്കുമ്പോൾ, ഏതെങ്കിലും ഒരു സ്ഥാനത്ത് പ്രകാശതീവ്രത പൂജ്യമാകുന്നു. ഈ സ്ഥാനത്തു നിന്ന് 90^0 തിരിക്കുമ്പോൾ P_2 വിൽ നിന്നും പുറത്തു വരുന്ന പ്രകാശതീവ്രത പൂർണ്ണമായും P_1 ലൂടെയും കടന്നു വരുന്നു. ഈ പരീക്ഷണത്തിൽ നിന്നും P_2ലൂടെ വരുന്ന പ്രകാശം, P_2 കടത്തിവിടൽ അക്ഷത്തിനു സമാന്തരമായി പോളറൈസേഷൻ സംഭവിച്ചതാണെന്നാണ് മനസ്സിലാക്കാവുന്നത്. P_1 ന്റെ കടത്തിവിടൽ അക്ഷവുമായി P_2 ന്റെ കടത്തിവിടൽ അക്ഷം θ കോൺ രൂപീകരിക്കുകയാണെങ്കിൽ, P_2 ൽ നിന്നും കടന്നുവരുന്ന പോളറൈസേഷൻ സംഭവിച്ച പ്രകാശത്തിന്റെ $E\cos\theta$ ഘടകം P_2ലൂടെ കടന്നു വരുന്ന പ്രകാശത്തിൽ ഉണ്ടായിരിക്കും. അതുകൊണ്ട് പോളറോയിഡ് P_1 കറക്കുമ്പോൾ പ്രകാശതീവ്രത

ചിത്രം 10.22 (a) P_1, P_2 എന്നീ പൊളറോയിഡുകളിലൂടെ പ്രകാശം കടന്നുപോകുന്നത്. അവ തമ്മിലുള്ള കോൺ 0^0 യിൽ നിന്നും 90^0 യിലേക്ക് മാറുമ്പോൾ കടന്നുവരുന്ന വെളിച്ചത്തിന്റെ അംശം 1 ൽ നിന്നും 0 ആയി കുറയുന്നു. (b) പോളറോയ്ഡുകളിലൂടെ പ്രകാശം കടന്നു പോകുമ്പോൾ വൈദ്യുത സദിശത്തിന്റെ മാറ്റം. ഇരട്ട അമ്പടയാളങ്ങൾ വൈദ്യുത സദിശത്തിന്റെ ദോലനങ്ങളെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു

$$I = I_0 \cos^2\theta \qquad (10.35)$$

എന്ന രീതിയിൽ വ്യത്യാസപ്പെടുന്നു. ഇവിടെ I_0 എന്നത് P_1 പോളറോയിഡിൽ കൂടി കടന്നു വരുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രതയാണ്. ഇത് മാലസിന്റെ നിയമം (Malus' Law) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഒരു പോളറോയിഡിൽ നിന്നും പുറത്തു വരുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത, പതിക്കുന്ന പ്രകാശ തീവ്രതയുടെ പകുതിയാണ്. രണ്ടാമതൊരു പോളറോയിഡിലൂടെ പ്രകാശം കടന്നു വന്നാൽ, രണ്ടു പോളറോയിഡിന്റേയും കടത്തിവിടൽ അക്ഷങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള കോണളവ് ക്രമീകരിച്ച്, പ്രകാശതീവ്രത, ആദ്യതീവ്രതയുടെ 50% മുതൽ പൂജ്യം വരെയാക്കാം. സൺ

ഗ്ലാസ്സ് (sunglass), ജനൽ എന്നവയിൽ കൂടി കടന്നു വരുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത കുറയ്ക്കുവാൻ പോളറോയിഡുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. സാധാരണ ക്യാമറകളിലും 3D ചലച്ചിത്ര ക്യാമറകളിലും പോളറോയിഡുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു.

ഉദാഹരണം 10.8: പരസ്പര ലംബമായ രണ്ടു പോളറോയിഡുകൾക്കിടയിൽ വേറൊരു പോളറോയിഡ് കറക്കുമ്പോൾ പുറത്തു വരുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രതയെക്കുറിച്ച് ചർച്ച ചെയ്യുക.

ഉത്തരം: ആദ്യ പോളറോയിഡ്, P_1, കടന്നു വരുന്ന പോളറൈസേഷൻ സംഭവിച്ച പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത I_0 ആണെന്നു കരുതുക. എങ്കിൽ രണ്ടാമത്തെ പോളറോയിഡ്, P_2 വിൽ കൂടി കടന്നു വരുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെതീവ്രത

$$I = I_0 \cos^2\theta,$$

ആണ്. ഇവിടെ P_1, P_3 എന്നിവയുടെ പ്രകാശം കടത്തിവിടുന്ന അക്ഷങ്ങൾ പരസ്പര ലംബമായതുകൊണ്ട് P_2, P_3 എന്നിവയുടെ പ്രകാശം കടത്തിവിടുന്ന അക്ഷങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള കോണളവ് $(\pi/2-\theta)$ ആണ്. അതുകൊണ്ട് P_3 യിൽ നിന്നും കടന്നു വരുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത

$$I = I_0 \cos^2\theta \cos^2\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)$$

$$= I_0 \cos^2\theta \sin^2\theta = (I_0/4) \sin^2 2\theta \text{ ആണ്}$$

അതു കൊണ്ട് പുറത്തു വരുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത ഏറ്റവും കൂടുതൽ $\theta = \pi/4$ൽ ആണ്.

ഉദാഹരണം 10.8

10.7.1 വിസരണം മൂലമുള്ള പോളറൈസേഷൻ (Polarisation by scattering)

തിരിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു പോളറോയിഡിലൂടെ തെളിഞ്ഞ നീലാകാശത്തിൽ നിന്നും വരുന്ന പ്രകാശത്തെ നിരീക്ഷിച്ചാൽ തീവ്രത കൂടിയും കുറഞ്ഞും വരുന്നതായി കാണാം. ഭൂമിയുടെ അന്തരീക്ഷത്തിലുള്ള തന്മാത്രകളുമായി കൂട്ടിയിടിച്ച് സൂര്യപ്രകാശത്തിന്റെ ദിശ മാറുന്നതാണ് (വിസരണം സംഭവിച്ചതു കൊണ്ട്) ഇതിനു കാരണം. ചിത്രം [10.23 (a)] ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ സൂര്യനിൽ നിന്നും നേരിട്ട് വരുന്ന പ്രകാശം പോളറൈസേഷൻ സംഭവിച്ചതല്ല. ചിത്രത്തിലെ കറുത്ത കുത്തുകൾ ലംബമായ പോളറൈസേഷൻ കാണിക്കുന്നു. രണ്ടു വശത്തും അമ്പടയാളമുള്ള രേഖകൾ ചിത്രത്തിന്റെ അതേ തലത്തിലുള്ള പോളറൈസേഷൻ കാണിക്കുന്നു (പോളറൈസേഷൻ സംഭവിക്കാത്ത രണ്ട് പ്രകാശങ്ങൾ തമ്മിൽ യാതൊരു ഫേസ് ബന്ധവുമില്ല). തന്മാത്രകളിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശതരംഗത്തിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ പ്രഭാവത്താൽ തന്മാത്രകളിലെ ഇലക്ട്രോണുകൾ, ചലനത്തിന് ഈ രണ്ടു ദിശയിലെയും ഘടകങ്ങൾ ആർജിക്കുന്നു. ചിത്രത്തിൽ നിരീക്ഷകൻ സൂര്യനിൽ നിന്നും നേരിട്ട് പുറപ്പെടുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ ദിശയ്ക്ക് 90 ഡിഗ്രി കോണളവിലാണ്. അതുകൊണ്ട് അമ്പടയാളങ്ങൾക്കു സമാന്തരമായി ത്വരണത്തോടെ സഞ്ചരിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണുകൾ, വിസരണത്തിനുശേഷം നിരീക്ഷകന്റെ നേർക്ക് ഊർജം പുറപ്പെടുവിക്കുന്നില്ല കാരണം ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ത്വരണത്തിന് അമ്പടയാളത്തിന്റെ ദിശയിലുള്ള ഘടകങ്ങളില്ല. അതുകൊണ്ട് തന്മാത്രകൾ വിസരണ വിധേയമാകുന്ന വികിരണങ്ങളെ കുത്തുകൾ ഉപയോഗിച്ച് പ്രതിനിധാനം ചെയ്തിരിക്കുന്നു. പ്രകാശത്തിന് ചിത്രത്തിന്റെ തലത്തിൽ ലംബമായ ദിശയിൽ ധ്രുവീകരണം സംഭവിച്ചിരിക്കുന്നു. ആകാശത്തിൽ

ചിത്രം **10.23** (a) ആകാശത്തിൽ നിന്നും പൊടിപടലങ്ങളിൽ പതിച്ച് വിസരണം സംഭവിക്കുമ്പോൾ ധ്രുവീകരണം സംഭവിച്ച നീലപ്രകാശം. പതന പ്രകാശം പോളറൈസേഷൻ സംഭവിക്കാത്തതാണ് (ബിന്ദുക്കളും അമ്പടയാളങ്ങളും) ഒരു മാതൃകാ തന്മാത്ര കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. 90° വിസരണ വിധേയമായ പ്രകാശം, പേജിന്റെ തലത്തിന് ലംബമായ തലത്തിൽ പോളറൈസേഷൻ സംഭവിക്കുന്നു. (ബിന്ദുക്കൾ മാത്രം). (b) ബ്രൂസ്റ്ററുടെ കോണിൽ, സുതാര്യ മാധ്യമത്തിൽ നിന്നും പ്രതിപതിച്ചപ്പോഴുള്ള പ്രകാശത്തിന്റെ പോളറൈസേഷൻ . (പ്രതിപതന രശ്മി അപവർത്തനരശ്മിക്ക് ലംബമാണ്)

നിന്നുള്ള പ്രകാശത്തിന്റെ വിസരണത്തിലൂടെയുള്ള പോളറൈസേഷൻ ഇങ്ങനെ വിശദീകരിക്കുന്നു.

1920 ൽ സിവി രാമനും അദ്ദേഹത്തിന്റെ സഹപ്രവർത്തകരും തന്മാത്രകൾ മുലമുള്ള പ്രകാശത്തിന്റെ വിസരണത്തെ കുറിച്ച് വളരെ കാര്യക്ഷമമായി അന്വേഷിച്ചു. 1930-ൽ സി.വി രാമന്റെ ഈ അന്വേഷണ പഠനങ്ങൾക്ക് ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിലെ നോബെൽ സമ്മാനം ലഭിച്ചു.

പ്രകാശം മാധ്യമത്തിലൂടെ പൂർണ്ണമായും കടന്നു പോകുന്ന ഒരു പ്രത്യേക കേസ് (A SPECIAL CASE OF TOTAL TRANSMISSION)

രണ്ടു മാധ്യമങ്ങളുടെ സമ്പർക്കതലത്തിൽ പ്രകാശം പതിച്ചാൽ, ഒരു ഭാഗം മാധ്യമത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുന്നതായും വേറൊരു ഭാഗം പ്രതിപതിക്കുന്നതായും നിരീക്ഷിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഒരു പ്രതലത്തിൽ പതിക്കുന്ന ഏകവർണ്ണ പ്രകാശത്തിന്, ഏതെങ്കിലും സാഹചര്യത്തിൽ, ഒട്ടും പ്രതിപതിക്കാതെ പൂർണ്ണമായും മാധ്യമത്തിലൂടെ (സാധാരണയായി പ്രതിപതിപ്പിക്കുന്ന പ്രതലം) കടന്നുപോകാൻ സാധിക്കുമോ? സാധിക്കുമെന്നാണ് ഉത്തരം. ഒരു പരീക്ഷണം നടത്തി എന്ത് സംഭവിക്കുന്നെന്ന് മനസ്സിലാക്കാം. ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ ഒരു ലേസർ സ്രോതസ്സ്, ഒരു പോളറോയിഡ്, ഒരു പ്രിസം, ഒരു സ്ക്രീൻ എന്നിവ ക്രമീകരിക്കുക.

ലേസർ സ്രോതസ്സിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശം പോളറോയിഡിലൂടെ കടന്ന് ബ്രൂസ്റ്ററുടെ പതന കോണിൽ (i_p) പ്രിസത്തിൽ പതിക്കുന്നതായി കരുതുക. വളരെ ശ്രദ്ധയോടെ പോളറോയിഡിനെ തിരിക്കുകയാണെങ്കിൽ, ഒരു പ്രത്യേക അവസ്ഥയിൽ പ്രിസത്തിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശം പൂർണ്ണമായും അതിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നതായി നിങ്ങൾക്ക് നിരീക്ഷിക്കാൻ കഴിയും. അതായത് സ്ക്രീനിൽ കണ്ടിരുന്ന പ്രകാശം പൂർണ്ണമായും മറയുന്നു.

10.7.2 പ്രതിപതനം മൂലമുള്ള പോളറൈസേഷൻ (Polarisation by reflection)

ചിത്രം 10.2.3 (b) യിൽ ഒരു സുതാര്യ വസ്തുവിൽ തട്ടിയുള്ള പ്രതിപതനം കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. കഴിഞ്ഞ ഭാഗത്തിൽ പ്രതിപാദിച്ചതു പോലെ കുത്തുകളും അമ്പടയാളങ്ങളും സൂചിപ്പിക്കുന്നത്, പ്രതിപതന തരംഗത്തിലും, അപവർത്തന തരംഗത്തിലും രണ്ടു ദിശയിലുമുള്ള പോളറൈസേഷനുകളുണ്ടെന്നാണ്. അപവർത്തന തരംഗത്തിന് ലംബമായി പ്രതിപതന തരംഗം സഞ്ചരിക്കുന്ന ഒരു സന്ദർഭമാണ് ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത് ജലത്തിലെ കമ്പനം ചെയ്യുന്ന ഇലക്ട്രോണുകൾ പ്രതിപതന തരംഗം സൃഷ്ടിക്കുന്നു. മാധ്യമത്തിലെ തരംഗത്തിൽ (അപവർത്തന തരംഗം) നിന്നുള്ള വികിരണത്തിന്റെ തിരശ്ചീനമായ രണ്ടു ദിശയിൽ ഇവ ചലിക്കുന്നു. പ്രതിപതന രശ്മിക്ക് സമാന്തരങ്ങളായ അമ്പടയാളങ്ങൾ, പ്രതിപതന രശ്മിയിലേക്ക് ഒന്നും സംഭാവന ചെയ്യുന്നില്ല. അതുകൊണ്ട് ചിത്രത്തിൽ കാണുന്നതുപോലെ, ചിത്രത്തിന്റെ തലത്തിന് ലംബമായി പ്രതിപതന രശ്മിക്ക് രേഖീയ ധ്രുവീകരണം സംഭവിക്കുന്നു. ഒരു പോളറോയിഡിലൂടെ പ്രതിപതന രശ്മിയെ നിരീക്ഷിച്ചാൽ ഇത് പരിശോധിക്കാവുന്നതാണ്. പോളറോയിഡിന്റെ അക്ഷം ചിത്രത്തിന്റെ തലത്തിലാകുമ്പോൾ, അതായത് പതനതലത്തിൽ, പോളറോയിഡിൽ നിന്നും പുറത്തുവരുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത പൂജ്യമായിരിക്കും.

രണ്ട് സുതാര്യ മാധ്യമങ്ങളുടെ സമ്പർക്കതലത്തിൽ പോളറൈസേഷൻ സംഭവിക്കാത്ത ഒരു പ്രകാശരശ്മി പതിക്കുമ്പോൾ, അപവർത്തന രശ്മിയും പ്രതിപതന രശ്മിയും തമ്മിലുള്ള കോണളവ് 90^0 ആണെങ്കിൽ, വൈദ്യുത മണ്ഡലം പതനതലത്തിനു ലംബമായി വരത്തക്കവിധം പ്രതിപതന പ്രകാശത്തിന് പോളറൈസേഷൻ സംഭവിക്കുന്നു. അതായത് പ്രതിപതന തരംഗം അപവർത്തന തരംഗത്തിനു ലംബമാണെങ്കിൽ, പ്രതിപതന തരംഗം പൂർണ്ണമായും പോളറൈസേഷൻ സംഭവിച്ചതായിരിക്കും. ഈ സാഹചര്യത്തിലുള്ള പതന കോണിനെ ബ്രൂസ്റ്ററുടെ കോൺ (Brewster's angle) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇതിനെ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നത് i_B എന്ന ചിഹ്നം ഉപയോഗിച്ചാണ്. $i_B + r = \pi/2$ ആയതുകൊണ്ട്, പ്രകാശ സാന്ദ്രത കൂടിയ മാധ്യമത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കവുമായി i_B ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നുവെന്ന് നമുക്കു കാണാൻ കഴിയും. സ്നെല്ലിന്റെ നിയമം അനുസരിച്ച്

$$\mu = \frac{\sin i_B}{\sin r} = \frac{\sin i_B}{\sin\left(\pi/2 - i_B\right)}$$

$$= \frac{\sin i_B}{\cos i_B} = \tan i_B \qquad (10.36)$$

ഇത് ബ്രൂസ്റ്ററുടെ നിയമം എന്നറിയപ്പെടുന്നു.

ഉദാഹരണം 10.9: ധ്രുവീകരണം സംഭവിക്കാത്ത പ്രകാശം ഒരു ഗ്ലാസിന്റെ പ്രതലത്തിൽ പതിക്കുന്നു. അപവർത്തന രശ്മിയും പ്രതിപതന രശ്മിയും തമ്മിലുള്ള കോണളവ് 90 ഡിഗ്രിയാകുവാൻ പതനരശ്മിയുടെ കോണളവ് എത്ര ആയിരിക്കണം?

ഉത്തരം $i + r = \pi/2$, $\tan i_B = \mu = 1.5$

അതായയത് $i_B = 57^\circ$

ഇതാണ് വായുവിൽ നിന്നും ഗ്ലാസ്സിലേക്കുള്ള സമ്പർക്കതലത്തിലെ ബ്രൂസ്റ്ററുടെ കോണളവ്.

ഉദാഹരണം 10.9

സങ്കീർണതകൾ ഒഴിവാക്കുവാൻ വേണ്ടിയാണ് 90 ഡിഗ്രിയിലുള്ള വിസരണവും, ബ്രൂസ്റ്ററുടെ കോണിലുള്ള പ്രതിപതനവും നമ്മൾ ചർച്ച ചെയ്തത്. ഈ പ്രത്യേക സാഹചര്യത്തിൽ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ രണ്ടു ഘടകങ്ങളിൽ ഒന്ന് പൂജ്യമായിരിക്കും മറ്റുള്ള എല്ലാ കോണിലും രണ്ടു ഘടകങ്ങളും നിലനിൽക്കുന്നു. എന്നാൽ ഏതെങ്കിലും ഒന്നിന്റെ തീവ്രത മറ്റേതിനെ അപേക്ഷിച്ച് കൂടുതൽ ആയിരിക്കും. ഈ രണ്ട് ഘടകങ്ങളും തമ്മിൽ സ്ഥിരമായ ഫേസ് ബന്ധം ഇല്ല. കാരണം പോളറൈസേഷൻ സംഭവിക്കാത്ത പ്രകാശ രശ്മിയുടെ രണ്ട് ലംബീയ ഘടകങ്ങളിൽ നിന്നാണിവ രൂപപ്പെട്ടത്. ഇങ്ങനെയുള്ള പ്രകാശത്തെ ഒരു കറങ്ങുന്ന പോളറോയിഡിലൂടെ വീക്ഷിച്ചാൽ തീവ്രത കൂടിയും കുറഞ്ഞും വരുന്നതായി കാണുന്നു. എന്നാൽ പൂർണ്ണമായും ഇരുട്ട് കാണുന്നില്ല. ഇങ്ങനെയുള്ള പ്രകാശത്തെ ഭാഗികമായി പോളറൈസേഷൻ സംഭവിച്ചതെന്ന് വിളിക്കുന്നു.

ഈ സാഹചര്യം മനസ്സിലാക്കുവാൻ നമുക്ക് ശ്രമിക്കാം. പോളറൈസേഷൻ സംഭവിക്കാത്ത പ്രകാശരശ്മി, രണ്ട് മാധ്യമങ്ങളുടെ സമ്പർക്ക തലത്തിൽ ബ്രൂസ്റ്ററിന്റെ കോണിൽ പതിക്കുമ്പോൾ, പതനതലത്തിന് ലംബമായ വൈദ്യുതമണ്ഡല സദിശങ്ങളോടുകൂടിയ പ്രകാശത്തിന്റെ ഭാഗം മാത്രമേ പ്രതിപതനത്തിന് വിധേയമാകുന്നുള്ളു. ഒരു നല്ല പോളറോയിഡുപയോഗിച്ച് പതനതലത്തിന് ലംബമായ വൈദ്യുതമണ്ഡല സദിശങ്ങളോടുകൂടിയ എല്ലാ പ്രകാശത്തേയും നീക്കം ചെയ്യുക. അതിനുശേഷമുള്ള പ്രകാശത്തെ ബ്രൂസ്റ്ററുടെ കോണിൽ ഒരു പ്രിസത്തിന്റെ പ്രതലത്തിൽ പതിക്കാൻ അനുവദിച്ചാൽ, പ്രതിപതനം നിങ്ങൾക്ക് നിരീക്ഷിക്കാൻ കഴിയുകയില്ല. എല്ലാ പ്രകാശരശ്മികളും പ്രിസത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുന്നതാണിതിനു കാരണം.

തരംഗസിദ്ധാന്തം ഉപയോഗിച്ചുമാത്രം വിശദീകരിക്കുവാൻ കഴിയുന്ന ചില പ്രതിഭാസങ്ങളുണ്ടെന്ന് സൂചിപ്പിച്ചാണ് ഈ അധ്യായം നമ്മൾ ആരംഭിച്ചത്. ഈ കാര്യം ശരിയായി മനസ്സിലാക്കുവാൻ പ്രതിപതനം, അപവർത്തനം തുടങ്ങിയ ചില പ്രതിഭാസങ്ങൾ തരംഗ പ്രകാശികം ഉപയോഗിച്ച് നമ്മൾ വിശദീകരിച്ചു. ഈ പ്രതിഭാസങ്ങൾ അധ്യായം ഒൻപതിൽ രശ്മി പ്രകാശികം ഉപയോഗിച്ച് നമ്മൾ വിശദീകരിച്ചിട്ടുണ്ട്. പ്രകാശിക പഠനത്തിൽ വഴിത്തിരിവായ യങ്ങിന്റെ ഇരട്ട സ്ലിറ്റ് വിസരണ പരീക്ഷണം നമ്മൾ വിവരിച്ചു. അതിനു ശേഷം ഇതുമായി ബന്ധപ്പെട്ട് ഡിഫ്രാക്ഷൻ, വിശ്ലേഷണശേഷി, ധ്രുവീകരണം രശ്മി പ്രകാശത്തിന്റെ സാധുത തുടങ്ങിയവ നമ്മൾ വിവരിച്ചു. ഏകദേശം AD 20 -ാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ തുടക്കത്തിൽ പുതിയ പരീക്ഷണങ്ങൾ എങ്ങനെ പുതിയ സിദ്ധാന്തങ്ങളിലേക്ക് നയിച്ചെന്നു അടുത്ത അധ്യായത്തിൽ നമ്മൾ പഠിക്കും.

സംഗ്രഹം

1. ഹൈഗൻസിന്റെ തത്ത്വമനുസരിച്ച് പ്രഥമ തരംഗമുഖത്തിലെ ഒരോ ബിന്ദുവും സെക്കന്ററി തരംഗത്തിന്റെ സ്രോതസ്സാണ് സമയത്തിനനുസരിച്ച് ഇവ കൂടിച്ചേർന്ന് പുതിയ തരംഗമുഖം രൂപപ്പെടുന്നു.
2. ഹൈഗൻസിന്റെ ദ്വിതീയ തരംഗരൂപീകരണം അനുസരിച്ച് ദ്വിതീയ തരംഗങ്ങളുടെ മുന്നോട്ടുള്ള ആവരണമാണ് സെക്കന്ററി തരംഗമുഖം. പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗം ദിശയെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ലെങ്കിൽ, സെക്കന്ററിതരംഗങ്ങൾ ഗോളീയമായിരിക്കും. അങ്ങനെയെങ്കിൽ പ്രകാശരശ്മി രണ്ട് തരംഗമുഖത്തിനും ലംബമായിരിക്കും. മാത്രവുമല്ല ഏതു രശ്മിയിലൂടെ അളന്നാലും സഞ്ചാരസമയം തുല്യമായിരിക്കും. ഈ തത്വം പ്രതിപതനനിയമത്തിലേക്കും അപവർത്തന നിയമത്തിലേക്കും നയിക്കുന്നു.

3. ഒരേ ബിന്ദുവിനെ രണ്ടോ അതിലധികമോ പ്രകാശ സ്രോതസ്സുകൾ ഉപയോഗിച്ച് പ്രകാശിപ്പിച്ചാൽ തരംഗങ്ങളുടെ കൂടിച്ചേരൽ തത്വം ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്. ഈ സ്രോതസ്സുകൾ മൂലം ആ ബിന്ദുവിലുള്ള പ്രകാശതീവ്രത നമ്മൾ പരിഗണിക്കുകയാണെങ്കിൽ, രണ്ടു പ്രകാശ സ്രോതസ്സിന്റെയും പ്രകാശതീവ്രതയുടെ ആകെ തുക കൂടാതെ ഇന്റർഫെറൻസിന്റെ ഒരു അധിക പദം കൂടെയുണ്ടെന്ന് കാണാം. ശരാശരി പൂജ്യമല്ലാത്ത ഒരു വിലയിതിനുണ്ടെങ്കിൽ മാത്രമേ ഈ പദത്തിന് പ്രാധാന്യം ഉണ്ടാകുന്നുള്ളൂ. രണ്ട് സ്രോതസ്സിൽ നിന്നും വരുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തി ഒന്നാകുകയും, അവ തമ്മിലുള്ള ഫേസ് ബന്ധം സ്ഥിരമാകുകയും ചെയ്യുമ്പോഴാണിത് സാധ്യമാകുന്നത്.

4. d അകലമുള്ള യങ്ങിന്റെ ഇരട്ട സ്ലിറ്റ്, λ/d കോണീയ വേർതിരിവുള്ളതും, തുല്യ വീതിയുള്ളതുമായ ബാൻഡുകൾ രൂപപ്പെടുത്തുന്നു. പ്രകാശ സ്രോതസ്സ്, സ്ലിറ്റിന്റെ മധ്യ ബിന്ദു, മധ്യഭാഗത്തെ പ്രകാശിത ബാൻഡ് എന്നിവ ഒരു നേർരേഖയിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നു. λ/d യിൽ കൂടുതൽ കോണളവുള്ള വേറൊരു സ്രോതസ്സ് ബാൻഡുകളെ ഇല്ലാതാക്കുന്നു.

5. a വീതിയുള്ള ഒരു ഒറ്റ സ്ലിറ്റ്, മധ്യഭാഗം പരമാവധി പ്രകാശിതമായ സെൻട്രൽ മാക്സിമ ഉൾപ്പെട്ട ഒരു ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസം നൽകുന്നു. $\pm\frac{\lambda}{a}, \pm\frac{2\lambda}{a}$, തുടങ്ങിയ കോണളവുകളിൽ പ്രകാശതീവ്രത പൂജ്യമാണ്. ഇവക്കിടയിലുള്ള സെക്കന്ററി മാക്സിമകളുടെ പ്രകാശതീവ്രത ക്രമമായി കുറഞ്ഞു വരുന്നു. ഡിഫ്രാക്ഷൻ ഒരു ദൂരദർശിനിയുടെ കോണീയ വിശ്ലേഷണത്തെ λ/D ആയി പരിമിതിപ്പെടുത്തുന്നു. ഇവിടെ D വ്യാസമാണ്. ഇതിലും അടുത്തുള്ള രണ്ട് നക്ഷത്രങ്ങളുടെ പ്രതിബിംബങ്ങൾ പരസ്പരം കവിഞ്ഞു കിടക്കുന്നു. ഇതുപോലെ n അപവർത്തനാങ്കമുള്ള ഒരു മാധ്യമത്തിൽ ഫോക്കസ്സുമായി 2β കോൺ രൂപീകരിക്കുന്ന ഒരു സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെ ഒബ്ജക്റ്റീവ്, $\lambda/(2n \sin\beta)$ ദൂരത്തിലുള്ള രണ്ട് വസ്തുക്കളെ കഷ്ടിച്ച് വേർതിരിച്ചു കാണിക്കുന്നു. ഇതാണ് സൂക്ഷദർശിനിയുടെ വിശ്ലേഷണ പരിധി. ഡിഫ്രാക്ഷൻ പ്രകാശ രശ്മികൾ എന്ന ആശയത്തിന്റെ പരിധി നിർണ്ണയിക്കുന്നു. a വീതിയുള്ള ഒരു പ്രകാശരശ്മി വ്യൂഹം, ഡിഫ്രാക്ഷൻ മൂലം ചുറ്റുപാടും വ്യാപിക്കുന്നതിനു മുമ്പ്, സഞ്ചരിച്ച, a^2/λ ദൂരത്തെ ഫ്രനൽ ദൂരം എന്നു വിളിക്കുന്നു.

6. സൂര്യനിൽ നിന്നു വരുന്നതു പോലെയുള്ള സ്വാഭാവിക പ്രകാശം പോളറൈസേഷൻ സംഭവിക്കാത്തവയാണ്. അതായത് പ്രകാശത്തിലെ വൈദ്യുത മണ്ഡല സദിശം പ്രകാശത്തിന്റെ പാതയ്ക്കു ലംബമായ തലത്തിൽ, സാധ്യമായ എല്ല ദിശയിലും, ക്രമമല്ലാതെയും ദ്രുതഗതിയിലും മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ഒരു പോളറോയിഡ് ഈ പ്രകാശത്തിന്റെ ഒരു ഘടകത്തെ (സവിശേഷമായ അക്ഷത്തിനു സമാന്തരമായ) മാത്രം പുറത്തേക്കു വിടുന്നു. ഇങ്ങനെ പുറത്തു വരുന്ന പ്രകാശത്തെ, രേഖീയ പോളറൈസേഷൻ സംഭവിച്ച അല്ലെങ്കിൽ പ്രതല പോളറൈസേഷൻ സംഭവിച്ച പ്രകാശം എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇത്തരത്തിലുള്ള പ്രകാശം രണ്ടാമതൊരു പോളറോയിഡിനെ 2π കറക്കി കൊണ്ട് നിരീക്ഷിക്കുക. രണ്ടു പ്രാവശ്യം പ്രകാശതീവ്രത പരമാവധി (maxima) കൂടിയും രണ്ടു പ്രാവശ്യം പ്രകാശതീവ്രത പരമാവധി (minima) കുറഞ്ഞും കാണാവുന്നതാണ്. ഒരു പ്രത്യേക കോണിൽ (ബ്രൂസ്റ്റർ കോണെന്നു വിളിക്കുന്നു) പ്രതിപതിപ്പിച്ചും, ഭൂമിയുടെ, അന്തരീക്ഷത്താൽ $\pi/2$ കോണിൽ വിസരണം നടത്തിയും പ്രകാശത്തെ പോളറൈസ് ചെയ്യാവുന്നതാണ്.

വിചിന്തനവിഷയങ്ങൾ

1. പ്രകാശം നേരിയ പ്രകാശരശ്മികളായി സഞ്ചരിക്കുന്നതായി കാണപ്പെടുന്നുവെങ്കിലും, ഒരു ബിന്ദുസ്രോതസ്സിൽ നിന്നും പ്രകാശം എല്ലാ ദിശയിലേക്കും വ്യാപിക്കുന്നു. പ്രകാശസ്വഭാവത്തിന്റെ എല്ലാ വശങ്ങളും മനസ്സിലാക്കുന്നതിന്, ഉൾക്കാഴ്ച്ചയും ഹൈഗൻസ്, യങ്ങ്, ഫ്രനൽ എന്നിവരുടെ പരീക്ഷണങ്ങളും ആവശ്യമാണ്.

2. യങ്ങിന്റെ പരീക്ഷണത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ പോഷണപരവും ശോഷണപരവും ആയ തരംഗആയതികളുടെ ഇന്റർഫെറൻസ്, തരംഗങ്ങളുടെ നിർണ്ണായകമായ സ്വഭാവമാണ്.

3. ഏക സ്ലിറ്റിൽ പതിക്കുന്ന ഒരു തരംഗത്തെപ്പോലും മുന്നോട്ടുള്ള ദിശയിൽ പോഷണപരമായും (constructive) (0=0), ബാക്കിയുള്ള എല്ലാ ദിശയിലും ശോഷണ (destructive) പരമായും ഇന്റർഫെറൻസ് സംഭവിക്കുന്ന, വളരെയധികം എണ്ണം സ്രോതസ്സുകളായി പരിഗണിക്കാവുന്നതാണ്.

4. ഡിഫ്രാക്ഷൻ പ്രതിഭാസം രശ്മി പ്രകാശികത്തിന്റെ പരിധി നിർവചിക്കുന്നു. വളരെയടുത്തുള്ള രണ്ട് വസ്തുക്കളെ വേർതിരിക്കാനുള്ള സൂക്ഷ്മദർശിനിയുടെയും ദീർഘദർശിനിയുടെയും ശേഷിയുടെ പരിധി നിശ്ചയിക്കുന്നത് തരംഗദൈർഘ്യമാണ്.

5. ഇന്റർഫെറൻസിന്റെയും ഡിഫ്രാക്ഷന്റെയും ഒട്ടുമിക്ക പ്രഭാവങ്ങളും, വായുവിലെ ശബ്ദം പോലെയുള്ള, അനുദൈർഘ്യതരംഗങ്ങളിൽ നിലനിൽക്കുന്നു. എന്നാൽ പോളറൈസേഷൻ അനുപ്രസ്ഥതരംഗങ്ങൾക്കു മാത്രം ബാധകമാണ്.

പരിശീലന പ്രശ്നങ്ങൾ

10.1 589nm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള ഏകവർണ്ണ പ്രകാശം വായുവിൽ നിന്നും ജലത്തിലേക്ക് പതിക്കുന്നു. ജലത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 1.33 ആണെങ്കിൽ

(a) പ്രതിപതന രശ്മിയുടെ തരംഗദൈർഘ്യം, ആവൃത്തി, വേഗം എന്നിവ കണക്കാക്കുക

(b) അപവർത്തന രശ്മിയുടെ തരംഗദൈർഘ്യം, ആവൃത്തി, വേഗം എന്നിവ കണക്കാക്കുക.

10.2 താഴെ പറയുന്ന ഒരോ സാഹചര്യത്തിലും തരംഗമുഖത്തിന്റെ ആകൃതി എന്താണ്?

(a) ഒരു ബിന്ദു സ്രോതസ്സിൽ നിന്നും വ്യാപിക്കുന്ന പ്രകാശം

(b) ഫോക്കസ്സിൽ ബിന്ദു സ്രോതസ്സ് സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന ഒരു കോൺവെക്സ് ലെൻസിൽ നിന്നും പുറത്തു വരുന്ന പ്രകാശം

(c) ഒരു നക്ഷത്രത്തിൽ നിന്നും ഭൂമിയിൽ പതിക്കുന്ന തരംഗമുഖത്തിന്റെ ഒരു ഭാഗം

10.3 (a) 1.5 അപവർത്തനാങ്കമുള്ള ഒരു ഗ്ലാസ്സിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗം എത്ര? (ശൂന്യതയിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗം $3.0 \times 10^8 \, m \, s^{-1}$)

(b) ഗ്ലാസ്സിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗം പ്രകാശവർണ്ണത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നുണ്ടോ?

ഉണ്ടെങ്കിൽ വയലറ്റ്, ചുവപ്പ് എന്നിവയിൽ ഏതു വർണ്ണത്തിന്റെ വേഗതയാണ് കുറവ്?

10.4 യങ്ങിന്റെ ഇരട്ട സ്ലിറ്റ് വിസരണ പരീക്ഷണത്തിൽ, സ്ലിറ്റുകൾ തമ്മിലുള്ള അകലം 0.28 mm, സ്ക്രീനിൽ നിന്നും സ്ലിറ്റിലേക്കുള്ള ദൂരം 1.4m എന്നിങ്ങനെയാണ്. മധ്യഭാഗത്തെ പ്രകാശിത ബാൻഡിൽ നിന്ന് നാലാമത്തെ പ്രകാശിത ബാൻഡിലേക്കുള്ള ദൂരം 1.2 cm ആണ്. എങ്കിൽ പരീക്ഷണത്തിൽ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം കണക്കാക്കുക.

10.5 λ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള ഏകവർണ പ്രകാശം ഉപയോഗിച്ചു നടത്തുന്ന യങ്ങിന്റെ ഇരട്ട സ്ലിറ്റ് വിസരണ പരീക്ഷണത്തിൽ, പാതവ്യത്യാസം λ ഉള്ള സ്ക്രീനിലെ ഒരു ബിന്ദുവിലുള്ള പ്രകാശതീവ്രത K യൂണിറ്റാണ്. എങ്കിൽ $\lambda/3$ പാതവ്യത്യാസമുള്ള സ്ക്രീനിലെ ഒരു ബിന്ദുവിലെ പ്രകാശ തീവ്രത എത്ര?

10.6 650nm, 520nm എന്നീ രണ്ടു തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളുള്ള പ്രകാശ രശ്മികൾ, യങ്ങിന്റെ വിസരണ പരീക്ഷണത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുന്നു .

(a) 650nm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള പ്രകാശം ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ, മധ്യഭാഗത്തുള്ള പ്രകാശം ഏറ്റവും കൂടിയ ബാൻഡിൽ നിന്നും, മൂന്നാമത്തെ പ്രകാശിത ബാൻഡിലേക്കുള്ള ദൂരം കണ്ടുപിടിക്കുക.

(b) രണ്ടു തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളും കാരണമുണ്ടാകുന്ന പ്രകാശിത ബാൻഡുകൾ ഒരുമിക്കുന്നതിന് മധ്യഭാഗത്തുള്ള പരമാവധി പ്രകാശിത ബാൻഡിൽ നിന്നുള്ള ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ദൂരം എത്രയാണ്?

10.7 ഇരട്ടസ്ലിറ്റ് വിസരണ പരീക്ഷണത്തിൽ, 1m ദൂരത്തുള്ള സ്ക്രീനിൽ രൂപപ്പെടുന്ന ബാൻഡിന്റെ കോണീയ പരപ്പ് 0.2° ആണ്. ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം 600nm ആണ്. ഈ പരീക്ഷണ ക്രമീകരണത്തെ പൂർണ്ണമായും ജലത്തിൽ താഴ്ത്തിയാൽ ലഭിക്കുന്ന കോണീയ അകലം എത്രയായിരിക്കും. ജലത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 4/3 ആണ്.

10.8 പ്രകാശം വായുവിൽ നിന്നും ഗ്ലാസ്സിലേക്ക് സഞ്ചരിക്കുമ്പോഴുള്ള ബ്രൂസ്റ്ററുടെ കോൺ എത്രയാണ്? ഗ്ലാസ്സിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 1.5 ആണ്.

10.9 സമതല പ്രതിപതനതലത്തിൽ 5000 A^0 തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള പ്രകാശം പതിക്കുന്നു. പ്രതിപതിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തിയും തരംഗ ദൈർഘ്യവും എത്ര? പ്രതിപതനരശ്മി അപവർത്തനരശ്മിക്ക് ലംബമാകുന്നത് ഏത് പതനകോണിലാണ്?

10.10 400nm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള പ്രകാശം 4mm ആരമുള്ള ഒരു സുഷിരത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നു. രശ്മി പ്രകാശികം എത്ര ദൂരം വരെ സാധ്യതയുണ്ട്?

അധികപരിശീലന പ്രശ്നങ്ങൾ

10.11 ഒരു നക്ഷത്രത്തിലെ ഹൈഡ്രജൻ ഉർസർജിക്കുന്ന 6563 A^0 തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള $H\alpha$. രേഖക്ക് $15A^0$ ചുവപ്പ് നീക്കം സംഭവിച്ചിരിക്കുന്നു. എങ്കിൽ നക്ഷത്രം ഭൂമിയിൽ നിന്നും അകന്നു പോയിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന വേഗം കണക്കാക്കുക.

10.12 ഒരു മാധ്യമത്തിലുള്ള പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗം (ഉദാഹരണം ജലം) ശൂന്യതയിലുള്ള വേഗത്തേക്കാൾ കൂടുതലാണെന്ന് എങ്ങനെയാണ് പ്രകാശ

ത്തിന്റെ കണികാസിദ്ധാന്തം വിശദീകരിച്ചിരിക്കുന്നത്? പ്രകാശത്തിന്റെ ജലത്തിലൂടെയുള്ള വേഗം നിർണ്ണയിക്കുന്ന പരീക്ഷണം ഈ വിശദീകരണത്തെ സാധൂകരിച്ചോ? ഇല്ലെങ്കിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ ഏത് മാതൃകക്കാണ് ഈ പരീക്ഷണവുമായി യോജിപ്പുള്ളത്?

10.13 പ്രതിപതനനിയമങ്ങളും അപവർത്തന നിയമങ്ങളും ഹൈഗൻസിന്റെ തത്വം ഉപയോഗിച്ച് എങ്ങനെ തെളിയിക്കാമെന്ന് ഈ അധ്യായത്തിൽ നമ്മൾ പഠിച്ചു. ഈ തത്വം ഉപയോഗിച്ച്, സമതല ദർപ്പണത്തിന്റെ മുൻപിൽ വെച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ചെറിയ വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം, ദർപ്പണത്തിൽ നിന്നും വസ്തുവിലേക്കുള്ള ദൂരത്തിന് തുല്യമായ ദൂരത്തിൽ, രൂപപ്പെടുന്നെന്ന് തെളിയിക്കുക .

10.14 തരംഗസഞ്ചാരത്തിന്റെ വേഗത്തെ സ്വാധീനിക്കാൻ സാധ്യതയുള്ള ചില ഘടകങ്ങൾ താഴെ തന്നിരിക്കുന്നു

(i) സ്രോതസ്സിന്റെ സ്വഭാവം.

(ii) പ്രേഷണദിശ.

(iii) നിരീക്ഷകന്റെയോ സ്രോതസ്സിന്റെയോ ചലനം.

(iv) തരംഗദൈർഘ്യം.

(v) തരംഗതീവ്രത.

ഇവയിലേതെങ്കിലും താഴെപ്പറയുന്നവയെ സ്വാധീനിക്കുന്നുണ്ടോ?

(a) പ്രകാശത്തിന്റെ ശൂന്യതയിലെ വേഗം.

(b) ഏതെങ്കിലും ഒരു മാധ്യമത്തിലെ (ഉദാ: ജലം, ഗ്ലാസ്) പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗം.

10.15 ശബ്ദതരംഗങ്ങളിലെ ഡോപ്ളർ പ്രഭാവത്തിലെ ആവൃത്തി കണ്ടുപിടിക്കാനുള്ള സമവാക്യം, രണ്ടു അവസ്ഥകളിൽ കുറച്ചു വ്യത്യസ്തമാണ്. അതായത് (i) സ്രോതസ്സ് സ്ഥിരാവസ്ഥയിലും നിരീക്ഷകൻ ചലനത്തിലും അല്ലെങ്കിൽ (ii) സ്രോതസ്സ് ചലനത്തിലും നിരീക്ഷകൻ സ്ഥിരാവസ്ഥയിലും. എന്നാൽ ശൂന്യതയിലെ പ്രകാശ തരംഗങ്ങളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഡോപ്ളർ പ്രഭാവത്തിലെ ഇതേ അവസ്ഥകളിൽ, സമവാക്യങ്ങൾ സമാനങ്ങളാണ്. ഇത് എന്തുകൊണ്ടാണെന്നു വിശദീകരിക്കുക. പ്രകാശം ഒരു മാധ്യമത്തിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ ഇതേ സ്ഥിതികളിൽ സമവാക്യങ്ങൾ കണിശമായും ഏക സമാനമായിരിക്കുമെന്ന് നിങ്ങൾ പ്രതീക്ഷിക്കുന്നുണ്ടോ?

10.16. 600 nm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള പ്രകാശം ഉപയോഗിക്കുന്ന ഇരട്ട സ്ലിറ്റ് പരീക്ഷണത്തിൽ, ദൂരെയുള്ള ഒരു സ്ക്രീനിൽ രൂപപ്പെടുന്ന ബാൻഡുകളുടെ കോണീയ വീതി 0.1 ഡിഗ്രിയാണെങ്കിൽ രണ്ട് സ്ലിറ്റുകൾ തമ്മിലുള്ള അകലം എത്ര?

10.17. താഴെ തന്നിരിക്കുന്ന ചോദ്യങ്ങളുടെ ഉത്തരമെഴുതുക.

(a) ഒരു ഒറ്റസ്ലിറ്റ് ഡിഫ്രാക്ഷൻ പരീക്ഷണത്തിൽ, സ്ലിറ്റിന്റെ വീതി, ആദ്യം ഉണ്ടായിരുന്നതിന്റെ ഇരട്ടിയാകുന്നു. ഇത് എങ്ങനെയാണ് മധ്യഭാഗത്തുള്ള ഡിഫ്രാക്ഷൻ ബാൻഡിന്റെ വലുപ്പത്തെയും പ്രകാശ തീവ്രത/യെയും സ്വാധീനിക്കുന്നത്?

(b) ഒരു ഇരട്ട സ്ലിറ്റ് പരീക്ഷണത്തിൽ, ഇന്റർഫെറൻസ് ബാൻഡുകളുടെ വിന്യാസം എങ്ങനെയാണ് ഓരോ സ്ലിറ്റിൽ നിന്നുള്ള ഡിഫ്രാക്ഷനുമായി ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത്?

(c) അകലെയുള്ള ഒരു സ്രോതസ്സിൽ നിന്നും വരുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ പാതയിൽ വൃത്താകൃതിയിലുള്ള ഒരു ചെറിയ തടസ്സം സ്ഥാപിച്ചപ്പോൾ, തടസ്സത്തിന്റെ പ്രതിബിബത്തിന്റെ മധ്യത്തിൽ പ്രകാശിത ബിന്ദു കാണുന്നു. എന്തുകൊണ്ടാണിതെന്ന് വിശദീകരിക്കുക

(d) 10m ഉയരമുള്ള ഒരു മുറിയിൽ, 7m ഉയരമുള്ള ഒരു വിഭജന ഭിത്തിക്കിരുവശവും രണ്ട് വിദ്യാർത്ഥികൾ നിൽക്കുന്നു. പ്രകാശത്തിനും ശബ്ദത്തിനും തടസങ്ങൾക്ക് കുറുകെ വളയാൻ കഴിയുമെങ്കിലും, എന്തുകൊണ്ടാണ് അവർക്ക് തമ്മിൽ സംസാരിക്കാൻ കഴിയുമെങ്കിലും കാണാൻ കഴിയാത്തത്?

(e) രശ്മി പ്രകാശികത്തിൽ, പ്രകാശം നേർരേഖയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നെന്ന് അനുമാനിച്ചിരിക്കുന്നു. ഡിഫ്രാക്ഷൻ പ്രതിഭാസങ്ങൾ (പ്രകാശം ചെറിയ സുഷിരങ്ങളിലൂടെയൊ, വിള്ളലിലൂടെയൊ/തടസ്സങ്ങളിലൂടെയോ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ നിരീക്ഷിക്കുന്നത്) ഈ അനുമാനത്തെ അംഗീകരിക്കുന്നില്ല. എങ്കിലും പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങൾ രൂപപ്പെടുത്തുന്ന പ്രതിബിബങ്ങളുടെ സ്ഥാനവും, സ്വഭാവ വിശേഷങ്ങളും മനസ്സിലാക്കുവാൻ ഈ അനുമാനം സാധാരണയായി രശ്മി പ്രകാശികത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുന്നു. എന്താണ് ഇതിനുള്ള നിങ്ങളുടെ വിശദീകരണം?

10.18 രണ്ടു മലകളുടെ മുകളിൽ രണ്ട് ടവറുകൾ 40 km അകലത്തിൽ സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നു. ഈ രണ്ട് ടവറുകളെ തമ്മിൽ ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന നേർരേഖ, ഇവയിൽ നിന്നും മധ്യദൂരത്തിൽ ഉള്ള ഒരു മലയിൽ നിന്നും 50m ഉയരത്തിലാണ്. കാര്യമായ ഡിഫ്രാക്ഷൻ പ്രതിഭാസത്തിന്റെ സ്വാധീനം ഇല്ലാതെ, രണ്ട് ടവറുകൾക്കിടയിൽ സഞ്ചരിക്കാവുന്ന റേഡിയോ തരംഗത്തിന്റെ ഏറ്റവും കൂടിയ തരംഗദൈർഘ്യം എത്ര?

10.19 500nm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള സമാന്തര പ്രകാശരശ്മികൾ ഒരു ഇടുങ്ങിയ സ്ലിറ്റിൽ പതിച്ചുണ്ടാകുന്ന ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസം 1m ദൂരെയുള്ള ഒരു സ്ക്രീനിൽ കാണുന്നു. സ്ക്രീനിന്റെ മധ്യഭാഗത്തു നിന്നും, 2.5mm ദൂരത്താണ് ആദ്യത്തെ പ്രകാശതീവ്രത കുറഞ്ഞ ബാൻഡ് കാണുന്നതെങ്കിൽ സ്ലിറ്റിന്റെ വീതി കണ്ടുപിടിക്കുക.

10.20 താഴെ തന്നിരിക്കുന്ന ചോദ്യങ്ങളുടെ ഉത്തരം എഴുതുക.

(a) വളരെ കുറഞ്ഞ ഉയരത്തിൽ പറന്നു കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു വിമാനം, ഒരു ടെലിവിഷന്റെ മുകളിലെത്തുമ്പോൾ, ടെലിവിഷൻ സ്ക്രീനിലെ ചിത്രത്തിന് വിറയൽ ഉണ്ടാകുന്നത് കാണാം. ഇതിന് ഒരു വിശദീകരണം നൽകുക.

(b) ഈ അധ്യായത്തിൽ നിങ്ങൾ പഠിച്ചതു പോലെ, ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസത്തിലെയും ഇന്റർഫെറൻസ് വിന്യാസത്തിലെയും പ്രകാശതീവ്രതയുടെ വിതരണം മനസ്സിലാക്കുന്നത് തരംഗങ്ങളുടെ കൂടിച്ചേരൽ തത്വം അടിസ്ഥാനമാക്കിയാണ്. ഈ തത്വത്തിന്റെ വിശദീകരണം എന്തായിരിക്കും?

10.21 ഏക സ്ലിറ്റ് ഡിഫ്രാക്ഷൻ വിന്യാസത്തിന്റെ സമവാക്യരൂപീകരണത്തിൽ, $\pi\lambda/a$ കോണളവിൽ പ്രകാശതീവ്രത പൂജ്യമാണെന്ന് തെളിയിച്ചിരിക്കുന്നു. പ്രകാശതീവ്രതകൾ റദ്ദു ചെയ്യുന്ന രീതിയിൽ സ്ലിറ്റിനെ ഭാഗിച്ച് ഇത് സാധൂകരിക്കുക.

അധ്യായം പതിനൊന്ന്

വികിരണത്തിന്റെയും ദ്രവ്യത്തിന്റെയും ദ്വൈത സ്വഭാവം

(DUAL NATURE OF RADIATION AND MATTER)

K2P3H5

11.1 ആമുഖം

മാക്സ്‌വെൽ ആവിഷ്കരിച്ച വൈദ്യുതകാന്തികസമവാക്യങ്ങളും 1887 ൽ ഹെർട്സ് വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങളെ ഉൽപാദിപ്പിക്കുകയും തിരിച്ചറിയുകയും ചെയ്യുന്നതിനായി നടത്തിയ പരീക്ഷണങ്ങളും പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗ സിദ്ധാന്തത്തെ സാധൂകരിക്കുന്നവയായിരുന്നു. അതേ കാലഘട്ടത്തിൽതന്നെ, അതായത് 19-ാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ അവസാനത്തിൽ, ഡിസ്ചാർജ് ട്യൂബിൽ താഴ്ന്ന മർദ്ദത്തിലുള്ള വാതകങ്ങളിലൂടെ വൈദ്യുതിപ്രവാഹിപ്പിച്ച് (വൈദ്യുത ഡിസ്ചാർജ്) നടത്തിയ അന്വേഷണങ്ങൾ ചരിത്ര പ്രാധാന്യമുള്ള നിരവധി കണ്ടെത്തലുകൾക്കു കാരണമായി. 1895ൽ റോൺജെൻ എക്സ് റേ കണ്ടുപിടിച്ചതും 1897 ൽ ജെ.ജെ. തോംസൺ ഇലക്ട്രോൺ കണ്ടുപിടിച്ചതും ആറ്റത്തിന്റെ ഘടന മനസിലാക്കുന്നതിലേക്കുള്ള പ്രധാന നാഴികക്കല്ലുകളായിരുന്നു. ഒരു ഡിസ്ചാർജ് ട്യൂബിലെ വായുയുപത്തിന്റെ മർദം 0.001 *mm* മെർക്കുറി വരെ താഴ്ത്തുകയും ഇലക്ട്രോഡുകൾക്കിടയിൽ ഒരു വൈദ്യുത മണ്ഡലം സംജാതമാക്കുകയും ചെയ്യുമ്പോൾ, വൈദ്യുത ഡിസ്ചാർജ് ഉണ്ടാകുന്നതായി കണ്ടെത്തി. അതോടൊപ്പം നെഗറ്റീവ് ഇലക്ട്രോഡുകൾക്കെതിർവശത്തുള്ള ഗ്ലാസ്സ് ഭിത്തികളിൽ ഫ്ളൂറസന്റ് തിളക്കം ഉണ്ടാകുന്നതായും കണ്ടു. കൂടാതെ ഈ തിളക്കത്തിന്റെ നിറം ഉപയോഗിച്ച ഗ്ലാസ്സിനെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നതായും കണ്ടെത്തി. (ഉദാഹരണത്തിന് സോഡാഗ്ലാസ്സാണ് ഉപയോഗിക്കുന്നതെങ്കിൽ മഞ്ഞയും പച്ചയും കലർന്ന നിറം) ഈ തിളക്കത്തിനു കാരണം നെഗറ്റീവ് ഇലക്ട്രോഡിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന കിരണങ്ങളാണ് എന്നും അനുമാനിച്ചു. 1870ൽ വില്ല്യം ക്രൂക്ക്സ് കണ്ടെത്തിയ കാഥോഡ് കിരണങ്ങൾ അതിവേഗം ചലിക്കുന്ന നെഗറ്റീവ് ചാർജിത കണങ്ങളുടെ പ്രവാഹമാണെന്ന് 1879 - ൽ അദ്ദേഹം തന്നെ നിർദ്ദേശിച്ചു. ബ്രിട്ടീഷ് ശാസ്ത്രജ്ഞനായ ജെ. ജെ. തോംസൺ (1856-1940) ഈ അനുമാനത്തെ പിന്നീട് സ്ഥിരീകരിച്ചു. പരസ്പരം ലംബമായി വൈദ്യുതകാന്തിക

മണ്ഡലങ്ങൾ ഡിസ്ചാർജ് ട്യൂബിന് കുറുകെ പ്രയോഗിച്ച് കാഥോഡ് കിരണകണങ്ങളുടെ വേഗതയും സ്പെസിഫിക് ചാർജും (ചാർജിന്റെയും മാസിന്റെയും അനുപാതം e/m) ആദ്യമായി നിർണയിച്ചതും ജെ.ജെ. തോംസൺ ആണ്. പ്രകാശവേഗ (3×10^8 m/s) ത്തിന്റെ 0.1 മുതൽ 0.2 വരെ മടങ്ങു വേഗത്തിൽ അവ സഞ്ചരിക്കുന്നതായി പിന്നീട് കണ്ടെത്തി. e/m ന്റെ ഇപ്പോഴത്തെ അംഗീകൃത മൂല്യം 1.76×10^{11} C/kg ആണ്. മാത്രമല്ല, e/m ന്റെ മൂല്യം കാഥോഡ് ആയി ഉപയോഗിക്കുന്ന വസ്തുവിനോ ഡിസ്ചാർജ് ട്യൂബിലെ വാതകത്തിനോ അനുസരിച്ച് മാറുന്നില്ലായെന്നും കണ്ടെത്തി. ഈ നിരീക്ഷണം കാഥോഡ് കിരണ കണികകളുടെ സാർവത്രികത സൂചിപ്പിച്ചു.

ഏതാണ്ട് അതേ കാലത്തു തന്നെ (1887 ൽ), ചില ലോഹങ്ങളിൽ അൾട്രാവയലറ്റ് തരംഗം പതിച്ചപ്പോൾ കുറഞ്ഞ വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന നെഗറ്റീവ് ചാർജുള്ള കണികകൾ പുറത്തേക്കു വരുന്നതായി കണ്ടു. അതുപോലെ ചില ലോഹങ്ങളെ ഉയർന്ന താപനിലയിൽ ചൂടാക്കിയപ്പോഴും നെഗറ്റീവ് ചാർജുള്ള കണികകൾ പുറത്തേക്കു വരുന്നതായി കണ്ടു. ഈ കണികകളുടെ e/m മൂല്യം കാഥോഡ് കിരണ കണികകളുടേതിനു സമാനമാണെന്നും കണ്ടെത്തി. വ്യത്യസ്ത സാഹചര്യങ്ങളിൽ ഉൽപാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്നവയെങ്കിലും ഈ കണികകളെല്ലാം സമാന സ്വഭാവമുള്ളതാണെന്നു നിരീക്ഷണങ്ങൾ വ്യക്തമാക്കി. 1897ൽ ജെ.ജെ.തോംസൺ ഈ കണികകളെ ഇലക്ട്രോണുകൾ (electrons) എന്നു വിളിക്കുകയും അവയെ ദ്രവ്യത്തിന്റെ മൗലികവും സാർവത്രികവുമായ ഘടകങ്ങളായി നിർദ്ദേശിക്കുകയും ചെയ്തു. വാതകങ്ങളിലൂടെയുള്ള വൈദ്യുതചാലനത്തിലെ അദ്ദേഹത്തിന്റെ സൈദ്ധാന്തികവും പരീക്ഷണാത്മകവുമായ അന്വേഷണങ്ങൾ വഴി ഉണ്ടായ ഐതിഹാസികമെന്നു വിളിക്കാവുന്ന ഇലക്ട്രോണിന്റെ കണ്ടെത്തൽ 1906ൽ അദ്ദേഹത്തിന് നോബൽ സമ്മാനം നേടിക്കൊടുത്തു. 1913ൽ അമേരിക്കൻ ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞനായ ആർ.എ. മില്ലിക്കൺ (1868-1953) ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചാർജു കണ്ടെത്തുന്നതിന് മാർഗദീപകമായിത്തീർന്ന ഓയിൽ ഡ്രോപ്പ് പരീക്ഷണം (oil drop experiment) നടത്തി. ഒരു എണ്ണത്തുള്ളിയിലുള്ള ചാർജ് എല്ലായ്പ്പോഴും അടിസ്ഥാന ചാർജായ 1.602×10^{-19}C ന്റെ ഗുണിതങ്ങളാണെന്ന് അദ്ദേഹം കണ്ടെത്തി. ഇലക്ട്രിക് ചാർജ് ക്വാണ്ടീകരിക്കപ്പെട്ടതാണെന്ന് മില്ലിക്കണിന്റെ പരീക്ഷണം സ്ഥിരീകരിച്ചു. ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചാർജും (e) സ്പെസിഫിക് ചാർജും (e/m) ഉപയോഗിച്ച് ഇലക്ട്രോൺ മാസ് നിർണയിക്കാവുന്നതാണ്.

11.2 ഇലക്ട്രോൺ ഉത്സർജനം (ELECTRON EMISSION)

ലോഹങ്ങളിൽ ചാലകതയ്ക്ക് കാരണമായ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾ (നെഗറ്റീവ് ചാർജുള്ള) ഉണ്ടെന്ന് നമുക്കറിയാം. എന്നിരുന്നാലും, ലോഹത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിൽ നിന്ന് പുറത്തുവരാൻ ഈ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് സാധാരണഗതിയിൽ സാധ്യമല്ല. അഥവാ ഒരു ഇലക്ട്രോൺ ലോഹത്തിൽ നിന്ന് പുറത്തുവരാൻ ശ്രമിക്കുകയാണെങ്കിൽ, ആ ലോഹോപരിതലം പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ളതാവുകയും ഇലക്ട്രോണിനെ തിരികെ ലോഹോപരിതലത്തിലേക്ക് ആകർഷിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. അതുകൊണ്ട് അയോണുകളുടെ ആകർഷണത്താൽ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോൺ ലോഹോപരിതലത്തിൽ തന്നെ നിൽക്കുകയാണ് ചെയ്യുന്നത്. ഈ ആകർഷണത്തിൽ നിന്ന് മോചനം ലഭിക്കത്തക്കവിധം മതിയായ ഊർജം ലഭിച്ചാൽ മാത്രമേ ഇലക്ട്രോണിന് ലോഹത്തിൽ നിന്ന് പുറത്തുകടക്കാനാകൂ. ലോഹോപരിതലത്തിൽ നിന്ന് പുറത്ത് കടക്കാൻ ഒരു ഇലക്ട്രോണിന് കൊടുക്കേണ്ട ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഊർജത്തെ വർക്ക് ഫങ്ഷൻ (work function) എന്നു വിളിക്കുന്നു. അതിനെ ϕ_0 എന്ന് സൂചിപ്പിക്കുകയും ഇലക്ട്രോൺ വോൾട്ടിൽ (eV) അളക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഒരു വോൾട്ട് പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസത്തിൽ ത്വരണം സംഭവിക്കുമ്പോൾ ഒരു ഇലക്ട്രോൺ കൈവരിക്കുന്ന ഊർജമാണ് ഒരു ഇലക്ട്രോൺ വോൾട്ട്. $1\ \text{eV} = 1.602 \times 10^{-19}$ J.

ആറ്റോമിക്/ന്യൂക്ലിയാർ ഫിസിക്സിലാണ് ഊർജത്തിന്റെ ഈ യൂണിറ്റ് പൊതുവേ ഉപയോഗിക്കുക. വർക്ക് ഫങ്ഷൻ (work function) ϕ_0 ലോഹത്തിന്റെ ഗുണവിശേഷങ്ങളെയും അതിന്റെ ഉപരിതലസ്വഭാവത്തെയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ഏതാനും ലോഹങ്ങളുടെ വർക്ക് ഫങ്ഷനുകൾ (work functions) പട്ടിക 11.1 ൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു. ഉപരിതല അപദ്രവ്യങ്ങൾ കൂടി പരിഗണിക്കേണ്ടതുള്ളതിനാൽ പട്ടികയിൽ കാണിച്ചവ ഏകദേശ മൂല്യങ്ങളാണ്.

പട്ടിക 11.1 ചില ലോഹങ്ങളുടെ വർക്ക് ഫങ്ഷനുകൾ (work functions)

ലോഹം	വർക്ക് ഫങ്ഷൻ ϕ_0 (eV)	ലോഹം	വർക്ക് ഫങ്ഷൻ ϕ_0 (eV)
Cs	2.14	Al	4.28
K	2.30	Hg	4.49
Na	2.75	Cu	4.65
Ca	3.20	Ag	4.70
Mo	4.17	Ni	5.15
Pb	4.25	Pt	5.65

പട്ടിക 11.1ൽ നിന്നും വർക്ക് ഫങ്ഷൻ (work function) ഏറ്റവും കൂടുതൽ പ്ലാറ്റിനത്തിനും (ϕ_0 = 5.65 eV) ഏറ്റവും കുറവ് സീഷിയത്തിനും (ϕ_0 = 2.14 eV) ആണെന്ന് മനസ്സിലാക്കാം.

ലോഹോപരിതലത്തിൽ നിന്നും ഇലക്ട്രോൺ ഉൽസർജനത്തിനാവശ്യമായ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഊർജം താഴെ പ്രതിപാദിക്കുന്ന ഏതെങ്കിലും ഒരു പ്രക്രിയ വഴി സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾക്കു നൽകാവുന്നതാണ്.

(i) തെർമിയോണിക് ഉൽസർജനം (Thermionic Emission)/താപീയ ഉത്സർജനം: അനുയോജ്യമായ രീതിയിൽ ചൂടാക്കി, ആവശ്യത്തിന് താപോർജം പകർന്നു കൊടുക്കുന്നതിന്റെ ഫലമായി, സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകളെ ലോഹോപരിതലത്തിൽ നിന്ന് പുറത്തെത്തിക്കാൻ കഴിയും.

(ii) ഫീൽഡ് ഉത്സർജനം (Field Emission): ഒരു സ്പാർക്ക് പ്ലഗ്ഗിലേതു പോലെ ശക്തിയേറിയ വൈദ്യുത മണ്ഡലം (10^8 Vm^{-1}) ലോഹത്തിന് നൽകിക്കൊണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകളെ ലോഹത്തിനു പുറത്തെത്തിക്കാൻ കഴിയും.

(iii) ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനം (Photoelectric Emission)/പ്രകാശ വൈദ്യുത ഉത്സർജനം: അനുയോജ്യമായ ആവൃത്തിയുള്ള പ്രകാശം ചില ലോഹങ്ങളിൽ പതിക്കുമ്പോൾ, അവയുടെ ഉപരിതലത്തിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉത്സർജിക്കുന്നു. പ്രകാശത്താൽ ഉൽപാദിപ്പിക്കപ്പെട്ട ഇലക്ട്രോണുകളെ ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രോണുകൾ (photoelectrons) എന്നു വിളിക്കുന്നു.

11.3 ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവം (PHOTOELECTRIC EFFECT)

11.3.1 ഹെർട്സിന്റെ നിരീക്ഷണങ്ങൾ (Hertz's observations)

വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങളുടെ പരീക്ഷണങ്ങൾക്കിടയിൽ 1887 ലാണ് ഹൈൻറിച്ച് ഹെർട്സ് (1857-1894) ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവം കണ്ടെത്തുന്നത്. സ്പാർക്ക് ഡിസ്ചാർജ് മുഖേനയുണ്ടാകുന്ന വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങളുടെ ഉൽപാദനത്തെക്കുറിച്ചുള്ള പരീക്ഷണങ്ങളിൽ, അൾട്രാവയലറ്റ് കിരണങ്ങൾ പതിക്കുമ്പോൾ ഡിറ്റക്ടർ വളയത്തിനു കുറുകെ ഉന്നത വോൾട്ടതയിലുള്ള ഇലക്ട്രിക് സ്പാർക്കുകൾ വർധിക്കുന്നതായി ഹെർട്സ് നിരീക്ഷിച്ചു.

ഇലക്ട്രോണെന്നു നമ്മൾ ഇപ്പോൾ വിളിക്കുന്ന, സ്വതന്ത്രവും ചാർജിതവുമായ കണങ്ങളെ പുറത്തു കൊണ്ടുവരാൻ ലോഹോപരിതലത്തിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശം സഹായിക്കുന്നതിനാലാണ് ഇങ്ങനെ സംഭവിക്കുന്നത്. പ്രകാശം ലോഹോപരിതലത്തിൽ പതിക്കുമ്പോൾ ഉപരിതലത്തിലുള്ള ചില ഇലക്ട്രോണുകൾ അതിൽ നിന്ന് പോസിറ്റീവ് അയോണുകളുടെ ആകർഷണം മറികടക്കാൻ ആവശ്യമായ ഊർജം സ്വീകരിക്കുന്നു. പതനപ്രകാശത്തിൽ നിന്ന് ആവശ്യമായ ഊർജം ലഭ്യമായിക്കഴിഞ്ഞാൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ ലോഹോപരിതലത്തിൽ നിന്നു പുറത്തു കടക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

11.3.2 ഹാൾവാക്കിന്റെയും ലെനാർഡിന്റെയും നിരീക്ഷണങ്ങൾ (Hallwachs' and Lenard's observations)

1886-1902 കാലഘട്ടത്തിൽ വില്യം ഹാൾവാക്ക്സും ഫിലിപ്പ് ലെനാർഡും ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തെക്കുറിച്ച് വിശദമായ അന്വേഷണങ്ങൾ നടത്തി.

വായു നീക്കം ചെയ്ത ഒരു ഗ്ലാസ് ട്യൂബിൽ വെച്ചിട്ടുള്ള എമിറ്റർ പ്ലേറ്റിൽ അൾട്രാവയലറ്റ് വികിരണങ്ങൾ പതിക്കാനനുവദിച്ചാൽ, (ചിത്രം 11.1) സെർക്കീട്ടിലൂടെ വൈദ്യുതി പ്രവഹിക്കുന്നതായി ലെനാർഡ് (1862-1947) നിരീക്ഷിച്ചു. അൾട്രാവയലറ്റ് വികിരണങ്ങൾ പതിക്കുന്നത് അവസാനിക്കുമ്പോൾ വൈദ്യുതപ്രവാഹവും ഇല്ലാതാവുന്നു. അൾട്രാവയലറ്റ് വികിരണങ്ങൾ എമിറ്റർ പ്ലേറ്റ് C യിൽ (ചിത്രം 11) വീഴുമ്പോൾ ഇലക്ട്രോണുകൾ അതിൽ നിന്നു പുറന്തള്ളപ്പെടുകയും വൈദ്യുതമണ്ഡലം കാരണം അവ പോസിറ്റീവ് കളക്ടർ പ്ലേറ്റ് A യിലേക്ക് ആകർഷിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നുവെന്ന് ഈ നിരീക്ഷണങ്ങൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. വായു നീക്കം ചെയ്ത ഗ്ലാസ് ട്യൂബിലൂടെയുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ചലനം വൈദ്യുതപ്രവാഹത്തെ സൃഷ്ടിക്കുന്നു. കളക്ടർ പ്ലേറ്റ് പൊട്ടൻഷ്യലിനും, പതന പ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തിക്കും തീവ്രതക്കുമനുസരിച്ച് എങ്ങനെ ഈ ഫോട്ടോകറന്റ് മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുമെന്നതിനെക്കുറിച്ച് ഹാൾവാക്ക്സും ലെനാർഡും വിശദമായ പഠനം നടത്തി.

1888 ൽ ഹാൾവാക്ക്സ് നടത്തിയ പഠനത്തിൽ, നെഗറ്റീവ് ചാർജുള്ള സിങ്ക് പ്ലേറ്റ് ഒരു ഇലക്ട്രോസ്കോപ്പുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചു. അൾട്രാവയലറ്റ് പ്രകാശം പതിക്കുമ്പോൾ സിങ്ക് പ്ലേറ്റിന് അതിന്റെ ചാർജ് നഷ്ടപ്പെട്ടതായി അദ്ദേഹം നിരീക്ഷിച്ചു. കൂടാതെ, ചാർജില്ലാതിരുന്ന സിങ്ക് പ്ലേറ്റിൽ അൾട്രാവയലറ്റ് കിരണങ്ങൾ പതിപ്പിക്കുമ്പോൾ അത് പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ളതാകുന്നതായും കാണാൻ കഴിഞ്ഞു. പോസിറ്റിവ് ചാർജുള്ള സിങ്ക് പ്ലേറ്റാണ് ഉപയോഗിക്കുന്നതെങ്കിൽ, അതിന്റെ പോസിറ്റീവ് ചാർജ് വർധിക്കുന്നതായും കാണപ്പെട്ടു. അൾട്രാവയലറ്റ് പ്രകാശം പതിക്കുമ്പോൾ നെഗറ്റീവ് ചാർജുള്ള കണികകൾ സിങ്ക് പ്ലേറ്റിൽ നിന്ന് പുറന്തള്ളപ്പെടുന്നു എന്ന നിഗമനത്തിലാണ് ഈ നിരീക്ഷണങ്ങളിൽ നിന്ന് അദ്ദേഹം എത്തിച്ചേർന്നത്.

പതന പ്രകാശം പുറന്തള്ളുന്നത് എമിറ്റർ പ്ലേറ്റിലെ ഇലക്ട്രോണുകളെയാണെന്ന്, 1897 ലെ ഇലക്ട്രോൺ കണ്ടുപിടുത്തത്തെ തുടർന്ന് മനസ്സിലായി. പുറത്തേക്കു വരുന്ന ഇലക്ട്രോണുകൾ വൈദ്യുതമണ്ഡലം കാരണം കളക്ടർ പ്ലേറ്റിലേക്ക് തള്ളി നീക്കപ്പെടുന്നു. ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി (threshold frequency) എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഒരു മിനിമം ആവൃത്തിക്കു താഴെയുള്ള അൾട്രാവയലറ്റ് കിരണങ്ങൾ എമിറ്റർ പ്ലേറ്റിൽ പതിച്ചാൽ ഇലക്ട്രോൺ പുറന്തള്ളലൊന്നും ഉണ്ടാകുന്നില്ലായെന്നും ഹാൾവാക്ക്സും ലെനാർഡും നിരീക്ഷിച്ചു. ഈ മിനിമം ആവൃത്തി എമിറ്റർ പ്ലേറ്റ് നിർമിച്ച പദാർഥത്തിന്റെ സ്വഭാവത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നു.

ഉപരിതല ഇലക്ട്രോണുകളുടെ പുറന്തള്ളലിനായി സിങ്ക്, കാഡ്മിയം, മഗ്നീഷ്യം മുതലായ ചില ലോഹങ്ങൾ അൾട്രാവയലറ്റ് പ്രകാശത്തോട് മാത്രമേ (കുറഞ്ഞ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ളതിനാൽ) പ്രതികരിച്ചുള്ളൂ. എന്നാൽ ലിഥിയം, സോഡിയം, പൊട്ടാസ്യം, സീഷിയം, റുബിഡിയം തുടങ്ങിയ ചില ആൽക്കലി ലോഹങ്ങൾ ദൃശ്യപ്രകാശത്തോടു

PHYSICS

See... photoelectric effect experiments
http://www.kcvs.ca/site/projects/physics.html

പോലും പ്രതികരിക്കുന്നു. പ്രകാശസംവേദിയായ (photosensitive) ഈ വസ്തുക്കളിൽ പ്രകാശം വന്നു പതിക്കുമ്പോൾ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉത്സർജിക്കുന്നു. ഈ ഇലക്ട്രോണുകളെ (ഇലക്ട്രോണുകളുടെ കണ്ടെത്തലിനെത്തുടർന്ന്) ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രോണുകൾ (photoelectrons) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഈ പ്രതിഭാസത്തെ ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവമെന്നും (photoeletcric effect) പറയുന്നു.

11.4 ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തിന്റെ പരീക്ഷണാത്മക പഠനം (EXPERIMENTAL STUDY OF PHOTOELECTRIC EFFECT)

ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തിന്റെ പരീക്ഷണാത്മക പഠനം നടത്താൻ ഉപയോഗിച്ച സംവിധാനങ്ങളെ ചിത്രം 11.1 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. വായു നീക്കം ചെയ്ത ഒരു ഗ്ലാസ് അഥവാ ക്വാർട്സ് ട്യൂബിൽ പ്രകാശസംവേദിയായ ഒരു ലോഹം Cയും, മറ്റൊരു ലോഹം Aയും വെച്ചിട്ടുണ്ട്. പ്രകാശസ്രോതസ്സിൽ നിന്ന് പുറപ്പെടുന്ന സാമാന്യം ചെറിയ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള ഏകവർണപ്രകാശം W ജാലകത്തിലൂടെ പ്രകാശസംവേദക പ്ലേറ്റ് Cയിൽ (എമിറ്ററിൽ) പതിക്കുന്നു. പ്ലേറ്റ് C യിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉത്സർജിക്കുകയും, ബാറ്ററി നൽകുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം ഉപയോഗിച്ച് പ്ലേറ്റ് A യിൽ അവ ശേഖരിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യും. C യ്ക്കും A യ്ക്കും ഇടയിലുള്ള പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസം നിലനിർത്താൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന ബാറ്ററിയുടെ വോൾട്ടേജ് മാറ്റാവുന്നതാണ്. പ്ലേറ്റുകൾ C, A എന്നിവയുടെ ധ്രുവത്വം ഒരു കമ്മ്യൂട്ടേറ്റർ വഴി മാറ്റി നൽകാവുന്നതുമാണ്. അങ്ങനെ പ്ലേറ്റ് C യെ അപേക്ഷിച്ച് പ്ലേറ്റ് Aയ്ക്ക് ആവശ്യാനുസരണം പോസിറ്റിവോ നെഗറ്റിവോ ധ്രുവത നൽകാൻ കഴിയുന്നു. എമിറ്റർ പ്ലേറ്റ് C യെ അപേക്ഷിച്ച് കളക്റ്റർ പ്ലേറ്റ് A പോസിറ്റിവ് ആണെങ്കിൽ, ഇലക്ട്രോണുകൾ അതിലേക്ക് ആകർഷിക്കപ്പെടുന്നു. ഇലക്ട്രോൺ ഉത്സർജനം സെർക്കീട്ടിൽ ഒരു വൈദ്യുതപ്രവാഹം ഉണ്ടാക്കുന്നു. എമിറ്റർ, കളക്ടർ പ്ലേറ്റുകൾ തമ്മിലുള്ള പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസം ഒരു വോൾട്ട്മീറ്റർ (V) ഉപയോഗിച്ച് അളക്കുന്നു, അതേ സമയം സെർക്കീട്ടിൽ പ്രവഹിക്കുന്ന ഫോട്ടോ കറന്റ് ഒരു മൈക്രോ അമ്മീറ്റർ (μA) ഉപയോഗിച്ച് കണക്കാക്കുന്നു. എമിറ്റർ പ്ലേറ്റിനെ അപേക്ഷിച്ച് കളക്റ്റർ പ്ലേറ്റിന്റെ പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസപ്പെടുത്തി ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് കറന്റ് കൂട്ടുകയോ കുറയ്ക്കുകയോ ചെയ്യാം. പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസത്തിലെന്ന പോലെ, പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രതയിലും ആവൃത്തിയിലും മാറ്റം വരുത്താവുന്നതാണ്. (a) പ്രകാശ തീവ്രത, (b) പതന പ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തി, (c) A യ്ക്കും C യ്ക്കും ഇടയിലുള്ള പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസം, (d) പ്ലേറ്റ് C യുടെ സ്വഭാവം എന്നിവയ്ക്കനുസരിച്ചുള്ള ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് കറന്റിന്റെ വ്യതിയാനത്തെക്കുറിച്ച് പഠിക്കാൻ ചിത്രം 11.1 ൽ കാണിച്ച രീതിയിലുള്ള പരീക്ഷണ ക്രമീകരണം ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്. പ്ലേറ്റ് C യിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശപാതയിൽ കളർ ഫിൽറ്ററോ നിറമുള്ള ഗ്ലാസ്സോ വെച്ചാൽ വിവിധ ആവൃത്തിയിലുള്ള പ്രകാശം ലഭ്യമാക്കാവുന്നതാണ്. എമിറ്റർ പ്ലേറ്റിൽ നിന്നും പ്രകാശസ്രോതസ്സിന്റെ ദൂരം വ്യത്യാസപ്പെടുത്തി വ്യത്യസ്ത തീവ്രതയിലുള്ള പ്രകാശം ലഭ്യമാക്കാവുന്നതുമാണ്.

ചിത്രം 11.1 ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തിന്റെ പഠനത്തിനായുള്ള ക്രമീകരണം.

11.4.1 ഫോട്ടോകറന്റിന്മേൽ പ്രകാശതീവ്രതയ്ക്കുള്ള സ്വാധീനം (Effect of intenstiy of light on photocurrent)

എമിറ്റർ പ്ലേറ്റ് C യെ അപേക്ഷിച്ച് കളക്ടർ പ്ലേറ്റ് A യ്ക്ക് പോസിറ്റിവ് പൊട്ടൻഷ്യൽ കൊടുക്കുമ്പോൾ, C യിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉത്സർജിക്കുകയും അവ A യിലേക്ക് ആകർഷിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. പതനപ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തിയും പ്ലേറ്റുകൾക്കി

ടയിലെ ത്വരണപൊട്ടൻഷ്യലും സ്ഥിരമാക്കി നിർത്തിക്കൊണ്ട്, പ്രകാശതീവ്രതയിൽ മാറ്റം വരുത്തുന്നതിനനുസരിച്ച് ഓരോ സമയത്തും ഉണ്ടാകുന്ന ഫോട്ടോകറന്റ് അളക്കുന്നു. ചിത്രം 11.2 ൽ രേഖപ്പെടുത്തിയതു പോലെ പ്രകാശതീവ്രതയ്ക്കനുസരിച്ച് രേഖീയമായി ഫോട്ടോകറന്റ് വർധിക്കുന്നതായി കാണാം. ഓരോ സെക്കന്റിലും പുറന്തള്ളപ്പെടുന്ന ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണത്തിന് നേർഅനുപാതത്തിലാണ് ഫോട്ടോകറന്റ്. ഇത് സൂചിപ്പിക്കുന്നത്, ഒരു സെക്കന്റിൽ പുറന്തള്ളപ്പെടുന്ന ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം പതന പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രതയ്ക്ക് നേർ അനുപാതത്തിലാണെന്നാണ്.

ചിത്രം 11.2 പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രതയ്ക്കനുസരിച്ചുള്ള ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് കറന്റിന്റെ വ്യതിയാനം

11.4.2 ഫോട്ടോകറന്റിന്മേൽ പൊട്ടൻഷ്യലിനുള്ള സ്വാധീനം (Effect of potential on photoelcteric current)

പ്ലേറ്റ് C യെ അപേക്ഷിച്ച് പ്ലേറ്റ് A യെപോസിറ്റീവ് ത്വരണപൊട്ടൻഷ്യലിൽ നിലനിർത്തുകയും ν ആവൃത്തിയും I_1 തീവ്രതയുമുള്ള പ്രകാശം പ്ലേറ്റ് C യിൽ പതിപ്പിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. തുടർന്ന് പ്ലേറ്റ് A യുടെ പോസിറ്റീവ് പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസപ്പെടുത്തി ഓരോ വോൾട്ടേജിനുമുള്ള ഫോട്ടോകറന്റ് അളക്കുന്നു. ത്വരണ (പോസിറ്റീവ്) പൊട്ടൻഷ്യൽ വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് ഫോട്ടോകറന്റ് വർധിക്കുന്നതായി കാണാൻ കഴിയുന്നു. ഒരു പ്രത്യേക പോസിറ്റീവ് പൊട്ടൻഷ്യലിൽ ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന എല്ലാ ഇലക്ട്രോണുകളും പ്ലേറ്റ് A യിൽ ശേഖരിക്കപ്പെടുകയും ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് കറന്റ് പരമാവധിയാവുകയും (സാച്ചുറേറ്റഡ്) ചെയ്യുന്നു. പോസിറ്റീവ് പൊട്ടൻഷ്യൽ വീണ്ടും വർധിപ്പിച്ചാലും ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് കറന്റിന് മാറ്റമൊന്നും സംഭവിക്കുന്നില്ല. ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് കറന്റിന്റെ ഈ പരമാവധി മൂല്യത്തെ സാച്ചുറേഷൻ കറന്റ് (Saturation Current) എന്നു പറയുന്നു. എമിറ്റർ പ്ലേറ്റ് C പുറന്തള്ളുന്ന എല്ലാ ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രോണുകളും കളക്ടർ പ്ലേറ്റ് Aയിൽ എത്തുന്നതാണ് സാച്ചുറേഷൻ കറന്റ് ഉണ്ടാകുവാനുള്ള കാരണം.

ചിത്രം 11.3 വിവിധ തീവ്രതയുള്ള പതന വികിരണങ്ങൾക്ക് പൊട്ടൻഷ്യൽ അനുസരിച്ച് ഫോട്ടോ കറന്റിനു വരുന്ന വ്യതിയാനം

ഇനി നാം പ്ലേറ്റ് C യെ അപേക്ഷിച്ച് പ്ലേറ്റ് A യിൽ ഒരു നെഗറ്റീവ് (മന്ദീകരണ) പൊട്ടൻഷ്യൽ പ്രയോഗിക്കുകയും അതിന്റെ നെഗറ്റീവ് മൂല്യം ക്രമേണ വർധിപ്പിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ധ്രുവത മാറ്റുമ്പോൾ, ഇലക്ട്രോണുകൾ വികർഷിക്കപ്പെടുകയും ഏറ്റവും ഊർജമുള്ള ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് മാത്രം കളക്ടർ A യിലെത്താൻ കഴിയുകയും ചെയ്യുന്നു. **കൃത്യമായി നിർവചിക്കപ്പെട്ട A യിലെ നെഗറ്റീവ് പൊട്ടൻഷ്യലിന്റെ ക്രിട്ടിക്കൽ മൂല്യ (V_0)ത്തിൽ ഫോട്ടോ കറന്റ് വളരെ പെട്ടെന്ന് കുറഞ്ഞ് പൂജ്യമായിത്തീരുന്നതായി കാണുന്നു.** ഒരു നിശ്ചിത ആവൃത്തിയിലുള്ള വികിരണം പതിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുമ്പോൾ, പ്ലേറ്റ് A- ക്ക് ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഏത് നെഗറ്റീവ് (മന്ദീകരണ) പൊട്ടൻഷ്യൽ V_0 നൽകുമ്പോഴാണോ ഫോട്ടോകറന്റ് പൂജ്യമായി കുറയുന്നത്, ആ പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസത്തെ കട്ട് ഓഫ് പൊട്ടൻഷ്യൽ അഥവാ സ്റ്റോപ്പിംങ്ങ് പൊട്ടൻഷ്യൽ എന്നു വിളിക്കുന്നു.

ഈ നിരീക്ഷണത്തെ വളരെ എളുപ്പം വിശദീകരിക്കുവാൻ കഴിയും. ലോഹത്തിൽ നിന്ന്

പുറത്തുവിടുന്ന എല്ലാ ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രോണുകൾക്കും ഒരേ ഊർജമല്ല ഉള്ളത്. പരമാവധി ഗതികോർജമുള്ളതും (K_{max}) ഏറ്റവും ഊർജസ്വലമായ ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണുകളെപ്പോലും വികർഷിക്കാൻ പര്യാപ്തമാണ് സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യൽ. എങ്കിൽ ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് കറന്റ് പൂജ്യമാകും. അങ്ങനെയായാൽ,

$$K_{max} = e\,V_0 \qquad (11.1)$$

ഇതേ ആവൃത്തിയും എന്നാൽ I_2, I_3 എന്നിങ്ങനെ ($I_3 > I_2 > I_1$) കൂടിയ തീവ്രതകളുമുള്ള പതന വികിരണങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് നമുക്ക് ഈ പരീക്ഷണം ആവർത്തിക്കാം. സാച്ചുറേഷൻ കറന്റ് ഇപ്പോൾ കൂടി വരുന്നതായി കാണാം. പതന വികിരണത്തിന്റെ തീവ്രതയ്ക്ക് ആനുപാതികമായി, ഓരോ സെക്കന്റിലും കൂടുതൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉൽസർജിക്കപ്പെടുന്നുവെന്നാണ് ഇതു കാണിക്കുന്നത്. എന്നാൽ ചിത്രം 11.3 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യലിന് I_1 പ്രകാശ തീവ്രതയിലുള്ള അതേ വില തന്നെയായിരിക്കും. അതിനാൽ, പതന വികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തിക്ക് മാറ്റമില്ലെങ്കിൽ, സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യൽ എന്നത് തീവ്രതയെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. മറ്റൊരു തരത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ, ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ പരമാവധി ഗതികോർജം പ്രകാശ സ്രോതസ്സിനെയും എമിറ്റർ പ്ലേറ്റ് പദാർഥത്തെയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. എന്നാൽ പതന വികിരണത്തിന്റെ തീവ്രതയെ അത് ആശ്രയിക്കുന്നില്ല.

11.4.3 സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യലിൽ പതന വികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തിയുടെ സ്വാധീനം (Effect of frequency of incident radiation on stopping potential)

നമുക്കിനി പതന വികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തിയും (ν) സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യൽ V_0 യും തമ്മിലുള്ള ബന്ധത്തെക്കുറിച്ച് പഠിക്കാം. ഒരേ തീവ്രതയുള്ള പ്രകാശം വ്യത്യസ്ത ആവൃത്തികളിൽ വരുന്ന രീതിയിൽ ക്രമീകരിച്ച് കളക്ടർ പൊട്ടൻഷ്യലിനനുസരിച്ചുള്ള ഫോട്ടോകറന്റിന്റെ വ്യത്യാസം ശ്രദ്ധിക്കുക. പരിണിത വ്യതിയാനം ചിത്രം 11.4ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. വ്യത്യസ്ത ആവൃത്തികളുള്ള പതന വികിരണത്തിന്, വ്യത്യസ്ത സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യൽ മൂല്യങ്ങളും എന്നാൽ ഒരേ സാച്ചുറേഷൻ കറന്റും ലഭിക്കുന്നു. പുറന്തള്ളുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജം പതനവികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തിയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ഉയർന്ന ആവൃത്തിയുള്ള പതന വികിരണങ്ങൾക്ക് സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യൽ കൂടുതൽ നെഗറ്റീവ് ആണ്. ചിത്രം 11.4ൽ നിന്ന് ശ്രദ്ധിക്കാവുന്ന കാര്യം, ആവൃത്തികൾ $\nu_3 > \nu_2 > \nu_1$ എന്ന ക്രമത്തിലായാൽ സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യലുകൾ $V_{03} > V_{02} > V_{01}$ എന്ന ക്രമത്തിലായിരിക്കും. ഇത് സൂചിപ്പിക്കുന്നത്, പതനപ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തി കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ പരമാവധി ഗതികോർജവും കൂടുന്നുവെന്നാണ്. തൽഫലമായി, അവയെ പൂർണ്ണമായും നിർത്താൻ കൂടുതൽ മന്ദീകരണ പൊട്ടൻഷ്യൽ ആവശ്യമായി വരും. പതന വികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തിയും വ്യത്യസ്ത ലോഹങ്ങൾക്ക് അനുയോജ്യമായ സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യലും തമ്മിൽ ഒരു ഗ്രാഫ് വരച്ചാൽ, ചിത്രം 11.5 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഒരു നേർരേഖ ലഭിക്കും.

ചിത്രം 11.4 വിവിധ ആവൃത്തിയുള്ള പതന വികിരണങ്ങൾക്ക് കളക്ടർ പ്ലേറ്റ് പൊട്ടൻഷ്യൽ അനുസരിച്ച് ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് കറന്റിൽ വരുന്ന മാറ്റം

ചിത്രം 11.5 ആവൃത്തിയനുസരിച്ച് സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യലിൽ വരുന്ന മാറ്റം

ഈ ഗ്രാഫ് വ്യക്തമാക്കുന്നത്,

(i) ഒരു നിശ്ചിത പ്രകാശസംവേദക (photosensitive) പദാർഥത്തിന്റെ V_0 എന്ന സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യൽ ,

പതന വികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തിയ്ക്കനുസരിച്ച് രേഖീയമായി മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നു.

(ii) സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യൽ പൂജ്യമാകുന്ന ഒരു മിനിമം കട്ട് ഓഫ് (cut-off) ആവൃത്തി ν_0 ഉണ്ട്.

ഈ നിരീക്ഷണങ്ങളിൽ നിന്നും രണ്ട് കാര്യങ്ങൾ മനസ്സിലാക്കാം.

(i) ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ പരമാവധി ഗതികോർജം, പതന വികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തിയ്ക്കനുസരിച്ച് രേഖീയമായി വ്യത്യാസപ്പെടുന്നു, എന്നാൽ അതിന് തീവ്രതയുമായി ഒരു ബന്ധവുമില്ല.

(ii) പതനവികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തി ν, കട്ട് ഓഫ് ആവൃത്തി ν_0 യേക്കാൾ കുറവാണെങ്കിൽ തീവ്രത എത്ര കൂടുതലാണെങ്കിലും ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനം സാധ്യമല്ല.

ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഈ ആവൃത്തി ν_0 യെ ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി (threshold frequency) യെന്നു പറയുന്നു. ഇത് ഓരോ ലോഹത്തിനും വ്യത്യസ്തമായിരിക്കും.

വ്യത്യസ്ത പ്രകാശസംവേദന വസ്തുക്കൾ പ്രകാശത്തോട് വ്യത്യസ്തമായ തരത്തിലാണ് പ്രതികരിക്കുന്നത്. സിങ്കിനെക്കാളും കോപ്പറിനേക്കാളും കൂടുതൽ സംവേദനക്ഷമത സെലിനിയത്തിനാണ്. ഒരു പ്രകാശസംവേദന പദാർഥം വ്യത്യസ്ത തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള പ്രകാശത്തിൽ പ്രതികരിക്കുന്നത് വ്യത്യസ്തമായിട്ടാണ്. ഉദാഹരണമായി, അൾട്രാവയലറ്റ് പ്രകാശം കോപ്പറിൽ ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് കറന്റ് ഉണ്ടാക്കുന്നു; അതേസമയം പച്ച, ചുവപ്പ് പ്രകാശങ്ങൾ ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് കറന്റ് ഉണ്ടാക്കുന്നുമില്ല.

മുകളിൽ പറഞ്ഞ എല്ലാ പരീക്ഷണങ്ങളിലും, പതനവികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തി വിച്ഛേദന ആവൃത്തിയേക്കാൾ കൂടുതലാണെങ്കിൽ, പതന പ്രകാശം മങ്ങിയതാണെങ്കിൽ പോലും ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് കറന്റ് പ്രകാശ പതനം നടന്ന് ഉടനടി (ഒട്ടും കാലതാമസമില്ലാതെ) തന്നെ ഉണ്ടാകുന്നു. 10^{-9} സെക്കന്റോ അതിൽ കുറവോ സമയത്തിനുള്ളിൽ ഉൽസർജനം ആരംഭിക്കുമെന്ന് ഇപ്പോൾ അറിയാവുന്ന കാര്യമാണ്.

ഈ ഭാഗത്ത് വിവരിച്ചിരിക്കുന്ന പരീക്ഷണ നിരീക്ഷണങ്ങളുടെ സവിശേഷതകൾ നമുക്ക് ഇങ്ങനെ സംഗ്രഹിക്കാം.

(i) ഒരു നിശ്ചിത പ്രകാശസംവേദന പദാർഥത്തെയും പതനവികിരണ ആവൃത്തിയേയും (ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തിയ്ക്കു മുകളിലുള്ള)പരിഗണിച്ചാൽ, ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് കറന്റ് പതനപ്രകാശതീവ്രതയ്ക്ക് നേർ അനുപാതത്തിലാണ് (ചിത്രം. 11.2)

(ii) ഒരു നിശ്ചിത പ്രകാശസംവേദന പദാർഥത്തെയും പതനവികിരണ ആവൃത്തിയെയും (ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തിയ്ക്കു മുകളിലുള്ള)പരിഗണിച്ചാൽ, പൂരിത വൈദ്യുതി (saturation current) പതന വികിരണത്തിന്റെ തീവ്രതയ്ക്ക് ആനുപാതികമായി കാണപ്പെടുന്നു, അതേസമയം സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യൽ അതിന്റെ തീവ്രതയെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. (ചിത്രം. 11.3)

(iii) ഓരോ പ്രകാശസംവേദന പദാർഥത്തിനും, ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി എന്നറിയപ്പെടുന്ന പതന വികിരണത്തിന്റെ ഒരു മിനിമം വിച്ഛേദന ആവൃത്തി ഉണ്ട്. ഇതിൽ താഴെയാണ് ആവൃത്തിയെങ്കിൽ, പതനപ്രകാശം എത്ര തീവ്രതയുള്ളതാണെങ്കിൽ പോലും, ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഉൽസർജനം ഉണ്ടാകുന്നില്ല. ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തിക്കു മുകളിൽ, സ്റ്റോപ്പിംഗ്പൊട്ടൻഷ്യലോ അതിന് സമാനമായ ഉൽസർജിത ഇലക്ട്രോണുകളുടെ പരമാവധി ഗതികോർജമോ പതനവികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തിക്കനുസരിച്ച് രേഖീയമായി വർദ്ധിക്കുന്നു. എന്നാൽ പ്രകാശതീവ്രത അതിനെ സ്വാധീനിക്കുന്നുമില്ല. (ചിത്രം. 11.5).

(iv) പതനവികിരണം വളരെ മങ്ങിയതായാൽ പോലും, ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവം ഒട്ടും കാലവിളംബമില്ലാതെ സംഭവിക്കും ($\sim 10^{-9}$ സെക്കന്റോ അല്ലെങ്കിൽ അതിൽ കുറവോ സമയം മതി).

11.5 ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവവും പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗ സിദ്ധാന്തവും (PHOTOELECTRIC EFFECT OF LIGHT AND WAVE THEORY)

പത്തൊമ്പതാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ അവസാനത്തോടെ പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗസ്വഭാവം സർവത്ര അംഗീകരിക്കപ്പെട്ടിരുന്നു. പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗ സ്വഭാവം ഉപയോഗപ്പെടുത്തി ഇന്റർഫെറൻസ്, ഡിഫ്രാക്ഷൻ, പോളറൈസേഷൻ എന്നീ പ്രതിഭാസങ്ങൾ സ്വാഭാവികവും തൃപ്തികരവുമായ രീതിയിൽ വിശദീകരിച്ചു. ഈ സിദ്ധാന്തമനുസരിച്ച്, വ്യാപിക്കുന്ന മേഖലകളിലെല്ലാം തുടർച്ചയായ ഊർജവിധാനം നൽകുന്ന വൈദ്യുത കാന്തിക മണ്ഡലങ്ങൾ ഉൾപ്പെടുന്ന ഒരു വൈദ്യുത കാന്തിക തരംഗമാണ് പ്രകാശം. പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗ സിദ്ധാന്തത്തിന് ഇവിടെ നാം ചർച്ച ചെയ്ത ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് ഉൽസർജനത്തെക്കുറിച്ചുള്ള നിരീക്ഷണങ്ങൾ വിശദീകരിക്കാനാകുമോയെന്ന് പരിശോധിച്ചു നോക്കാം.

പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗസിദ്ധാന്ത പ്രകാരം, ലോഹത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിലെ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾ (വികിരണം പതിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നവ) ഊർജം നിരന്തരം ആഗിരണം ചെയ്യുന്നു. വികിരണ തീവ്രത കൂടുമ്പോൾ അതിനനുസരിച്ച് വൈദ്യുത, കാന്തിക മണ്ഡലങ്ങളുടെ ആയതിയും കൂടുന്നു. അതിനാൽ, തീവ്രത കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് ഓരോ ഇലക്ട്രോണും ആഗിരണം ചെയ്യുന്ന ഊർജവും കൂടുതലായിരിക്കണം. ഈ കാഴ്ചപ്പാടിൽ, ഉപരിതലത്തിലെ ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണുകളുടെ പരമാവധി ഗതികോർജം തീവ്രതയ്ക്കനുസരിച്ച് വർദ്ധിക്കുമെന്നാണ് പ്രതീക്ഷിക്കേണ്ടത്. മാത്രമല്ല, വികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തി എത്ര തന്നെ ആയാലും, മതിയായ തീവ്രതയുള്ള വികിരണത്തിൽ (മതിയായ സമയംകൊണ്ട്) ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് ആവശ്യമായ ഊർജം നൽകാൻ കഴിയണം, അതിലൂടെ അവയ്ക്ക് ലോഹോപരിതലത്തിൽ നിന്ന് സ്വതന്ത്രമാകുവാൻ ആവശ്യമായ കുറഞ്ഞ ഊർജത്തേക്കാൾ അധികം ഊർജം ലഭിക്കുകയും ചെയ്യണം. അതുകൊണ്ട്, ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി എന്നൊന്നിന് പ്രസക്തിയില്ല. തരംഗ സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ ഇത്തരം നിഗമനങ്ങൾ ഉപവിഭാഗം 11.4.3 അവസാനഭാഗത്തെ നിരീക്ഷണങ്ങൾ (i), (ii), (iii) എന്നിവയ്ക്ക് കടകവിരുദ്ധമാണ്.

കൂടാതെ, തരംഗ സിദ്ധാന്തത്തിൽ നിന്ന് നമുക്ക് മനസ്സിലാക്കാനാവുന്നത് ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജ ആഗിരണം വികിരണത്തിന്റെ മുഴുവൻ തരംഗമുഖത്തുനിന്നും തുടർച്ചയായി ഉണ്ടാകുന്നുവെന്നാണ്. ഇങ്ങനെ ഊർജത്തെ നിരവധി ഇലക്ട്രോണുകൾ ആഗിരണം ചെയ്യുന്നതിനാൽ ഒരു സെക്കന്റിൽ ഒരോ ഇലക്ട്രോണും ആഗിരണം ചെയ്യുന്ന ഊർജം വളരെ കുറവായിരിക്കും. അതുകൊണ്ട് വർക്ക് ഫങ്ഷൻ മറികടന്ന് ലോഹത്തിൽ നിന്ന് പുറത്തു വരുന്നതിന് ആവശ്യമായ ഊർജം ലഭിക്കാൻ ഓരോ ഇലക്ട്രോണും മണിക്കൂറുകളോ അതിൽ കൂടുതലോ സമയം എടുക്കുമെന്ന് വിശദമായ കണക്കുകൂട്ടൽ വ്യക്തമാക്കുന്നു. ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് ഉൽസർജനം തൽക്ഷണമുള്ളതാണെന്ന നിരീക്ഷണം (iv) ൽ നിന്ന് ശ്രദ്ധേയമായ വ്യത്യാസമാണ് ഈ നിഗമനം. ചുരുക്കത്തിൽ, ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് ഉൽസർജനത്തിന്റെ ഏറ്റവും അടിസ്ഥാന സവിശേഷതകൾ വിശദീകരിക്കാൻ തരംഗ സിദ്ധാന്തത്തിനു കഴിയുന്നില്ല.

11.6 ഐൻസ്റ്റൈന്റെ ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് സമവാക്യം: വികിരണത്തിന്റെ ഊർജ ക്വാണ്ടം (EINSTEIN'S PHOTOELECTRIC EQUATION : ENERGY QUANTUM OF RADIATION)

1905-ൽ ആൽബർട്ട് ഐൻസ്റ്റൈൻ (1879-1955) ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവം വിശദീകരിക്കാൻ വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണത്തിന്റെ മൗലികമായ ഒരു പുതിയ ചിത്രം അവതരിപ്പിച്ചു. ഈ ചിത്രത്തിൽ, വികിരണങ്ങളിൽ നിന്ന് തുടർച്ചയായുള്ള ഊർജ ആഗീരണം വഴിയല്ല ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനം നടക്കുന്നത്. വികിരണ ഊർജം

നിർമിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത് ക്വാണ്ടങ്ങൾ എന്ന് വിളിക്കുന്ന വിഭിന്ന യൂണിറ്റുകൾ കൊണ്ടാണ്. ഓരോ ക്വാണ്ടത്തിനുമുള്ള ഊർജം $h\nu$ ആണ്, ഇതിൽ h പ്ലാങ്ക് സ്ഥിരാങ്കവും ν പ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തിയുമാണ്. ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തിൽ, ഒരു ഇലക്ട്രോൺ ഒരു ഊർജ ക്വാണ്ടം ($h\nu$) ആഗിരണം ചെയ്യുന്നു. ലോഹത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിൽ നിന്നും പുറത്തെത്താൻ ആവശ്യമായ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഊർജ (വർക്ക് ഫങ്ഷൻ ϕ_0) ത്തേക്കാൾ കൂടുതലാണ് ഈ ക്വാണ്ടത്തിന്റെ ഊർജമെങ്കിൽ, ആ ഇലക്ട്രോൺ താഴെ സൂചിപ്പിച്ച പരമാവധി ഗതികോർജത്തോടെ ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്നു.

$$K_{max} = h\nu - \phi_0 \qquad (11.2)$$

കൂടുതൽ ദൃഢമായി ബന്ധിപ്പിക്കപ്പെട്ട ഇലക്ട്രോണുകൾ പരമാവധി മൂല്യത്തേക്കാൾ കുറഞ്ഞ ഗതികോർജത്തോടെയാണ് പുറത്തേക്കു വരിക. ഒരു നിശ്ചിത ആവൃത്തിയുള്ള പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത നിശ്ചയിക്കുന്നത് ഓരോ സെക്കൻഡിലും പതിക്കുന്ന ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം കണക്കാക്കിയാണ്. തീവ്രത വർദ്ധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് സെക്കന്റിൽ പുറന്തള്ളുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണവും വർദ്ധിക്കും. എന്നിരുന്നാലും, ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന ഓരോ ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണിന്റെയും പരമാവധി ഗതികോർജം നിർണയിക്കുന്നത് ഫോട്ടോണിന്റെ ഊർജമാണ്. സമവാക്യം (11.2) ഐൻസ്റ്റൈന്റെ ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് സമവാക്യം (Einstein's photoelectric equation) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഉപവിഭാഗം 11.4.3 അവസാനത്തിൽ നൽകിയിരിക്കുന്ന ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തിന്റെ എല്ലാ നിരീക്ഷണങ്ങളെയും ലളിതവും സുന്ദരവുമായ വിധത്തിൽ ഈ സമവാക്യം എങ്ങനെയാണ് വിശദീകരിക്കുന്നതെന്നു നമുക്ക് പരിശോധിക്കാം.

- സമവാക്യം (11.2) പ്രകാരം, പരമാവധി ഗതികോർജം K_{max} ആവൃത്തി νയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു, മാത്രമല്ല മുകളിലെ നിരീക്ഷണവുമായി ഒത്തുപോകുന്ന തരത്തിൽ, ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഗതികോർജം വികിരണത്തിന്റെ തീവ്രതയെ ആശ്രയിക്കുന്നുമില്ല. ഐൻസ്റ്റൈന്റെ വിശദീകരണത്തിൽ ഒരു ഇലക്ട്രോൺ ഒരൊറ്റ ക്വാണ്ടം വികിരണം ആഗിരണം ചെയ്യുമ്പോഴാണ് ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവം ഉണ്ടാകുന്നത്. ഈ അടിസ്ഥാന പ്രക്രിയയിൽ വികിരണത്തിന്റെ തീവ്രത (ഇത് യൂണിറ്റ് സമയത്തിൽ യൂണിറ്റ് പരപ്പളവിലെ പ്രകാശക്വാണ്ടങ്ങളുടെ എണ്ണത്തിന് ആനുപാതികമാണ്) പ്രസക്തമല്ല.
- K_{max} നെഗറ്റീവ് ആയിരിക്കരുതെന്നതിനാൽ, സമവാക്യം (11.2) സൂചിപ്പിക്കുന്ന ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനം സാധ്യമാകണമെങ്കിൽ,

  $h\nu > \phi_0$ അഥവാ, $\nu > \nu_0$, ഇതിൽ

  $$\nu_0 = \frac{\phi_0}{h} \qquad (11.3)$$

  സമവാക്യം (11.3) കാണിക്കുന്നത്, വർക്ക് ഫങ്ഷൻ ϕ_0 കൂടുതലാണെങ്കിൽ, ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണുകൾ ഉത്സർജിക്കാൻ ആവ

ആൽബർട്ട് ഐൻസ്റ്റൈൻ (1879 – 1955)

ആൽബർട്ട് ഐൻസ്റ്റൈൻ
(1879 – 1955)

എക്കാലത്തെയും മഹാന്മാരായ ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞരിൽ ഒരാളായ ഐൻസ്റ്റൈൻ, ജെർമനിയിലെ ഉലംമിലാണ് ജനിച്ചത്. മാർഗനിർദേശകങ്ങളായ മൂന്ന് പ്രബന്ധങ്ങൾ 1905ൽ അദ്ദേഹം പ്രസിദ്ധീകരിച്ചു. ആദ്യ പ്രബന്ധത്തിൽ, പ്രകാശ ക്വാണ്ടത്തെ (ഇപ്പോൾ ഫോട്ടോൺ എന്നറിയപ്പെടുന്നു) അവതരിപ്പിക്കുകയും ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രതിഭാസത്തെ വിശദീകരിക്കാൻ അത് ഉപയോഗിക്കുകയും ചെയ്തു. രണ്ടാമത്തെ പ്രബന്ധത്തിൽ, ബ്രൗണിയൻ ചലനത്തെക്കുറിച്ച് ഒരു സിദ്ധാന്തം രൂപീകരിക്കുകയും, കുറച്ചു വർഷങ്ങൾക്ക് ശേഷം പരീക്ഷണത്തിലൂടെ സ്ഥിരീകരിക്കുകയും ഇത് ദ്രവ്യത്തിന്റെ ആറ്റോമിക ചിത്രത്തിന് ബോധ്യപ്പെടാവുന്ന തെളിവായി വരികയും ചെയ്തു. മൂന്നാമത്തെ പ്രബന്ധം വിശേഷ ആപേക്ഷികതാ സിദ്ധാന്തത്തിന് ജന്മം നല്കി. 1916ൽ, അദ്ദേഹം പൊതു ആപേക്ഷികതാ സിദ്ധാന്തം പ്രസിദ്ധീകരിച്ചു. ഐൻസ്റ്റൈന്റെ പിന്നീടുണ്ടായ പ്രധാന സംഭാവനകൾ ഇവയാണ്: പ്ലാങ്കിന്റെ ബ്ലാക്ക് ബോഡി വികിരണത്തിന്റെ മറ്റൊരു രൂപീകരണത്തിൽ ഉത്തേജിത ഉത്സർജനമെന്ന ആശയം അവതരിപ്പിച്ചു, സ്ഥിരപ്രപഞ്ച സിദ്ധാന്തം ആധുനിക പ്രപഞ്ചശാസ്ത്രത്തിന് തുടക്കമിട്ടു, മാസ്സുള്ള ബോസോൺ വാതകത്തിന്റെ ക്വാണ്ടം സ്റ്റാറ്റിസ്റ്റിക്സ്, ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്രത്തിന്റെ വിമർശനാത്മക വിശകലനം എന്നിവയും പ്രധാന സംഭാവനകളാണ്. സൈദ്ധാന്തികഭൗതികത്തിലും ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തിലുമുള്ള അദ്ദേഹത്തിന്റെ സംഭാവന പരിഗണിച്ച് 1921 ലെ നോബെൽ സമ്മാനം നൽകി ആദരിച്ചു.

ശ്യമായ ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി ν_0 യും കൂടുതലായിരിക്കും. ഓരോ ലോഹോപരിതലത്തിനും ഓരോ ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി $\nu_0 (= \phi_0/h)$ നിലവിലുണ്ട്, അതിനു താഴെയാണ് ആവൃത്തിയെങ്കിൽ ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനം സാധ്യമല്ല. പതന വികിരണത്തിന്റെ തീവ്രത എന്താണെന്നോ എത്രനേരം അത് ഉപരിതലത്തിൽ പതിച്ചുവെന്നോ ഇവിടെ പരിഗണിക്കേണ്ടതില്ല. ഈ ചിത്രത്തിൽ, മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ചതുപോലെ വികിരണത്തിന്റെ തീവ്രത, യൂണിറ്റ് പരപ്പളവിലും സമയത്തിലും ഉള്ള ക്വാണ്ടങ്ങളുടെ എണ്ണത്തിന് ആനുപാതികമാണ്. ലഭ്യമായ ക്വാണ്ടങ്ങൾ എത്ര മാത്രം കൂടുതലാണോ, ഈ ക്വാണ്ടങ്ങളെ ആഗിരണം ചെയ്യുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണവും, അതുപോലെത്തന്നെ ലോഹത്തിൽനിന്ന് പുറത്തുവരുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണവും ($\nu > \nu_0$ ആണെങ്കിൽ) അത്രയും കൂടുന്നു. $\nu > \nu_0$ ആണെങ്കിൽ, ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് കറന്റ് എന്തുകൊണ്ടാണ് പ്രകാശതീവ്രതയ്ക്ക് ആനുപാതികമാകുന്നതെന്നിത് വിശദീകരിക്കുന്നു.

- ഐൻസ്റ്റൈന്റെ സിദ്ധാന്തമനുസരിച്ച്, ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവം ഉണ്ടാകുന്നതിന്റെ അടിസ്ഥാന പ്രക്രിയ ഇലക്ട്രോൺ പ്രകാശ ക്വാണ്ടം ആഗിരണം ചെയ്യുന്നതാണ്. ഈ പ്രക്രിയ തൽക്ഷണമുള്ളതാണ്. അതിനാൽ പ്രകാശ തീവ്രത എത്ര തന്നെ ആണെങ്കിലും, (അതായത്, യൂണിറ്റ് പരപ്പളവിലും സമയത്തിലുമുള്ള ക്വാണ്ടങ്ങളുടെ എണ്ണം), ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവം തൽക്ഷണമുള്ളതായിരിക്കും. കുറഞ്ഞ പ്രകാശ തീവ്രതയെന്നത് ഉത്സർജനത്തിന്റെ കാലതാമസത്തിന് വഴിവക്കുന്നില്ല, കാരണം ഉത്സർജനത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനപരമായ പ്രക്രിയ ക്വാണ്ടം ആഗിരണം തന്നെയാണ്. അടിസ്ഥാന പ്രക്രിയയിൽ (ഒരൊറ്റ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഒരു പ്രകാശ ക്വാണ്ടത്തിന്റെ ആഗിരണം), എത്രത്തോളം ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് പങ്കെടുക്കാനാകുമെന്നത് മാത്രമാണ് തീവ്രത തീരുമാനിക്കുന്നത്; ഒപ്പം, ഫോട്ടോകറന്റിനേയും. സമവാക്യം (11.1) ഉപയോഗിച്ച്, ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് സമവാക്യം (11.2) താഴെ കാണിക്കും പോലെ എഴുതാം.

$$eV_0 = h\nu - \phi_0 \; ; \; \nu \geq \nu_0 \text{ ആണെങ്കിൽ}$$

അഥവാ,

$$V_0 = \left(\frac{h}{e}\right)\nu - \frac{\phi_0}{e} \qquad (11.4)$$

വസ്തുക്കളുടെ സ്വഭാവ സവിശേഷതകളെ ആശ്രയിക്കാതെ V_0 യും ν യും ഉപയോഗിച്ച് വരയ്ക്കുന്ന ഗ്രാഫിന്റെ സ്ലോപ്പ് (=h/e) ഒരു നേർരേഖയായിരിക്കുമെന്ന് ഈ സമവാക്യം സൂചിപ്പിക്കുന്നു. 1906-1916 കാലഘട്ടത്തിൽ ഐൻസ്റ്റൈന്റെ ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് സമവാക്യം തെറ്റാണെന്നു സ്ഥാപിക്കുകയെന്ന ലക്ഷ്യത്തോടെ ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തെക്കുറിച്ച് മില്ലിക്കൺ നിരവധി പരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തി. ചിത്രം 11.5ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ, സോഡിയത്തിൽ നിന്നു ലഭിച്ച നേർരേഖയുടെ ചരിവ് അദ്ദേഹം അളന്നു. e യുടെ അറിയപ്പെടുന്ന മൂല്യം ഉപയോഗിച്ച് പ്ലാങ്ക് സ്ഥിരാങ്കത്തിന്റെ (h) മൂല്യം അദ്ദേഹം നിർണ്ണയിച്ചു. ഈ മൂല്യം തികച്ചും വിഭിന്നമായ സാഹചര്യത്തിൽ നിർണ്ണയിച്ച പ്ലാങ്ക് സ്ഥിരാങ്കത്തിന്റെ ($= 6.626 \times 10^{-34}$ J s) മൂല്യത്തിനടുത്താണ് ലഭിച്ചത്. 1916ൽ മില്ലിക്കൺ നടത്തിയ ഈ പരീക്ഷണം ഐൻസ്റ്റൈന്റെ ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് സമവാക്യം നിരാകരിക്കുന്നതിന് പകരമത് ശരിയാണെന്ന് സ്ഥാപിച്ചു.

പ്രകാശ ക്വാണ്ടം ഉപയോഗിച്ചുള്ള ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തിന്റെ വിശദീകരണവും ആ ആശയങ്ങൾ അടിസ്ഥാനമാക്കിയ പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ ലഭിച്ച h, ϕ_0 എന്നിവയുടെ മൂല്യങ്ങൾ മറ്റു പരീക്ഷണങ്ങളിൽ നിന്ന് ലഭിച്ച മൂല്യങ്ങളുമായി ഒത്തുപോകുന്നതും ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തിലെ ഐൻസ്റ്റൈൻ ചിത്രത്തിന്റെ സ്വീകാര്യതയിലേക്കു നയിച്ചു. നിരവധി ആൽക്കലി ലോഹങ്ങളുടെ വൈവിധ്യമാർന്ന വികിരണ ആവൃത്തികളിൽ ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് സമവാക്യം മില്ലിക്കൺ വളരെ കൃത്യതയോടെ സ്ഥിരീകരിച്ചു.

11.7 പ്രകാശത്തിന്റെ കണികാസ്വഭാവം: ഫോട്ടോൺ (PARTICLE NATURE OF LIGHT : THE PHOTON)

പ്രകാശം ദ്രവ്യവുമായി പ്രതിപ്രവർത്തനം നടത്തുമ്പോൾ $h\nu$ ഊർജമുള്ള ഊർജപാക്കറ്റുകൾ അഥവാ ക്വാണ്ടങ്ങൾ കൊണ്ട് നിർമിക്കപ്പെട്ടപോലെ പെരുമാറുന്നുവെന്ന അസാധാരണമായ വസ്തുതയ്ക്ക് ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവം തെളിവുകൾ നൽകി.

പ്രകാശത്തിന്റെ ഊർജ ക്വാണ്ടം ഒരു കണികയുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഊർജമായിരിക്കുമോ? അങ്ങനെയെങ്കിൽ അതുമായി ബന്ധപ്പെട്ട് ഒരു ആക്കവും ($h\nu/c$) ഉണ്ടാകേണ്ടതല്ലേ? ഐൻസ്റ്റൈന്റെ ഈ അന്വേഷണം പ്രകാശക്വാണ്ടത്തിനും $h\nu/c$ എന്ന ആക്കം ഉണ്ടെന്നു കണ്ടെത്തി. ഊർജത്തിന്റെയും ആക്കത്തിന്റെയും നിശ്ചിതമായ മൂല്യം, ഒരു കണികയുമായി പ്രകാശ ക്വാണ്ടം ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നുവെന്നതിന് ശക്തമായ തെളിവാണ്. ഈ കണിക പിന്നീട് ഫോട്ടോൺ (photon) എന്നു വിളിക്കപ്പെട്ടു. 1924 ൽ എ.എച്ച്. കോംപ്ടൺ (1892-1962) ഇലക്ട്രോണുകളിൽ നിന്നുള്ള എക്സ്റേ രശ്മികളുടെ വിസരണ പരീക്ഷണത്തിലൂടെ പ്രകാശത്തിന്റെ കണികാ സ്വഭാവം ഒരിക്കൽകൂടി സ്ഥിരീകരിച്ചു. സൈദ്ധാന്തിക ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിലും, ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് പ്രതിഭാസത്തിലും നല്കിയ സംഭാവനകൾക്ക് 1921 ൽ ഐൻസ്റ്റൈന് ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിനുള്ള നോബെൽ സമ്മാനം ലഭിച്ചു. ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവം, വൈദ്യുതിയുടെ അടിസ്ഥാന ചാർജ് എന്നീ പ്രവർത്തനങ്ങൾക്ക് 1923 ൽ മില്ലിക്കൺ നോബെൽ സമ്മാനത്തിന് അർഹനായി.

വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണത്തിന്റെ ഫോട്ടോൺ ചിത്രം നമുക്ക് ഇങ്ങനെ സംഗ്രഹിക്കാം:

(i) ദ്രവ്യവുമായുള്ള പ്രതിപ്രവർത്തനത്തിൽ, വികിരണോർജം ഫോട്ടോണുകൾ എന്നു വിളിക്കപ്പെടുന്ന കണങ്ങളാൽ നിർമിക്കപ്പെട്ടതുപോലെ പ്രവർത്തിക്കുന്നു.

(ii) ഓരോ ഫോട്ടോണിനുമുള്ള ഊർജം E ($=h\nu$), ആക്കം p ($= h\nu/c$), വേഗത c (പ്രകാശവേഗത) എന്നിങ്ങനെ ആയിരിക്കും.

(iii) ഒരു പ്രത്യേക ആവൃത്തി ν, അല്ലെങ്കിൽ തരംഗദൈർഘ്യം λ ഉള്ള പ്രകാശത്തിന്റെ എല്ലാ ഫോട്ടോണുകൾക്കും, അവയുടെ തീവ്രത എന്തായിരുന്നാലും, ഒരേ ഊർജവും E ($= h\nu = hc/\lambda$), ആക്കവും p ($= h\nu/c = h/\lambda$) ആയിരിക്കും. നിശ്ചിത തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത വർധിപ്പിക്കുന്നതിലൂടെ ഓരോ സെക്കന്റിലും നിശ്ചിത പരപ്പളവിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന ഒരേ ഊർജമുള്ള ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം വർധിപ്പിക്കാൻ മാത്രമേ കഴിയൂ. ആയതിനാലാണ്, ഫോട്ടോണിന്റെ ഊർജം വികിരണത്തിന്റെ തീവ്രതയെ ആശ്രയിക്കാത്തത്.

(iv) ഫോട്ടോണുകൾ വൈദ്യുതപരമായി ന്യൂട്രൽ ആണ്, അതുകൊണ്ടു തന്നെ അവ വൈദ്യുത, കാന്തിക മണ്ഡലങ്ങളാൽ വ്യതിചലിക്കപ്പെടുന്നില്ല.

(v) ഒരു ഫോട്ടോൺ കണികാ കൂട്ടിയിടിയിൽ (ഫോട്ടോൺ ഇലക്ട്രോൺ കൂട്ടിയിടി പോലെ), ആകെ ഊർജവും ആക്കവും സംരക്ഷിക്കപ്പെടുന്നു. എന്നാൽ, ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം ഒരു കൂട്ടിയിടിയിൽ സംരക്ഷിക്കപ്പെടണമെന്നില്ല. ഫോട്ടോണുകൾ ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടുകയോ പുതിയ ഫോട്ടോണുകൾ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുകയോ ചെയ്തേക്കാം.

ഉദാഹരണം 11.1

ഉദാഹരണം 11.1: ഒരു ലേസർ 6.0×10^{14} Hz ആവൃത്തിയുള്ള ഏകവർണ പ്രകാശം ഉൽപാദിപ്പിക്കുന്നു. അത് പുറത്തുവിടുന്ന പവർ 2.0×10^{-3} W ആണ്. (a) പ്രകാശ കിരണത്തിലെ ഫോട്ടോണിന്റെ ഊർജമെന്ത്? (b) ഈ ലേസർ ഒരു സെക്കന്റിൽ ശരാശരി എത്ര ഫോട്ടോണുകൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്നു?

ഉത്തരം:

(a) ഓരോ ഫോട്ടോണിന്റെയും ഊർജം

$$E = h\nu = (6.63 \times 10^{-34}\,\text{Js})\,(6.0 \times 10^{14}\,\text{Hz})$$
$$= 3.98 \times 10^{-19}\,\text{J}$$

(b) ഒരു സെക്കന്റിൽ പുറത്തുവിടുന്ന ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം N ആണെങ്കിൽ, പ്രകാശകിരണത്തിൽ ലഭ്യമാകുന്ന പവർ P, പ്രതി ഫോട്ടോണിനുള്ള ഊർജത്തിന്റെ N മടങ്ങായിരിക്കും.

അതായത്, $P = NE$

അതിനാൽ,

$$N = \frac{P}{E} = \frac{2.0 \times 10^{-3}\,\text{W}}{3.98 \times 10^{-19}\,\text{J}}$$

$= 5.0 \times 10^{15}$ ഫോട്ടോണുകൾ പ്രതി സെക്കന്റ്

ഉദാഹരണം 11.2

ഉദാഹരണം 11.2 : സീഷിയത്തിന്റെ വർക്ക് ഫങ്ഷൻ 2.14 eV ആണ്. (a) അതിന്റെ ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി എത്ര? (b) 0.60 V സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യൽ കൊടുത്ത് ഫോട്ടോകറന്റ് പൂജ്യമാക്കിയാൽ പതന പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം എന്തായിരിക്കും?

ഉത്തരം:

(a) ത്രെഷോൾഡ്ആവൃത്തിയിൽ, പതനകിരണത്തിന്റെ ഊർജം $(h\nu_0)$ വർക്ക് ഫങ്ഷന് (ϕ_0) തുല്യമായിരിക്കും അതിനാൽ

$$\nu_0 = \frac{\phi_0}{h} \quad \frac{2.14\,\text{eV}}{6.63 \times 10^{-34}\,\text{J s}}$$

$$\frac{2.14 \times 1.6 \times 10^{-19}\,\text{J}}{6.63 \quad 10^{-34}\,\text{J s}} \quad 5.16 \quad 10^{14}\ \text{Hz}$$

ഈ ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തിയേക്കാൾ കുറഞ്ഞ ആവൃത്തിയിലുള്ളതാണ് പതനപ്രകാശമെങ്കിൽ ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണുകളൊന്നും ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്നില്ല.

(b) പുറന്തള്ളപ്പെടുന്ന ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണിന്റെ പരമാവധി ഗതികോർജവും മന്ദീകരണ പൊട്ടൻഷ്യൽ V_0 മൂലമുണ്ടാകുന്ന പൊട്ടൻഷ്യൽ ഊർജം eV_0 യ്ക്ക് തുല്യമായാൽ ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് കറന്റ് പൂജ്യമാകും.

ഐൻസ്റ്റൈന്റെ ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് സമവാക്യം

$$eV_0 = h\nu - \phi_0 = \frac{hc}{\lambda} - \phi_0 \text{ അഥവാ,} \qquad \lambda = hc/(eV_0 + \phi_0)$$

$$= \frac{(6.63 \times 10^{-34}\,\text{J s}) \times (3 \times 10^{8}\,\text{m/s})}{(0.60\,\text{eV} + 2.14\,\text{eV})}$$

$$= \frac{19.89 \times 10^{-26}\,\text{J m}}{(2.74\,\text{eV})}$$

$$\lambda = \frac{19.89 \times 10^{-26}\,\text{J m}}{2.74 \times 1.6 \times 10^{-19}\,\text{J}} = 454\ \text{nm}$$

ഉദാഹരണം 11.3: ദൃശ്യസ്പെക്ട്രത്തിലെ പ്രകാശത്തിലെ വയലറ്റിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം ഏകദേശം 390 nm ഉം മഞ്ഞ - പച്ച നിറങ്ങൾക്ക് (ശരാശരി തരംഗദൈർഘ്യം) 550 nm ഉം ചുവപ്പിന് 760 nm ഉം ആണ്.

(a) ദൃശ്യസ്പെക്ട്രത്തിലെ താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന പ്രകാശനിറങ്ങളുടെ ഫോട്ടോണുകളുടെ ഊർജമെത്ര?

(i) വയലറ്റ് (ii) മഞ്ഞ-പച്ച (ശരാശരി) (iii) ചുവപ്പ്

($h = 6.63\times10^{-34}$ J s ഉം 1 eV = 1.6×10^{-19} J ഉം ആയി എടുക്കുക)

(b) പട്ടിക 11.1 ൽ വർക്ക്ഫങ്ഷനുകൾ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന പ്രകാശസംവേദക വസ്തുക്കളും ചോദ്യം (a)യിലെ (i), (ii), (iii) ഫലങ്ങളും ഉപയോഗിച്ചാൽ, ദൃശ്യപ്രകാശ മേഖലയിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഒരു ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് ഉപകരണം നിർമ്മിക്കാനാകുമോ?

ഉത്തരം:

(a) ഫോട്ടോണിന്റെ ഊർജം, $E = h\nu = hc/\lambda$

$$E=(6.63\times10^{-34}\,\text{Js})(3\times10^{8}\,\text{m/s})/\lambda$$

$$=\frac{1.989\times10^{-25}\,\text{J m}}{\lambda}$$

(i) വയലറ്റ് പ്രകാശത്തിന്, λ_1 = 390 nm (കുറഞ്ഞ തരംഗദൈർഘ്യ അഗ്രം)

പതന ഫോട്ടോൺ ഊർജം $E_1 = \dfrac{1.989\times10^{-25}\,\text{J m}}{390\times10^{-9}\,\text{m}}$

$=5.10\times10^{-19}$ J

$=\dfrac{5.10\times10^{-19}\,\text{J}}{1.6\times10^{-19}\,\text{J/eV}}$

$=3.19$ eV

(ii) മഞ്ഞ-പച്ച പ്രകാശത്തിന്, λ_2 = 550 nm (ശരാശരി തരംഗദൈർഘ്യം)

പതന ഫോട്ടോൺ ഊർജം $E_2 = \dfrac{1.989\times10^{-25}\,\text{J m}}{550\times10^{-9}\,\text{m}}$

$=3.62\times10^{-19}$ J $=2.26$ eV

(iii) ചുവപ്പ് പ്രകാശത്തിന്, λ_3 = 760 nm (ഉയർന്ന തരംഗദൈർഘ്യം)

പതന ഫോട്ടോൺ ഊർജം $E_3 = \dfrac{1.989\times10^{-25}\,\text{J m}}{760\times10^{-9}\,\text{m}}$

$=2.62\times10^{-19}$ J $=1.64$ eV

(b) ഒരു ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് ഉപകരണം പ്രവർത്തിക്കണമെങ്കിൽ, പതനപ്രകാശത്തിന്റെ ഊർജം E പദാർഥത്തിന്റെ വർക്ക്ഫങ്ഷൻ ϕ_0 യ്ക്ക് തുല്യമോ കൂടുതലോ ആയിരിക്കണം. അതിനാൽ, Na (ϕ_0 = 2.75 eV), K (ϕ_0 = 2.30 eV), Cs (ϕ_0 = 2.14 eV) എന്നീ പ്രകാശസംവേദക വസ്തുക്കൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് ഉപകരണങ്ങൾ വയലറ്റ് (E = 3.19 eV ഉള്ള) പ്രകാശത്തിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്നു.

മഞ്ഞ-പച്ച (E = 2.26 eV) പ്രകാശത്തിൽ ഇത് പ്രവർത്തിക്കുന്നത് Cs (ϕ_0 = 2.14 eV) ത്തിന് മാത്രമാണ്. എന്നാൽ ചുവപ്പ് പ്രകാശത്തിൽ (E = 1.64 eV) ഈ പ്രകാശസംവേദക വസ്തുക്കളൊന്നും പ്രവർത്തിക്കുന്നുമില്ല.

11.8 ദ്രവ്യത്തിന്റെ തരംഗസ്വഭാവം (WAVE NATURE OF MATTER)

പ്രകാശത്തിന്റെ ദ്വൈത (തരംഗ-കണിക) സ്വഭാവം (പൊതുവേ വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണങ്ങളുടെ) ഈ അധ്യായത്തിലും മുൻ അധ്യായങ്ങളിലും നിന്നു പഠിച്ച കാര്യങ്ങളിലൂടെ നാം നന്നായി മനസ്സിലാക്കി. ഇന്റർഫെറൻസ്, ഡൈഫ്രാക്ഷൻ, പോളറൈസേഷൻ എന്നീ പ്രതിഭാസങ്ങളിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗസ്വഭാവം കാണാനാവും. മറുവശത്ത്, ഊർജത്തിന്റെയും ആക്കത്തിന്റെയും കൈമാറ്റം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന, ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തിലും കോംപ്റ്റൺ പ്രഭാവത്തിലും, ഒരു കൂട്ടം കണങ്ങളാൽ (ഫോട്ടോണുകൾ) നിർമിക്കപ്പെട്ടപോലെ വികിരണം പ്രവർത്തിക്കുന്നു. ഒരു പരീക്ഷണം മനസ്സിലാക്കുന്നതിനായി ഏറ്റവും അനുയോജ്യമായത് കണികാസിദ്ധാന്തമാണോ അഥവാ തരംഗസിദ്ധാന്തമാണോ എന്നത് പരീക്ഷണത്തിന്റെ സ്വഭാവത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന്, നമ്മുടെ കണ്ണുകൾ കൊണ്ട് ഒരു വസ്തുവിനെ കാണുക എന്ന പ്രതിഭാസത്തിൽ, ഈ രണ്ടു സിദ്ധാന്തങ്ങളും പ്രധാനമാണ്. കണ്ണിന്റെ ലെൻസിലൂടെ പ്രകാശം ശേഖരിക്കുന്നതും കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നതും തരംഗചിത്രത്തിൽ നന്നായി വിവരിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. എന്നാൽ, റോഡ്, കോൺ കോശങ്ങളുടെ (റെറ്റിനയുടെ) പ്രകാശ ആഗിരണത്തിന് പ്രകാശത്തിന്റെ ഫോട്ടോൺ ചിത്രം ആവശ്യമാണ്.

ഇവിടെ സ്വാഭാവികമായി ഒരു ചോദ്യം ഉയർന്നുവരും. വികിരണത്തിന് ഒരു ദ്വൈത (തരംഗകണിക) സ്വഭാവമുണ്ടെങ്കിൽ, പ്രകൃതിയിലെ കണികകളും (ഇലക്ട്രോണുകൾ, പ്രോട്ടോണുകൾ മുതലായവ) എന്തുകൊണ്ട് തരംഗങ്ങളെ പോലെയുള്ള സ്വഭാവങ്ങൾ പ്രകടിപ്പിക്കുന്നില്ല? 1924ൽ, ഫ്രഞ്ച് ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞനായ ലൂയിവിക്ടർ ദെ ബ്രോയി (1892-1987), ദ്രവ്യത്തിന്റെ ചലിക്കുന്ന കണങ്ങൾ അനുയോജ്യമായ സാഹചര്യങ്ങളിൽ തരംഗങ്ങളെ പോലുള്ള സ്വഭാവങ്ങൾ കാണിക്കുന്നുവെന്ന അനുമാനം മുന്നോട്ട് വെച്ചു. പ്രകൃതി പ്രതിസാമ്യത ഇഷ്ടപ്പെടുന്നുവെന്നും, രണ്ട് അടിസ്ഥാന ഭൗതിക വസ്തുതകളായ ദ്രവ്യത്തിനും ഊർജത്തിനും സമമിതി സ്വഭാവമുണ്ടായിരിക്കണമെന്നും അദ്ദേഹം വാദിച്ചു. വികിരണം ദ്വൈതസ്വഭാവം കാണിക്കുന്നുണ്ടെങ്കിൽ, ദ്രവ്യവും അങ്ങനെതന്നെയാവണം. p ആക്കമുള്ള കണികകളുടെ തരംഗ ദൈർഘ്യം (λ) താഴെ പറയും പ്രകാരത്തിലായിരിക്കുമെന്ന് ദെ ബ്രോയ് നിർദേശിച്ചു.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\,\mathrm{v}} \qquad (11.5)$$

ഇവിടെ, m കണത്തിന്റെ മാസും, v അതിന്റെ വേഗവുമാണ്. സമവാക്യം (11.5) ദെ ബ്രോയ് ബന്ധം എന്നും ദ്രവ്യതരംഗത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം λ ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യമെന്നും അറിയപ്പെടുന്നു. ദെ ബ്രോയ് ബന്ധത്തിൽ ദ്രവ്യത്തിന്റെ ദ്വൈത സ്വഭാവം വളരെ വ്യക്തമാണ്. സമവാക്യം (11.5) ന്റെ ഇടത് വശത്തുള്ള λ എന്നത് തരംഗത്തിന്റെ സവിശേഷതയും, എന്നാൽ വലതുഭാഗത്തുള്ള ആക്കം (p) കണത്തിന്റെ സവിശേഷതയുമാണ്. പ്ലാങ്ക് സ്ഥിരാങ്കം h ഈ രണ്ട് ഗുണങ്ങളെയും പരസ്പരം ബന്ധിപ്പിക്കുന്നു. ഒരു ദ്രവ്യകണത്തെ സംബന്ധിച്ചുള്ള അടിസ്ഥാനപരമായ ഒരു ആശയം മാത്രമാണ്, സമവാക്യം (11.5). പരീക്ഷണത്തിലൂടെ മാത്രമേ അതിന്റെ സാധുത പരിശോധിക്കാനാകൂ. എന്നാൽ ഫോട്ടോണിൽ ഇത് തൃപ്തികരമായി പാലിക്കപ്പെടുന്നുവെന്നു കാണാം. ഒരു ഫോട്ടോണിന്, നാം കണ്ടതുപോലെ,

$$p = h\nu / c \qquad (11.6)$$

അതിനാൽ,

$$\frac{h}{p} = \frac{c}{\nu} = \lambda \qquad (11.7)$$

അതായത്, സമവാക്യം (11.5) നൽകുന്ന ഫോട്ടോണിന്റെ ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യത്തിന് തുല്യമാണ്, ഇവിടെ

ഫോട്ടോസെൽ (PHOTOCELL)

ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തിന്റെ സാങ്കേതികമായ ഒരു പ്രയോഗമാണ് ഫോട്ടോസെൽ. വൈദ്യുത ഗുണങ്ങൾ പ്രകാശത്താൽ സ്വാധീനിക്കപ്പെടുന്ന ഒരു ഉപകരണമാണിത്. ചിലപ്പോൾ, അതിനെ വൈദ്യുത നേത്രമെന്നും വിളിക്കാറുണ്ട്. വായു നീക്കം ചെയ്ത ഒരു ഗ്ലാസ്/ക്വാർട്സ് ബൾബിൽ സജ്ജീകരിച്ച അർധ വൃത്താകൃതിയിലുയുള്ള പ്രകാശസംവേദിയായ ഒരു ലോഹപ്ലേറ്റ് C യും (എമിറ്റർ) ഒരു ചാലക വലയം A യും (കളക്ടർ) ഉൾപ്പെടുന്നതാണ് ഫോട്ടോസെൽ. ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചതുപോലെ, അതിനെ ഒരു ഉയർന്ന വോൾട്ടതയുള്ള ബാറ്ററി B യുമായും ഒരു മൈക്രോ അമ്മീറ്ററുമായും (μA) ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. ചിലപ്പോൾ, പ്ലേറ്റ് C യ്ക്കു പകരം, പ്രകാശ സംവേദിയായ പദാർഥത്തിന്റെ കനം കുറഞ്ഞ ഒരു പാളി ബൾബിനകത്ത് ഒട്ടിച്ചിട്ടുണ്ടാകും. പ്രകാശം കടന്നു പോകത്തക്കവിധം ബൾബിന്റെ ഒരു ഭാഗം വൃത്തിയാക്കി വെച്ചിരിക്കും.

അനുയോജ്യമായ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള പ്രകാശം എമിറ്റർ C യിൽ പതിക്കുമ്പോൾ, ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്നു. ഈ ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രോണുകൾ കളക്ടർ A യിലേക്ക് നീങ്ങുന്നു. സാധാരണഗതിയിൽ ഒരു ഫോട്ടോസെല്ലിൽ നിന്നും ലഭിക്കുന്നത് ഏതാനും മൈക്രോ ആമ്പിയർ തോതിലുള്ള ഫോട്ടോ കറന്റാണ്.

ഫോട്ടോസെൽ

പ്രകാശ തീവ്രതയുടെ മാറ്റം ഫോട്ടോകറന്റിന്റെ മാറ്റമായി ഫോട്ടോസെൽ രൂപാന്തരപ്പെടുത്തുന്നു. ഈ കറന്റ് ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നത് നിയന്ത്രണ സംവിധാനങ്ങളും പ്രകാശം അളക്കുന്ന ഉപകരണങ്ങളും പ്രവർത്തിപ്പിക്കുന്നതിനാണ്. ഇലക്ട്രോണിക് ജ്വലന സെർക്കീട്ടുകളിൽ ഇൻഫ്രാറെഡ് വികിരണങ്ങളോട് സംവേദിയായ ലെഡ് സൾഫൈഡുള്ള ഫോട്ടോസെൽ ഉപയോഗിക്കുന്നു. ശാസ്ത്രീയ പഠനത്തിന്റെ ഭാഗമായി പ്രകാശ തീവ്രത അളക്കേണ്ടിടത്തും ഫോട്ടോസെല്ലുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു.

ഫോട്ടോഗ്രാഫിക് ക്യാമറയിലെ പ്രകാശ മീറ്ററുകൾ ഫോട്ടോസെല്ലുകൾ ഉപയോഗിച്ചാണ് പതനപ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത അളക്കുന്നത്. വാതിലുകൾ തനിയെ തുറക്കുന്നതിനായി ഡോർലൈറ്റ് വൈദ്യുത സെർക്കീട്ടിൽ ഫോട്ടോസെല്ലുകൾ ഉൾപ്പെടുത്തുന്നു. വാതിലിനടുത്തേക്കു വരുന്ന ഒരാൾ ഫോട്ടോസെല്ലിൽ പതിക്കുന്ന പ്രകാശത്തെ തടസ്സപ്പെടുത്തുകയാണ് ചെയ്യുന്നത്. ഫോട്ടോകറന്റിലെ പെട്ടെന്നുള്ള മാറ്റം വാതിൽ തുറക്കുന്നതിനായി ഒരു മോട്ടോർ പ്രവർത്തിക്കുന്നതിനോ ഒരു അലാറം അടിക്കുന്നതിനോ കാരണമാകുന്നു. ഒരു വ്യക്തിയോ ഒരു വസ്തുവോ പ്രകാശരശ്മിക്ക് കുറുകെ സഞ്ചരിക്കുന്നത് കാരണം പ്രകാശത്തിനുണ്ടാകുന്ന ഓരോ തടസവും രേഖപ്പെടുത്തുന്ന ഒരു എണ്ണൽ ഉപകരണത്തിന്റെ പ്രധാന ഭാഗമായും അവ ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നുണ്ട്. ഒരു ഓഡിറ്റോറിയത്തിലേക്ക് ഓരോരുത്തരായിട്ടാണ് ആളുകൾ പ്രവേശിക്കുന്നതെങ്കിൽ അവരെ എണ്ണാൻ ഈ ഫോട്ടോസെല്ലുകൾ സഹായിക്കുന്നു.

ഒരു വികിരണ (അദൃശ്യ) പ്രകാശത്തെ തടസ്സപ്പെടുത്തുമ്പോൾ ഒരു അലാറം അടിച്ചു കൊണ്ട് ട്രാഫിക് നിയമലംഘനങ്ങൾ കണ്ടെത്താൻ ഇവ ഉപയോഗിക്കുന്നു. കള്ളന്മാർക്കുള്ള അലാറത്തിൽ, വാതിലിലേക്കുള്ള വഴിയിൽ സ്ഥാപിച്ചിട്ടുള്ള ഫോട്ടോ സെല്ലിൽ (അദൃശ്യമായ) അൾട്രാവയലറ്റ് പ്രകാശം തുടർച്ചയായി പതിപ്പിക്കുന്നു. വാതിലിലൂടെ പ്രവേശിക്കുന്ന ഒരാൾ ഫോട്ടോസെല്ലിൽ വീണുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന പ്രകാശത്തെ തടസ്സപ്പെടുത്തുന്നു. ഫോട്ടോകറന്റിലെ പെട്ടെന്നുള്ള മാറ്റം ഒരു വൈദ്യുതബെൽ പ്രവർത്തിപ്പിക്കുന്നതിനായി ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഫയർ അലാറത്തിൽ, കെട്ടിടത്തിലെ അനുയോജ്യ സ്ഥലങ്ങളിൽ നിരവധി ഫോട്ടോസെല്ലുകൾ സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നു. തീപിടുത്തമുണ്ടാകുമ്പോൾ, ഫോട്ടോസെല്ലിൽ പ്രകാശം പതിക്കുന്നു. ഇത് അപകട സിഗ്നലുകൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ഒരു സൈറൺ/ഇലക്ട്രിക് ബെൽ വഴിയുള്ള ഒരു വൈദ്യുത സെർക്കീട്ട് പൂർത്തിയാക്കുന്നു. ചലച്ചിത്രങ്ങളിൽ ശബ്ദം പുനരുൽപ്പാദിപ്പിക്കാനും, ദൃശ്യങ്ങൾ ഒപ്പിയെടുക്കാനും സംപ്രേഷണം ചെയ്യാനുമുള്ള ടെലിവിഷൻ ക്യാമറയിലും ഫോട്ടോസെല്ലുകൾ ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നു. വ്യവസായശാലകളിൽ ലോഹപാളികളിലെ വിള്ളലുകളും സുഷിരങ്ങളും തിരിച്ചറിയാൻ ഇവ ഉപയോഗിക്കുന്നു.

ഫോട്ടോൺ എന്നത് ഊർജത്തിന്റെയും ആക്കത്തിന്റെയും ഒരു ക്വാണ്ടമാണ്. വളരെ ഭാരമേറിയതോ (കൂടിയ m) കൂടുതൽ ഊർജമേറിയതോ (കൂടിയ v) ആയ കണികയ്ക്ക് λ താരതമ്യേന ചെറുതാണെന്നതാണ് സമവാക്യം (11.5) ൽ നിന്ന് വ്യക്തമാകുന്നത്. ഇത് മനസ്സിലാക്കുന്നതിനായി, 0.12 kg മാസും 20 m s $^{-1}$ വേഗതയും ഉള്ള ഒരു പന്തിന്റെ ഡെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം കണക്കാക്കി നോക്കാം.

ലൂയി വിക്ടർ ദെ ബ്രോയ് (1892 – 1987)
ദ്രവ്യത്തിന്റെ തരംഗസ്വഭാവമെന്ന വിപ്ലവകരമായ ആശയം മുന്നോട്ടുവെച്ച ഫ്രഞ്ച് ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞൻ. പൊതുവേ തരംഗബലതന്ത്രം എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഒരു പരിപൂർണ ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്ര സിദ്ധാന്തമായി ഈ ആശയത്തെ വികസിപ്പിച്ചത് എർവിൻ ഷ്രോഡിംഗർ ആയിരുന്നു. 1929ൽ, ഇലക്ട്രോണുകളുടെ തരംഗസിദ്ധാന്തത്തിന്റെ കണ്ടെത്തലിന് ദെ ബ്രോയിക്ക് നോബെൽ സമ്മാനം ലഭിച്ചു.

$$p = mv = 0.12\ \text{kg} \times 20\ \text{m s}^{-1} = 2.40\ \text{kg m s}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{J s}}{2.40\ \text{kg m s}^{-1}} = 2.76 \times 10^{-34}\ \text{m}$$

ഈ തരംഗദൈർഘ്യം അളക്കാനാവാത്തത്ര ചെറുതാണ്. ദൈനംദിന ജീവിതത്തിൽ സ്ഥൂല വസ്തുക്കൾ എന്തുകൊണ്ട് തരംഗ സ്വഭാവം കാണിക്കുന്നില്ല എന്നതിന്റെ കാരണമിതാണ്. മറുവശത്ത്, സൂക്ഷ്മ കണങ്ങളുടെ തരംഗഭാവം പ്രബലവും അളക്കാവുന്നതുമാണ്. ഒരു ഇലക്ട്രോണിന് (മാസ് m, ചാർജ് e) നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ നിന്ന് V-പൊട്ടൻഷ്യലിലൂടെ ഒരു ത്വരണമുണ്ടാകുന്നതായി പരിഗണിക്കുക. ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഗതികോർജം K വൈദ്യുത മണ്ഡലം അതിന്മേൽ ചെയ്ത പ്രവൃത്തിയ്ക്ക് (eV) തുല്യമാണ്:

$$K = eV \qquad (11.8)$$

ഇപ്പോൾ, $K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{p^2}{2m}$ ആയതിനാൽ

$$p = \sqrt{2\ m\ K} = \sqrt{2\ m\ eV} \qquad (11.9)$$

അതിനാൽ, ഇലക്ട്രോണിന്റെ ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം λ,

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2\ mK}} = \frac{h}{\sqrt{2\ meV}} \qquad (11.10)$$

h, m, e എന്നിവയുടെ മൂല്യങ്ങൾ സമവാക്യത്തിൽ ആരോപിച്ചാൽ,

$$\lambda = \frac{1.227}{\sqrt{V}}\ \text{nm} \qquad (11.11)$$

ഇതിൽ, V ത്വരണപൊട്ടൻഷ്യലിന്റെ അളവാണ് (വോൾട്ടിൽ). 120 V ത്വരണ പൊട്ടൻഷ്യലിൽ സമവാക്യം (11.11) അനുസരിച്ച് λ = 0.112 nm എന്ന് കിട്ടും. ഈ തരംഗദൈർഘ്യം ക്രിസ്റ്റലുകളിലെ ആറ്റോമിക പ്രതലങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള അകലത്തിന്റെ അതേ തോതിലുള്ളതാണ്. ഒരു ഇലക്ട്രോണുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ദ്രവ്യതരംഗങ്ങളെ എക്സ്റേ ഡൈഫ്രാക്ഷനു സമാനമായ ക്രിസ്റ്റൽ ഡൈഫ്രാക്ഷൻ പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ കണ്ടെത്താം. ദെ ബ്രോയ് പരികൽപ്പനയുടെ പരീക്ഷണ സ്ഥിരീകരണം അടുത്ത ഭാഗത്തിൽ വിവരിക്കുന്നുണ്ട്. 1929 ൽ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ തരംഗ സ്വഭാവം കണ്ടെത്തിയതിന് ദെ ബ്രോയ് നൊബേൽ സമ്മാനത്തിന് അർഹനായി. ദ്രവ്യ തരംഗ ചിത്രം ഹൈസൻബർഗിന്റെ അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തത്തിൽ ഉൾപ്പെടുത്താനാകും. അനിശ്ചിതത്വ സിദ്ധാന്തമനുസരിച്ച് ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ (അഥവാ മറ്റേതെങ്കിലും കണത്തിന്റെ) സ്ഥാനവും ആക്കവും ഒരേ സമയം കൃത്യമായി കണക്കാക്കാൻ സാധ്യമല്ല. സ്ഥാനം വ്യക്തമാക്കുന്നതിൽ ചില അനിശ്ചിതത്വവും (Δx) ആക്കം വ്യക്തമാക്കുന്നതിൽ ചില അനിശ്ചിതത്വവും (Δp) എല്ലായ്പ്പോഴും ഉണ്ട്. Δx ന്റെയും Δp യുടെയും ഗുണനഫലം $\hbar$ ന്റെ മാത്രയിലാണ് ഉള്ളത്.

(ഇവിടെ $\hbar = h/2\pi$)

അതായത്, $\Delta x\, \Delta p \approx \hbar$ (11.12)

11.12 എന്ന സമവാക്യത്തിൽ Δx ന്റെ മൂല്യം പൂജ്യമാകാനുള്ള സാധ്യത അനുവദനീയമാക്കിയാൽ ഗുണനഫലം പൂജ്യമല്ലാതിരിക്കത്തക്ക വിധം Δp അനന്തമായിരിക്കണം. അതുപോലെ, Δp പൂജ്യമായാൽ, Δx അനന്തമായിരിക്കണം. സാധാരണയായി, Δx ഉം Δp യും പൂജ്യമല്ലാതിരിക്കുകയും അവയുടെ ഗുണനഫലം $\hbar$ ന്റെ മാത്രയിലുള്ളതുമായിരിക്കും.

ഒരു ഇലക്ട്രോണിന് നിയതമായ ആക്കം (p) മുണ്ടെങ്കിൽ, (അതായത്, Δp = 0), ദെ

ബ്രോയ് സമവാക്യ പ്രകാരം, ഒരു നിശ്ചിത തരംഗദൈർഘ്യം λ ഉണ്ടാവുന്നതാണ്. ഈ നിശ്ചിത (ഒറ്റ) തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള തരംഗം സ്പേസിലാകെ വ്യാപിച്ചു കിടക്കും. ഈ ആശയം ബോണിന്റെ (പ്രോബബിലിറ്റി) വ്യാഖ്യാനത്തിലൂടെ വിശകലനം ചെയ്യുമ്പോൾ നിശ്ചിത സ്ഥലപരിധിയിൽ മാത്രം ഒരു ഇലക്ട്രോണിനെ ഒതുക്കുവാൻ കഴിയില്ലായെന്ന് കാണാം. അതായത് അതിന്റെ സ്ഥാനത്തിലെ അനിശ്ചിതത്വം അനന്തമാണ് ($\Delta x \to \infty$), ഇത് അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തവുമായി പൊരുത്തപ്പെട്ടുപോകുന്നതാണ്.

ചിത്രം 11.6 (a) ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ തരംഗ പായ്ക്കറ്റ് വിശദീകരണം ചില മധ്യതരംഗദൈർഘ്യത്തിന് ചുറ്റുമായി വ്യാപിച്ചു കിടക്കുന്ന ഒരു കൂട്ടം തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളാണ് തരംഗ പായ്ക്കറ്റ് തത്ഫലമായി അതുമായി ബന്ധപ്പെട്ട സ്ഥാനം (Δx)ൽ ഒരു അനിശ്ചിതത്വവും, ആക്കം (Δp) യിൽ ഒരു അനിശ്ചിതത്വവുമുണ്ട്.

(b) സ്പേസ് മുഴുവൻ വ്യാപിച്ച് കിടക്കുന്ന ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ നിശ്ചിത ആക്കത്തിന് അനുരൂപമായ ദ്രവ്യതരംഗം. ഇവിടെ $\Delta x \to \infty$ യിൽ $\Delta p = 0$

പൊതുവേ, ഇലക്ട്രോണിനോട് ബന്ധപ്പെട്ട ദ്രവ്യതരംഗം മറ്റെല്ലാ സ്ഥലങ്ങളിലും വ്യാപിച്ചു കിടക്കുന്നതായി കാണുന്നില്ല. ഒരു നിശ്ചിത സ്ഥല പരിധിക്കുള്ളിൽ വ്യാപിച്ചുകിടക്കുന്ന ഒരു തരംഗ പാക്കറ്റാണിത്. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ Δx അനന്തമല്ല, തരംഗ പാക്കറ്റിന്റെ വ്യാപനം ആശ്രയിച്ച് അതിന് നിശ്ചിത മൂല്യമുണ്ട്. കൂടാതെ, പരിമിതമായ വ്യാപനമുള്ള തരംഗപായ്ക്കറ്റിന് ഒറ്റ തരംഗദൈർഘ്യമില്ലായെന്ന് തിരിച്ചറിയുകയും വേണം. ചില മധ്യതരംഗദൈർഘ്യത്തിന് അടുത്തു കിടക്കുന്ന തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളാലാണ് ഇത് നിർമിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത്.

ദെ ബ്രോയി സമവാക്യം മൂലം, ഇലക്ട്രോണിന്റെ ആക്കത്തിനും ഒരു വ്യാപനം ഉണ്ടാകും - അതായത് ഒരു Δp അനിശ്ചിതത്വം. ഇത് അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തത്തിൽ നിന്ന് പ്രതീക്ഷിക്കുന്നതു തന്നെയാണ്. ഇലക്ട്രോണിനെ സംബന്ധിക്കുന്ന ദെ ബ്രോയ് സമവാക്യവും, ബോണിന്റെ സംഭാവ്യതാ വ്യാഖ്യാനവും ചേർത്ത് ഹൈസെൻബർഗിന്റെ അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തത്തെ കൃത്യമായി പുനർവ്യാഖ്യാനം ചെയ്യുന്നതായി തെളിയിക്കാനാകും.

12-ാം അദ്ധ്യായത്തിൽ ഒരു ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ കോണീയ ആക്കത്തിന്റെ ക്വാണ്ടൈസേഷനുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ബോറിന്റെ അടിസ്ഥാനതത്വം ദെ ബ്രോയ് ബന്ധത്തെ ന്യായീകരിക്കുന്നതായി കാണാം.

(a) ഒരു പ്രാദേശികവത്കൃത തരംഗ പാക്കറ്റ്, (b) നിശ്ചിത തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വിപുലീകൃത തരംഗം എന്നിവയുടെ വ്യവസ്ഥാപിത ചിത്രങ്ങൾ ചിത്രം 11.6 കാണിക്കുന്നു.

ഉദാഹരണം 11.4

ഉദാഹരണം 11.4: താഴെ കൊടുത്തിട്ടുള്ളവയുടെ ദെ ബ്രോയി തരംഗദൈർഘ്യം എന്ത്?

(a) 5.4×10^{6} m/s വേഗതയിൽ നീങ്ങുന്ന ഇലക്ട്രോൺ

(b) 150 g മാസുള്ളതും 30.0 m/s വേഗതയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നതുമായ ഒരു പന്ത്

ഉത്തരം:

(a) ഇലക്ട്രോണിന്: മാസ് $m = 9.11\times10^{-31}$ kg, വേഗത $= 5.4\times10^{6}$ m/s.

അതിനാൽ, ആക്കം $p = mv = 9.11\times10^{-31}$ (kg) $\times 5.4\times10^{6}$ (m/s)

$p = 4.92\times10^{-24}$ kg m/s

ദെ ബ്രോയി തരംഗദൈർഘ്യം, $\lambda = h/p$

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\ \text{J s}}{4.92\times10^{-24}\ \text{kg m/s}} = 1.35\times10^{-10}\text{m} = 0.135\ \text{nm}$$

ഉദാഹരണം 11.4

(b) പന്തിന്:

മാസ് $m' = 0.150$ kg, വേഗത $v' = 30.0$ m/s.

അതിനാൽ, ആക്കം $p' = m'v' = 0.150$ (kg) × 30.0 (m/s) $p' = 4.50$ kg m/s

ദെ ബ്രോയി തരംഗദൈർഘ്യം, $\lambda' = h/p'$.

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \mathrm{J\,s}}{4.50 \times\ \mathrm{kg\,m/s}}$$

$$\lambda' = 1.47 \times 10^{-34}\ \mathrm{m}$$

ഇലക്ട്രോണിന്റെ ദെ ബ്രോയി തരംഗദൈർഘ്യം x- തരംഗങ്ങളുടേതിന് സാമ്യമുള്ളതാണ്. എന്നാൽ, പന്തിന്റേത് പ്രോട്ടോണിന്റേതിന്റെ 10^{-19} ഭാഗമാണ്, പരീക്ഷണത്തിലൂടെ അളക്കാവുന്നതിനപ്പുറമാണിത്.

ഉദാഹരണം 11.5

ഉദാഹരണം 11.5: ഒരു ഇലക്ട്രോൺ, ഒരു പ്രോട്ടോൺ, ഒരു ആൽഫാ കണം എന്നിവയ്ക്ക് ഒരേ ഗതികോർജമാണുള്ളത്. ഇതിൽ ഏത് കണികയ്ക്കാണ് ഏറ്റവും കുറവ് തരംഗദൈർഘ്യമുണ്ടായിരിക്കുന്നത്?

ഉത്തരം:

ഒരു കണികയുടെ ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം, $\lambda = h/p$

ഗതികോർജം $K = p^2/2m$

അതിനാൽ, $\lambda = h/\sqrt{2mK}$

ഒരേ ഗതികോർജം K ആണുള്ളതെങ്കിൽ, കണികയുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം അവയുടെ മാസിന്റെ വർഗമൂലത്തിന് വിപരീതാനുപാതത്തിലായിരിക്കും.

ഒരു പ്രോട്ടോൺ $\left({}^1_1\mathrm{H}\right)$ ഇലക്ട്രോണിനേക്കാൾ 1836 മടങ്ങ് മാസുള്ളതും, ഒരു α–കണം $\left({}^4_2\mathrm{He}\right)$ പ്രോട്ടോണിനേക്കാൾ നാലു മടങ്ങ് മാസുള്ളതുമാണ്. അതിനാൽ, α കണത്തിനാണ് ഏറ്റവും ചെറിയ ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യമുള്ളത്.

ദ്രവ്യതരംഗത്തിന്റെ സാധ്യതാ വിശകലനം

ഒരു കണികയുമായി (ഇലക്ട്രോൺ) ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന ദ്രവ്യതരംഗമെന്തെന്നതിനെക്കുറിച്ചുള്ള ചോദ്യത്തിനുത്തരം കണ്ടെത്താനാണ് ഇവിടെ ഉദ്ദേശിക്കുന്നത്. യഥാർത്ഥത്തിൽ, ദ്രവ്യത്തിന്റെയും വികിരണത്തിന്റെയും ദ്വൈതസ്വഭാവത്തെക്കുറിച്ച് തൃപ്തികരമായ ഒരു ബോധ്യപ്പെടൽ ഇതുവരെ ഉരുത്തിരിഞ്ഞിട്ടില്ല. ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്രത്തിന്റെ ആവിഷ്കർത്താക്കൾ (നീൽസ് ബോർ, ആൽബർട്ട് ഐൻസ്റ്റൈൻ തുടങ്ങിയവർ) ഇതുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ആശയങ്ങൾ വിശദീകരിക്കാൻ ഏറെക്കാലം ബുദ്ധിമുട്ടിയിട്ടുണ്ട്. ഇപ്പോഴും, ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്രത്തിന്റെ ആഴത്തിലുള്ള ഭൗതിക വിശകലനം സജീവമായ ഒരു ഗവേഷണ മേഖലയാണ്. എന്നിരുന്നാലും, ഒരു കണികയുമായി ബന്ധപ്പെടുന്ന ദ്രവ്യതരംഗമെന്ന ആശയം ഗണിതപരമായി വിജയപ്രദമായി അവതരിപ്പിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. ഇതുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഒരു സുപ്രധാന നാഴികക്കല്ല്, മാക്സ് ബോൺ (1882-1970) ദ്രവ്യതരംഗ ആയതിയുടെ സംഭാവ്യതാ വിശകലനം (probability interpretation) നിർദ്ദേശിച്ചതായിരുന്നു. ഇതനുസരിച്ച്, ഒരു നിശ്ചിത സ്ഥാനത്തെ ദ്രവ്യതരംഗത്തിന്റെ തീവ്രത (ആയതിയുടെ വർഗം), കണികയുടെ ആ സ്ഥലത്തെ സംഭാവ്യതാ സാന്ദ്രതയെ (probability density) നിശ്ചയിക്കുന്നു. സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതയെന്നത് യൂണിറ്റ് ഉള്ളളവിലെ സംഭാവ്യതയാണ്. അതായത്, A ഒരു നിശ്ചിത ബിന്ദുവിലുള്ള തരംഗത്തിന്റെ ആയതി ആയാൽ $A^2 \Delta V$ എന്നത് ΔV എന്ന വളരെ ചെറിയ ഉള്ളളവിൽ കണത്തെ കാണാനുള്ള സംഭാവ്യത ആയിരിക്കും. അതുകൊണ്ട്, ചില മേഖലയിൽ ദ്രവ്യതരംഗത്തിന്റെ തീവ്രത വളരെക്കൂടുതലാണെങ്കിൽ, തീവ്രത കുറവുള്ളിടത്തേക്കാൾ കണികയെ കണ്ടെത്തുവാനുള്ള സാധ്യതയും അവിടെ കൂടിയിരിക്കും.

ഉദാഹരണം 11.6

ഉദാഹരണം 11.6: ഒരു കണിക ഇലക്ട്രോണിനേക്കാൾ മൂന്ന് മടങ്ങ് വേഗതയിൽ നീങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ആ കണികയുടെയും ഇലക്ട്രോണിന്റെയും ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള അനുപാതം 1.813×10^{-4} ആണ്. കണികയുടെ മാസ് കണക്കാക്കുക. ഇത് ഏത് കണികയായിരിക്കും?

ഉത്തരം:

ഒരു m മാസും v വേഗതയുമുള്ള കണികയുടെ ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

മാസ്, $m = h/(\lambda v)$

ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്, മാസ് $m_e = h/(\lambda_e v_e)$

തന്നിരിക്കുന്നത്, $v/v_e = 3$

$\lambda/\lambda_e = 1.813\times10^{-4}$

അതിനാൽ, കണികയുടെ മാസ്

$$m = m_e\left(\frac{\lambda_e}{\lambda}\right)\left(\frac{v_e}{v}\right)$$

$m = (9.11\times10^{-31}\ \text{kg})\times(1/3)\times(1/1.813\times10^{-4})$

$m = 1.675\times10^{-27}\ \text{kg}$.

അതിനാൽ, ഈ കണിക ഒരു പ്രോട്ടോണോ ന്യൂട്രോണോ ആകാം.

ഉദാഹരണം 11.7

ഉദാഹരണം 11.7: 100 V പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസത്തിൽ ത്വരണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന ഒരു ഇലക്ട്രോണുമായി ബന്ധപ്പെട്ടുള്ള ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം എത്ര?

ത്വരണ പൊട്ടൻഷ്യൽ V = 100 V.

ദെ ബ്രോയി തരംഗദൈർഘ്യം,

$$\lambda = h/p = \frac{1.227}{\sqrt{V}}\ \text{nm}$$

$$\lambda = \frac{1.227}{\sqrt{100}}\ \text{nm} = 0.123\ \text{nm}$$

ഇവിടെ ഇലക്ട്രോണുമായി ബന്ധപ്പെട്ടുകിടക്കുന്ന ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം കിരണത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യത്തിന് സമാനമാണ്.

11.9 ഡേവിസൺ ജെർമർ പരീക്ഷണം (DAVISSON AND GERMER EXPERIMENT)

ഇലക്ട്രോണുകളുടെ തരംഗസ്വഭാവം ആദ്യമായി പരീക്ഷണത്തിലൂടെ സ്ഥിരീകരിച്ചത് 1927ൽ സി.ജെ. ഡേവിസൺ, എൽ.എച്ച്. ജെർമെർ എന്നിവരാണ്. ഇലക്ട്രോൺ കിരണങ്ങൾക്ക് ക്രിസ്റ്റലുകളിൽ ഉണ്ടാകുന്ന ഡൈഫ്രാക്ഷൻ പ്രഭാവങ്ങൾ നിരീക്ഷിച്ച ജി.പി. തോംസണും 1928ൽ ഇത് സ്വതന്ത്രമായി സ്ഥിരീകരിക്കുകയുണ്ടായി. ക്രിസ്റ്റലുകളിലുണ്ടാകുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഡൈഫ്രാക്ഷൻ പരീക്ഷണത്തിലൂടെ കണ്ടുപിടിച്ചതിന് 1937 ൽ ഡേവിസൺ, തോംസൺ എന്നിവർ നോബെൽ സമ്മാനം പങ്കിട്ടു.

ഡേവിസൺ, ജെർമർ എന്നിവർ ഉപയോഗിച്ച പരീക്ഷണസംവിധാനത്തിന്റെ രേഖാചിത്രം 11.7 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ബേരിയം ഓക്സൈഡ് പൂശിയിട്ടുള്ളതും കുറഞ്ഞ വോൾട്ടേജ് പവർ സപ്ലൈ (L.T. അല്ലെങ്കിൽ ബാറ്ററി) ഉപയോഗിച്ച് ചൂടാക്കുവാൻ കഴിയുന്നതുമായ ഒരു ടങ്സ്റ്റൺ ഫിലമെന്റ് F ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ഇലക്ട്രോൺ ഗൺ ആണിതിലു

ചിത്രം 11.7 ഡേവിസൺ - ജർമ്മൻ ഇലക്ട്രോൺ വിസരണ പരീക്ഷണ സംവിധാനം

ള്ളത്. ഫിലമെന്റ് പുറത്തുവിടുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളെ അനുയോജ്യമായ ഉയർന്ന വോൾട്ടത ഉപയോഗിച്ച് ത്വരണം ചെയ്യിച്ച് ഒരു നിശ്ചിത പ്രവേഗത്തിലേക്ക് എത്തിക്കുന്നു. അക്ഷത്തിലൂടെ നിർമിച്ചിരിക്കുന്ന സൂക്ഷ്മമായ സുഷിരങ്ങളുള്ള ഒരു സിലിണ്ടറിലൂടെ അവയെ കടത്തിവിട്ട്, നന്നായി ഫോക്കസ് ചെയ്യപ്പെട്ട ഒരു ഇലക്ട്രോൺ ബീം ഉണ്ടാക്കുന്നു. ഒരു നിക്കൽ ക്രിസ്റ്റലിന്റെ പ്രതലത്തിൽ ഈ ബീമിനെ വീഴാൻ അനുവദിക്കുന്നു. ക്രിസ്റ്റലിലെ ആറ്റങ്ങളാൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ എല്ലാ ദിശകളിലേക്കും ചിതറപ്പെടുന്നു. ഒരു നിശ്ചിത ദിശയിൽ ചിതറുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ബീമിന്റെ തീവ്രത ഇലക്ട്രോൺ ഡിറ്റക്ടർ (കളക്ടർ) ഉപയോഗിച്ച് കണക്കാക്കാം. വൃത്താകൃതിയിലുള്ള ഒരു സ്കെയിലിൽ നീക്കാൻ കഴിയുന്ന ഈ ഡിറ്റക്ടറിനെ നല്ല സംവേദനക്ഷമതയുള്ള ഒരു ഗാൽവനോമീറ്ററുമായി ബന്ധിപ്പിച്ച് കറന്റ് അളക്കുന്നു. ഗാൽവനോമീറ്ററിലെ വ്യതിയാനം കളക്ടറിൽ പ്രവേശിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോൺ കിരണത്തിന്റെ തീവ്രതയ്ക്ക് ആനുപാതികമാണ്. വായു നീക്കം ചെയ്ത ഒരു അറയിലാണ് ഈ ഉപകരണം സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നത്. വിവിധ സ്ഥാനങ്ങളിലേക്ക് വൃത്താകൃതിയിലുള്ള സ്കെയിലിലൂടെ ഡിറ്റക്ടർ നീക്കുന്നതിലൂടെ, വിവിധ വിസരണകോണളവുകൾക്ക് (θ പതന, വിസരിത രശ്മികൾക്കിടയിലുള്ള കോണളവ്) അനുസരിച്ച് ചിതറിയ ഇലക്ട്രോൺ രശ്മിയുടെ തീവ്രത അളക്കുന്നു. അങ്ങനെ വിസരണകോൺ θയ്ക്കും വ്യത്യസ്ത ത്വരണ വോൾട്ടേജുകൾക്കുമനുസരിച്ച് വ്യത്യാസപ്പെടുന്ന, വിസരണം ചെയ്യപ്പെട്ട ഇലക്ട്രോണുകളുടെ തീവ്രത (I) ലഭിക്കുന്നു.

ത്വരണ വോൾട്ടേജ് 44 V മുതൽ 68 V വരെ വ്യത്യാസപ്പെടുത്തി ഈ പരീക്ഷണം നടത്തുന്നു. ത്വരണ വോൾട്ടേജ് 54V ഉം വിസരണ കോൺ 50^0യും ആകുമ്പോൾ, വിസരിത ഇലക്ട്രോണുകളുടെ തീവ്രതയിൽ (I) ആപേക്ഷികമായി ഉണ്ടാകുന്ന വർദ്ധന മൂലം ഒരു പ്രബല ശൃംഗം (peak) കാണപ്പെട്ടു.

ക്രമമായി അടുക്കപ്പെട്ട ആറ്റങ്ങളുടെ വ്യത്യസ്ത പാളികളിൽ നിന്നുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളുടെ പോഷക ഇന്റർഫെറൻസ് (constructive interference) കൊണ്ടാണ് ഒരു പ്രത്യേക ദിശയിൽ ശൃംഗം പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നത്. ഇലക്ട്രോൺ ഡൈഫ്രാക്ഷൻ അളന്നപ്പോൾ, ദ്രവ്യതരംഗത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം 0.165 nm എന്ന് കാണുകയുണ്ടായി.

സമവാക്യം (11.11) ഉപയോഗിച്ച് ഇലക്ട്രോണുകളുമായി ബന്ധപ്പെട്ടുള്ള ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു.

$$\lambda = h/p = \frac{1.227}{\sqrt{V}} \text{ nm}$$

$$\lambda = \frac{1.227}{\sqrt{54}} \text{ nm} = 0.167 \text{ nm}$$

ഇതുപ്രകാരം, ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യത്തിന്റെ സൈദ്ധാന്തികമൂല്യവും പരീക്ഷണത്തിൽ ലഭിച്ച മൂല്യവും തമ്മിൽ മികച്ച ചേർച്ചയാണുള്ളത്. അതുകൊണ്ട് ഇലക്ട്രോണു

കളുടെ തരംഗ സ്വഭാവവും ദെ ബ്രോയ് ബന്ധവും ഡേവിസൺജർമർ പരീക്ഷണം വിസ്മയകരമായ രീതിയിൽ സ്ഥിരീകരിക്കുന്നു. അടുത്തകാലത്തായി, (1989ൽ നടന്ന) ഇരട്ട സ്ലിറ്റ് (Double slit) പരീക്ഷണത്തിലൂടെ (പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗസ്വഭാവത്തിലേതുപോലെ) ഇലക്ട്രോൺ കിരണത്തിന്റെ തരംഗസ്വഭാവം തെളിയിക്കപ്പെട്ടു. കൂടാതെ, 1994 ൽ നടത്തിയ ഒരു പരീക്ഷണത്തിൽ, ഇലക്ട്രോണുകളേക്കാൾ ദശലക്ഷം മടങ്ങ് മാസുള്ള അയോഡിൻ തന്മാത്രകളുടെ കിരണങ്ങൾ ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ ഇന്റർഫെറൻസ് ഫ്രിഞ്ചുകൾ ലഭിക്കുകയുണ്ടായി.

ആധുനിക ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്രത്തിന്റെ വികസനത്തിന് ദെ ബ്രോയ് പരികൽപ്പന അടിസ്ഥാനമായിട്ടുണ്ട്. ഇത് ഇലക്ട്രോൺ പ്രകാശികം (electron optics) എന്ന പുതിയ ഭൗതിക മേഖലയിലേക്ക് വഴി തുറന്നു. ഒപ്റ്റിക്കൽ മൈക്രോസ്കോപ്പിനേക്കാൾ ഉയർന്ന റെസല്യൂഷനുള്ള ഇലക്ട്രോൺ മൈക്രോസ്കോപ്പിന്റെ രൂപകൽപ്പനയിൽ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഈ തരംഗസ്വഭാവത്തെ പ്രയോജനപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നുവെന്നത് വലിയ നേട്ടമാണ്.

സംഗ്രഹം

1. ഒരു ഇലക്ട്രോണിന് ലോഹോപരിതലത്തിൽ നിന്ന് പുറത്തുവരാനാവശ്യമായ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഊർജത്തെ ആ ലോഹത്തിന്റെ വർക്ക് ഫങ്ഷൻ (ϕ_0) എന്നു പറയുന്നു. അനുയോജ്യമായ രീതിയിൽ ചൂടാക്കിയോ ശക്തമായ വൈദ്യുത മണ്ഡലം പ്രയോഗിച്ചോ അനുയോജ്യമായ ആവൃത്തിയിലുള്ള പ്രകാശം പതിപ്പിച്ചോ ലോഹത്തിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോണുകളെ പുറന്തള്ളാനാവശ്യമായ ഊർജം (വർക്ക് ഫങ്ഷനേക്കാൾ കൂടിയ) നൽകാവുന്നതാണ്.

2. അനുയോജ്യമായ ആവൃത്തിയിലുള്ള പ്രകാശം പതിപ്പിക്കുമ്പോൾ ലോഹങ്ങൾ ഇലക്ട്രോണുകളെ ഉത്സർജിക്കുന്ന പ്രതിഭാസമാണ് ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവം (Photoelectric effect). ചില ലോഹങ്ങൾ അൾട്രാവയലറ്റ് പ്രകാശത്തോട് പ്രതികരിക്കുമ്പോൾ മറ്റ് ചിലവ ദൃശ്യപ്രകാശത്തോടു തന്നെ സംവേദനക്ഷമതയുള്ളതാണ്. പ്രകാശോർജത്തെ വൈദ്യുതോർജമാക്കി മാറ്റുകയാണ് ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തിൽ സംഭവിക്കുന്നത്. ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവം ഒരു തൽക്ഷണ പ്രക്രിയയാണ്.

3. ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് കറന്റ് (i) പതനപ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത, (ii) രണ്ട് ഇലക്ട്രോഡുകൾക്കിടയിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസം, (iii) എമിറ്റർ പദാർഥത്തിന്റെ സ്വഭാവം എന്നിവയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു.

4. സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യൽ (V_0) (i) പതനപ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തി (ii) എമിറ്റർ പദാർഥത്തിന്റെ സ്വഭാവം എന്നിവയെ ആശ്രയിക്കുന്നു. പതനപ്രകാശത്തിന്റെ ഒരു പ്രത്യേക ആവൃത്തിയിൽ അത് പ്രകാശതീവ്രതയെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യലും ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണിന്റെ പരമാവധി ഗതികോർജവും ഇപ്രകാരം ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു.

$$e V_0 = (1/2)\, m v^2_{max} = K_{max}$$

5. പ്രകാശതീവ്രത എത്രതന്നെ കൂടുതലായാലും, ഒരു പ്രത്യേക ആവൃത്തിയ്ക്കു (ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി ν_0)താഴെ ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനം നടക്കുകയില്ല.

6. ക്ലാസിക്കൽ തരംഗസിദ്ധാന്തത്തിന് ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തിന്റെ പ്രധാന സവിശേഷതകളെ വിശദീകരിക്കാനായില്ല. പ്രകാശതീവ്രതയ്ക്ക് K_{max} നുമേൽ സ്വാധീനമില്ലാത്തതും ഓരോ ലോഹത്തിനും ഒരു ν_0 ഉള്ളതും ഈ പ്രക്രിയയുടെ തൽക്ഷണസ്വഭാവവും വികിരണത്തിൽ നിന്നുള്ള തുടർച്ചയായ ഊർജ ആഗിരണം എന്ന തരംഗചിത്രത്തിനു വിശദീകരിക്കാനായില്ല.

   ഫോട്ടോൺ ചിത്രത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ഐൻസ്റ്റൈൻ ആണ് ഈ സവിശേഷതകളെ വിശദീകരിച്ചത്. ഇതിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ, ക്വാണ്ടം അഥവാ ഫോട്ടോൺ എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഊർജത്തിന്റെ വ്യതിരിക്തമായ പാക്കറ്റുകളാൽ നിർമിതമാണ് പ്രകാശം. ഓരോ ഫോട്ടോണും വഹിക്കുന്ന ഊർജം E $(= h\nu)$, ആക്കം p $(= h/\lambda)$ എന്നിങ്ങനെയാണ്. ഇവ പതനപ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തി (ν) യെ ആശ്രയിക്കുന്നു, (പ്രകാശതീവ്രതയെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല). ഒരു ഫോട്ടോണിനെ ഒരു ഇലക്ട്രോൺ ആഗിരണം ചെയ്യുന്നതാണ് ലോഹപ്രതലത്തിൽ നിന്നുള്ള ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനത്തിനു കാരണം.

7. ഫോട്ടോണിനെ ലോഹത്തിലെ ഇലക്ട്രോൺ ആഗിരണം ചെയ്യുന്നുവെന്ന തരത്തിൽ ഊർജസംരക്ഷണ നിയമത്തെ സാധൂകരിക്കുന്നതാണ് ഐൻസ്റ്റൈന്റെ ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് സമവാക്യം. ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണിന്റെ ഗതികോർജത്തിന്റെ പരമാവധി മൂല്യം $(1/2)m v^2_{max}$, ഫോട്ടോൺ ഊർജ $(h\ \nu)$ ത്തിൽ നിന്ന് ലോഹത്തിന്റെ വർക്ക് ഫങ്ഷൻ ϕ_0 $(= h\ \nu_0)$ കുറച്ചതാണ്.

$1/2\ m\ v^2_{max} = V_0\ e = h\ \nu - \phi_0 = h\ (\nu - \nu_0)$

ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തിന്റെ എല്ലാ സവിശേഷതകളെയും ഈ ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് സമവാക്യം വിശദീകരിക്കുന്നുണ്ട്. മില്ലിക്കണിന്റെ പരീക്ഷണങ്ങൾ ഐൻസ്റ്റൈന്റെ ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് സമവാക്യത്തെ സ്ഥിരീകരിക്കുകയും പ്ലാങ് സ്ഥിരാങ്കത്തിന് കൃത്യമായ മൂല്യം ലഭ്യമാക്കുകയും ചെയ്തു. ഇത് വൈദ്യുതകാന്തികതരംഗങ്ങളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഐൻസ്റ്റൈന്റെ കണികാ/ഫോട്ടോൺ വിശദീകരണത്തിന്റെ സാധൂകരണത്തിലേക്ക് നയിച്ചു.

8. വികിരണത്തിന് ദ്വൈതസ്വഭാവമുണ്ട്: തരംഗവും കണികയും. പരീക്ഷണഫലം മനസ്സിലാക്കുന്നതിന് കണികാ വിശദീകരണമാണോ തരംഗവിശദീകരണമാണോ അനുയോജ്യമെന്നു തീരുമാനിക്കുന്നത് പരീക്ഷണത്തിന്റെ സ്വഭാവമാണ്. വികിരണവും ദ്രവ്യവും സമമിതിയിലായിരിക്കണമെന്ന നിഗമനം ഉപയോഗിച്ച്, ലൂയി വിക്ടർ ദെ ബ്രോയ് ദ്രവ്യത്തിന് (കണികാപദാർഥം) തരംഗസമാനമായ സ്വഭാവം ആരോപിച്ചു. ചലിക്കുന്ന ദ്രവ്യപദാർഥങ്ങളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട തരംഗങ്ങളെ ദ്രവ്യതരംഗങ്ങൾ അഥവാ ദെ ബ്രോയ് തരംഗങ്ങൾ എന്നു വിളിക്കുന്നു.

9. ചലിക്കുന്ന കണികകളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യത്തിന് (λ) അതിന്റെ ആക്ക (p) വുമായുള്ള ബന്ധം $\lambda = h/p$ എന്നാണ്. ദ്രവ്യത്തിന്റെ ദ്വൈതസ്വഭാവം ദെ ബ്രോയ് തരംഗസമവാക്യത്തിൽ അന്തർലീനമാണ്. അതിൽ ഒരു തരംഗ ആശയവും (λ) കണികാ ആശയവും (p) അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു. ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം പദാർഥകണികയുടെ ചാർജിനെയോ സ്വഭാവത്തെയോ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല.

അത് സാരമായി അളക്കാനാകുന്നത് (ക്രിസ്റ്റലുകളിലെ ആറ്റോമിക പ്രതല അകലങ്ങളുടെ ഓർഡറിൽ) ഇലക്ട്രോണുകൾ, പ്രോട്ടോണുകൾ തുടങ്ങിയ ഉപ ആറ്റോമിക കണികകളുടെ കാര്യത്തിൽ മാത്രമാണ് (അവയുടെ മാസുകളുടെയും അതിനാൽ ആക്കങ്ങളുടെയും കുറഞ്ഞമൂല്യം കാരണം). എന്നാൽ, നിത്യജീവിതത്തിൽ കണ്ടുമുട്ടുന്ന സ്ഥൂലവസ്തുക്കളുടെ കാര്യത്തിൽ ഇത് വളരെ ചെറുതും അളക്കാവുന്നതിനപ്പുറത്തുമാണ്.

10. ഡേവിസൺ,ജെർമർ, ജി.പി. തോംസൺ എന്നിവരുടെ ഇലക്ട്രോൺ ഡൈഫ്രാക്ഷൻ പരീക്ഷണവും, സമാനമായ മറ്റു പില്ക്കാലപരീക്ഷണങ്ങളും ഇലക്ട്രോണിന്റെ തരംഗസ്വഭാവം സ്ഥിരീകരിച്ചു. ദെ ബ്രോയിയുടെ ദ്രവ്യതരംഗ പരികല്പന ബോറിന്റെ സ്ഥിര ഓർബിറ്റുകൾ എന്ന ആശയത്തെ അനുകൂലിച്ചു.

ഭൗതിക അളവ്	പ്രതീകം	ഡൈമെൻഷൻ	യൂണിറ്റ്	പരാമർശങ്ങൾ
പ്ലാങ് സ്ഥിരാങ്കം	h	$[ML^2T^{-1}]$	Js	$E = h\nu$
സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യൽ	V_0	$[ML^2T^{-3}A^{-1}]$	V	$eV_0 = K_{max}$
വർക്ക് ഫങ്ഷൻ	ϕ_0	$[ML^2T^{-2}]$	J; eV	$K_{max} = E - \phi_0$
ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി	ν_0	$[T^{-1}]$	Hz	$\nu_0 = \phi_0/h$
ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം	λ	$[L]$	m	$\lambda = h/p$

വിചിന്തന വിഷയങ്ങൾ

1. ഒരു ലോഹത്തിലെ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾ സ്വതന്ത്രമെന്നു പറയുന്നത് ലോഹത്തിനുള്ളിൽ ഒരു സ്ഥിരപൊട്ടൻഷ്യലിൽ അവ ചലിക്കുന്നതിനാലാണ്. (ഇതൊരു ഏകദേശനം മാത്രമാണ്). ലോഹത്തിന് പുറത്തേക്കു വരാൻ അവയ്ക്ക് അധിക ഊർജം ആവശ്യമാണ്.
2. ഒരു ലോഹത്തിലെ എല്ലാ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾക്കും ഒരേ ഊർജമല്ല ഉള്ളത്. ഒരു വാതക ജാറിലെ തൻമാത്രകളെപ്പോലെ, ഒരു നിശ്ചിത താപനിലയിലുള്ള ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് ഒരു നിശ്ചിത ഊർജ വിതരണക്രമമാണുള്ളത്. വാതകങ്ങളുടെ ഗതികസിദ്ധാന്തത്തിൽ (Kinetic Theory of Gases) നാം മനസ്സിലാക്കിയ മാക്സ്വെൽ (Maxwell) വിതരണക്രമത്തിൽ നിന്ന് വ്യത്യസ്തമാണിത്. ഇലക്ട്രോണുകൾ പോളിയുടെ എക്സ്ക്ലൂഷൻ സിദ്ധാന്തം അനുസരിക്കുന്നതിനാലാണ് ഈ വ്യത്യാസം ഉണ്ടാകുന്നത്. ഇതിനെക്കുറിച്ച് പിന്നീട് നിങ്ങൾ കൂടുതൽ പഠിക്കും.
3. ഒരു ലോഹത്തിലെ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജവിതരണം കാരണം, ലോഹത്തിൽ നിന്ന് പുറത്തു വരാൻ ഓരോ ഇലക്ട്രോണിനും ഓരോ ഊർജമാണ് വേണ്ടി വരിക. താഴ്ന്ന ഊർജമുള്ളവയെ അപേക്ഷിച്ച് ഉയർന്ന ഊർജമുള്ള ഇലക്ട്രോണിന് ലോഹത്തിന് പുറത്തെത്താൻ കുറഞ്ഞ ഊർജമേ ആവശ്യമുള്ളൂ. ഒരു ലോഹത്തിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോണിന് പുറത്തു കടക്കാനാവശ്യമായ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഊർജമാണ് വർക്ക്ഫങ്ഷൻ.
4. ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് പ്രതിഭാസത്തിന്റെ നിരീക്ഷണങ്ങൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നത്, ദ്രവ്യ പ്രകാശ പ്രതിപ്രവർത്തനത്തിൽ hν വിന്റെ വ്യതിരിക്ത യൂണിറ്റുകളായിട്ടാണ് ഊർജആഗിരണം നടക്കുന്നത് എന്നാണ്. hν ഊർജമുള്ള കണങ്ങൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്നതാണ് പ്രകാശം എന്ന പ്രസ്താവനയിൽ നിന്ന് കുറച്ചു വ്യത്യസ്തമാണിത്.
5. സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യലിന്റെ നിരീക്ഷണം (പ്രകാശ തീവ്രതയെ ആശ്രയിക്കാത്തതും ആവൃത്തിയെ ആശ്രയിക്കുന്നതുമായ), ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തിന്റെ തരംഗ ചിത്രവും ഫോട്ടോൺ ചിത്രവും തമ്മിലുള്ള പ്രധാന വേർതിരിവ് കാണിച്ചു തരുന്നു.
6. ഒരു ദ്രവ്യ തരംഗത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം $\lambda = \frac{h}{p}$ ഭൗതിക സവിശേഷതയുള്ളതാണ്. അതിന്റെ ഫേസ് പ്രവേഗം (phase velocity) v ക്ക് പ്രത്യേക ഭൗതിക സവിശേഷതയൊന്നുമില്ല.എന്നാൽ ദ്രവ്യ തരംഗത്തിന്റെ ഗ്രൂപ്പ് പ്രവേഗം (group velocity) ഭൗതികമായി സവിശേഷതയുള്ളതും കണികാപ്രവേഗത്തിന് തുല്യവുമാണ്.

പരിശീലന പ്രശ്നങ്ങൾ

11.1 30 kV ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉൽപ്പാദിപ്പിക്കുന്ന x- കിരണങ്ങളുടെ

a) പരമാവധി ആവൃത്തി b) ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ തരംഗദൈർഘ്യം
എന്നിവ കാണുക

11.2 സീഷിയം ലോഹത്തിന്റെ വർക്ക്ഫങ്ഷൻ 2.14 eV ആണ്. 6×10^{14} Hz ആവൃത്തിയുള്ള പ്രകാശം ഈ ലോഹത്തിൽ പതിക്കുമ്പോൾ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഫോട്ടോ ഉത്സർജനം ഉണ്ടാകുന്നുവെങ്കിൽ താഴെ പറയുന്നവ കണ്ടെത്തുക.

a) പുറത്തു വരുന്ന ഇലക്ട്രോണിന്റെ പരമാവധി ഗതികോർജം

b) സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യൽ

c) പുറത്തു വരുന്ന ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ പരമാവധി വേഗം.

11.3 ഒരു നിശ്ചിത പരീക്ഷണത്തിലെ ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് കട്ട് ഓഫ് വോൾട്ടേജ് 1.5V ആണ്. പുറന്തള്ളപ്പെടുന്ന ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണുകളുടെ പരമാവധി ഗതികോർജമെന്ത്?

11.4 ഒരു ഹീലിയം - നിയോൺ ലേസർ ഉപയോഗിച്ച് 632.8nm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള ഏക വർണപ്രകാശം ഉൽപാദിപ്പിക്കുന്നു. പുറത്തു വിടുന്ന പവർ 9.42mW ആണ്.

a) പ്രകാശകിരണത്തിലെ ഓരോ ഫോട്ടോണിന്റെയും ഊർജവും ആക്കവും കാണുക.

b) ഈ കിരണങ്ങൾ പതിക്കുമ്പോൾ സെക്കന്റിൽ ശരാശരി എത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾ പുറന്തള്ളപ്പെടുന്നു? (പ്രകാശകിരണത്തിന് സമഛേദതല പരപ്പളവ് ആണുള്ളതെന്നും അത് ലോഹത്തിന്റെ പരപ്പളവിനേക്കാൾ കുറഞ്ഞതാണെന്നും സങ്കൽപിക്കുക)

c) ഈ ഫോട്ടോണിന്റെ അതേ ആക്കം ലഭിക്കാൻ ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റം എത്ര വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കണം?

11.5 ഭൂമിയുടെ പ്രതലത്തിൽ എത്തുന്ന സൂര്യപ്രകാശത്തിന്റെ ഊർജ ഫ്ളക്സ് 1.388×10^3 W/m^2 ആണ്. ഒരു സെക്കന്റിൽ എത്ര ഫോട്ടോണുകൾ (ഏകദേശം) ഭൂമിയുടെ ഒരു ചതുരശ്ര മീറ്ററിൽ പതിക്കുന്നുണ്ട്. സൂര്യപ്രകാശത്തിലെ ഫോട്ടോണുകൾക്ക് ശരാശരി തരംഗദൈർഘ്യം 550nm ആണുള്ളതെന്നു സങ്കൽപിക്കുക.

11.6 ഒരു ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പരീക്ഷണത്തിൽ, കട്ട് ഓഫ് വോൾട്ടേജും പതന പ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തിയും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫിന്റെ സ്ലോപ്പ് ലഭിക്കുന്നത് 4.12×10^{-15} Vs ആണ്. പ്ലാങ്ക് സ്ഥിരാങ്കത്തിന്റെ മൂല്യം കണ്ടെത്തുക

11.7 ഒരു 100 W സോഡിയം ലാമ്പ് എല്ലാ ദിശകളിലേക്കും ഒരുപോലെ ഊർജം വികിരണം നടത്തുന്നു. ഒരു വലിയ ഗോളത്തിന്റെ കേന്ദ്രത്തിലാണ് ഈ ലാമ്പ് ഉള്ളത്. ഗോളം അതിൽ പതിക്കുന്ന സോഡിയം വെളിച്ചം പൂർണമായും ആഗിരണം ചെയ്യുന്നു. സോഡിയം വെളിച്ചത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം 589nm ആണ്.

a) സോഡിയം വെളിച്ചവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഫോട്ടോണിന്റെ ഊർജമെന്ത്?

b) ഈ ഫോട്ടോണുകൾ ഗോളത്തിൽ പതിക്കുന്നതിന്റെ നിരക്ക് എന്ത്?

11.8 ഒരു ലോഹത്തിന്റെ ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി 3.3×10^{14} Hz ആണ്. 8.2×10^{14} Hz ആവൃത്തിയുള്ള പ്രകാശം ആ ലോഹത്തിൽ പതിക്കുകയാണെങ്കിൽ, ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനത്തിന്റെ കട്ട് ഓഫ് വോൾട്ടേജ് എത്ര?

11.9 ഒരു ലോഹത്തിന്റെ വർക്ക് ഫങ്ഷൻ 4.2 eV ആണ്. 330 nm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വികിരണങ്ങൾ ലോഹത്തിൽ പതിപ്പിച്ചാൽ അതിൽ ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനം സംഭവിക്കുമോ?

11.10 ആവൃത്തി 7.21×10^{14} Hz ഉള്ള പ്രകാശം ഒരു ലോഹോപരിതലത്തിൽ പതിക്കുന്നു. 6.0×10^5 m/s പരമാവധി വേഗതയുള്ള ഇലക്ട്രോണുകൾ ലോഹോപരിതലത്തിൽ നിന്ന് പുറന്തള്ളപ്പെടുന്നു. ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഫോട്ടോഉത്സർജനത്തിന്റെ ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി എത്ര?

11.11 ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുന്ന ആർഗൺ ലേസർ 488 nm

തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള പ്രകാശം പുറപ്പെടുവിക്കുന്നു. ഈ പ്രകാശം എമിറ്ററിൽ പതിക്കുമ്പോൾ ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണുകളുടെ സ്റ്റോപ്പിംഗ് (കട്ട് ഓഫ്) പൊട്ടൻഷ്യൽ 0.38 V. ആയി കാണപ്പെടുന്നു. എമിറ്റർ നിർമിച്ച പദാർഥത്തിന്റെ വർക്ക് ഫങ്ഷൻ എത്ര?

11.12 പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസം 56 V ൽ ത്വരണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ

a) ആക്കം

b) ദെബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം

എന്നിവ കണക്കാക്കുക.

11.13 ഗതികോർജം 120 eV ഉള്ള ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ

a) ആക്കം

b) വേഗം

എന്നിവ കാണുക.

11.14 സോഡിയത്തിന്റെ സ്പെക്ട്രൽ ഉത്സർജനലൈനുകളിലെ പ്രകാശ തരംഗദൈർഘ്യം 589 nm ആണ്. ഒരേ ദെബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള താഴെ പറയുന്നവയുടെ ഗതികോർജം കണ്ടുപിടിക്കുക

a) ഒരു ഇലക്ട്രോൺ.

b) ഒരു ന്യൂട്രോൺ.

11.15 താഴെ കൊടുത്തവയുടെ ദെബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം കണ്ടെത്തുക.

a) 0.040kg മാസും 1.0 km/s വേഗതയുമുള്ള ഒരു ബുള്ളറ്റ്.

b) 0.060kg മാസും 1.0 m/s വേഗതയുമുള്ള ഒരു പന്ത്.

c) 1.0×10^{-9} kg മാസും 2.2 m/s ഡ്രിഫ്റ്റ് വേഗതയുമുള്ള ഒരു പൊടിപടല കണിക.

11.16 ഒരു ഇലക്ട്രോണിനും ഒരു ഫോട്ടോണിനും 1.00 nm തരംഗദൈർഘ്യമാണുള്ളതെങ്കിൽ താഴെ കൊടുത്തവ കണ്ടുപിടിക്കുക.

a) അവയുടെ ആക്കങ്ങൾ

b) ഫോട്ടോണിന്റെ ഊർജം

c) ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഗതികോർജം

11.17 a) ഒരു ന്യൂട്രോണുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ദെബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം 1.40×10^{-10}m ആണെങ്കിൽ അതിന്റെ ഗതികോർജം എന്ത്?

b) 300K താപനിലയിൽ 3/2 kT ശരാശരി ഗതികോർജമുള്ള ദ്രവ്യവുമായി താപ സംതുലനത്തിലിരിക്കുന്ന ന്യൂട്രോണിന്റെ ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം കാണുക

11.18 ഒരു വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം അതിന്റെ ക്വാണ്ടത്തിന്റെ (ഫോട്ടോൺ) ദെബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യമാണെന്നു തെളിയിക്കുക

11.19 താപനില 300 Kയിലുള്ള വായുവിലെ നൈട്രജൻ തന്മാത്രയുടെ ദെബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യമെന്ത്? ഈ താപനിലയിലെ തന്മാത്രയുടെ rms വേഗതയിലാണ് തന്മാത്ര ചലിക്കുന്നതെന്ന് സങ്കൽപിക്കുക. (നൈട്രജന്റെ ആറ്റോമിക് മാസ് = 14.0076u)

അധിക പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ

11.20 (a) വായു നീക്കം ചെയ്ത ട്യൂബിനുള്ളിലെ ചൂടാക്കിയ ഒരു എമിറ്ററിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോണുകൾ പുറന്തള്ളപ്പെടുന്ന വേഗം കണ്ടെത്തുക. ഇതിൽ എമിറ്ററിനെ അപേക്ഷിച്ച് 500 V പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസത്തിൽ കളക്ടർ ക്രമീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇലക്ട്രോണുകളുടെ നേരിയ ആദ്യ വേഗം അവഗണിക്കുക. ഇലക്ട്രോണിന്റെ സ്പെസിഫിക് ചാർജ് അഥവാ e/m 1.76×10^{11} C kg $^{-1}$ എന്ന് തന്നിരിക്കുന്നു.

(b) 10 MV കളക്ടർ പൊട്ടൻഷ്യൽ കൊടുക്കുമ്പോഴുള്ള ഇലക്ട്രോൺ വേഗത ഇതേ സൂത്രവാക്യം ഉപയോഗിച്ച് കാണുക. എവിടെയാണ് തെറ്റുപറ്റിയതെന്ന് മനസ്സിലാകുന്നുണ്ടോ? ഈ സമവാക്യത്തെ എങ്ങനെ മെച്ചപ്പെടുത്തിയെഴുതാം?

11.21 (a) 5.20×10^6 m s $^{-1}$ വേഗതയും ഒരേ ഊർജവുമുള്ള ഇലക്ട്രോണുകൾക്കുമേൽ 1.30×10^{-4} T കാന്തികമണ്ഡലം പ്രവേഗത്തിനു ലംബദിശയിൽ പ്രയോഗിക്കുന്നു. ഇലക്ട്രോൺ കിരണം സഞ്ചരിക്കുന്ന വൃത്തപാതയുടെ ആരം എന്ത്? ഇലക്ട്രോണിന്റെ e/m = 1.76×10^{11} C kg $^{-1}$.

(b) 20 MeV ഇലക്ട്രോൺ കിരണത്തിന്റെ പാതയുടെ ആരം കണ്ടുപിടിക്കാൻ ചോദ്യം (a)യിൽ ഉപയോഗിച്ച സൂത്രവാക്യം ഉപയോഗിക്കാനാകുമോ? ഇല്ലെങ്കിൽ അതിനെ ഏതുവിധത്തിൽ മാറ്റം വരുത്താം?

[കുറിപ്പ്: പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ 11.20(b) യും 11.21(b) എന്നിവ ആപേക്ഷിക ബലതന്ത്രത്തിലേക്ക് (relativistic mechanics) നമ്മെ നയിക്കുന്നു. എന്നാൽ അത് ഈ പുസ്തകത്തിന്റെ ലക്ഷ്യത്തിനപ്പുറത്താണ്.

വളരെ ഉയർന്ന വേഗതയിലും ഉന്നത ഊർജത്തിലും കണങ്ങൾ സഞ്ചരിക്കുന്ന സാഹചര്യങ്ങളിൽ ഭാഗം (a) യിലെ സൂത്രവാക്യം സാധുവല്ല എന്ന് സൂചിപ്പിക്കുന്നതിനാലാണ് അത് ഇവിടെ പ്രതിപാദിച്ചിരിക്കുന്നത്. 'വളരെ ഉയർന്ന വേഗതയും ഊർജവും' എന്നതുകൊണ്ട് എന്താണുദ്ദേശിക്കുന്നതെന്നറിയാൻ അവസാന ഭാഗത്തെ ഉത്തരങ്ങൾ കാണുക.]

11.22 കളക്ടർ പൊട്ടൻഷ്യൽ 100 V ലുള്ള ഒരു ഇലക്ട്രോൺ ഗൺ താഴ്ന്ന മർദത്തിലുള്ള ഹൈഡ്രജൻ നിറച്ച (10^{-2} mm of Hg) ഒരു ഗോളീയ ബൾബിലേക്ക് ഇലക്ട്രോണുകളെ ഉത്സർജിക്കുന്നു. 2.83×10^{-4} T കാന്തികമണ്ഡലം ഇലക്ട്രോണുകളെ 12.0 cm ആരമുള്ള വൃത്തപാതയിലേക്ക് വളയ്ക്കുന്നു. (ഈ പാത കാണപ്പെടാൻ കാരണം, പാതയിലെ വാതക അയോണുകൾ ഇലക്ട്രോണുകളെ ആകർഷിച്ച് കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നതാണ്, തുടർന്ന് ഇവ ഇലക്ട്രോൺ ആഗിരണം വഴി പ്രകാശം പുറത്തുവിടുകയും ചെയ്യുന്നു. ഈ പ്രതിഭാസത്തെ ഫൈൻ ബീം ട്യൂബ് ('fine beam tube') പ്രക്രിയ എന്നു പറയുന്നു.) ഈ ഡാറ്റയിൽ നിന്ന് e/m കണ്ടുപിടിക്കുക.

1.23 (a) ഒരു എക്സ്റേ ട്യൂബ് 0.45 Å കുറഞ്ഞ തരംഗദൈർഘ്യപരിധിയുള്ള തുടർച്ചയായ വികിരണസ്പെക്ട്രം ഉൽപാദിപ്പിക്കുന്നു. അതിലെ ഒരു ഫോട്ടോണിന്റെ പരമാവധി ഊർജം എത്ര?

(b) ചോദ്യം (a)യുടെ ഉത്തരത്തിൽ നിന്ന് ഇത്തരം ഒരു ട്യൂബിൽ (ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക്) ആവശ്യമായ ത്വരണ പൊട്ടൻഷ്യലിന്റെ ഓർഡർ എന്തായിരിക്കുമെന്ന് ഊഹിക്കാമോ?

11.24 ഇലക്ട്രോണും പോസിട്രോണും തമ്മിലുള്ള ഉന്നത ഊർജ കൂട്ടിയിടി നടക്കുന്ന ആക്സിലറേറ്റർ പരീക്ഷണത്തിൽ, 10.2 BeV ഊർജമുള്ള ഇലക്ട്രോൺ

പോസിട്രോൺ ജോഡികൾക്ക് ഉൻമൂലനം സംഭവിക്കുകയും പകരം തുല്യ ഊർജമുള്ള രണ്ട് γ രശ്മികൾ ഉണ്ടാവുകയും ചെയ്യുന്നു. ഓരോ γ രശ്മിയുമായും ബന്ധപ്പെട്ട തരംഗദൈർഘ്യമെന്ത്? ($1 BeV = 10^9 eV$)

11.25 താഴെ പറയുന്ന രണ്ട് സംഖ്യകൾ കണക്കാക്കുന്നത് രസാവഹമായിരിക്കും. ഫോട്ടോണുകളെക്കുറിച്ച് റേഡിയോ എഞ്ചിനീയർമാർ എന്തുകൊണ്ട് അധികം വേവലാതിപ്പെടേണ്ടതില്ലെന്ന് ആദ്യത്തെ സംഖ്യ പറഞ്ഞുതരുന്നു. നഗ്നനേത്രങ്ങൾ കൊണ്ട് കാണാൻ കഴിയുന്ന പ്രകാശത്തിൽ പോലും ഉള്ള ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം നമ്മുടെ കണ്ണുകൾക്ക് ഒരിക്കലും എണ്ണാൻ കഴിയാത്തതെന്തുകൊണ്ടെന്ന് രണ്ടാമത്തെ സംഖ്യ വിശദീകരിക്കുന്നു. താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്നവ കണ്ടുപിടിക്കുക.

(a) 10 kW പവറും 500 m തരംഗദൈർഘ്യവുമുള്ള ഒരു മധ്യതരംഗ പ്രസരണിയിൽ നിന്ന് ഓരോ സെക്കന്റിലും ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം

(b) മനുഷ്യനേത്രങ്ങൾക്ക് സ്വീകരിക്കാൻ കഴിയുന്ന ($\sim 10^{-10}$ W m^{-2}) ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ പ്രകാശതീവ്രതയുള്ള ധവളപ്രകാശത്തിന് ആനുപാതികമായി ഓരോ സെക്കന്റിലും നമ്മുടെ കണ്ണിലെ കൃഷ്ണമണിയിൽ എത്തുന്ന ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം കണക്കാക്കുക. പ്യൂപ്പിളിന്റെ പരപ്പളവ് ഏകദേശം 0.4 cm^2 എന്നും ധവളപ്രകാശത്തിന്റെ ശരാശരി ആവൃത്തി 6×10^{14} Hz എന്നും കരുതുക.

11.26 100 W മെർക്കുറി ബൾബിൽ നിന്നും 2271 Å തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള അൾട്രാവയലറ്റ് പ്രകാശം മോളിബ്ഡിനം ലോഹം കൊണ്ടുണ്ടാക്കിയ ഒരു ഫോട്ടോസെല്ലിൽ പതിപ്പിക്കുന്നു. സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യൽ 1.3 V ആണെങ്കിൽ, ലോഹത്തിന്റെ വർക്ക്ഫങ്ഷൻ കണക്കാക്കുക. ഒരു He-Ne ലേസറിൽ നിന്നും ഉൽപാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്ന 6328 Å തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള തീവ്രതകൂടിയ ($\sim 10^5$ W m^{-2}) ചുവന്ന പ്രകാശത്തോട് ഈ ഫോട്ടോൺ എങ്ങനെ പ്രതികരിക്കും?

11.27 ഒരു നിയോൺ ലാമ്പിൽ നിന്നും 640.2 nm ($1 nm = 10^{-9} m$) തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള ഏകവർണപ്രകാശം ടങ്സ്റ്റണിൻമേൽ സീഷിയം പൂശിയ പ്രകാശസംവേദക പദാർഥത്തിൽ പതിപ്പിക്കുന്നു. നിർണയിക്കപ്പെട്ട സ്റ്റോപ്പിംഗ് വോൾട്ടേജ് 0.54 V ആണ്. അതേ ഫോട്ടോ സെല്ലിൽ പ്രകാശസ്രോതസ്സായി 427.2 nm സ്പെക്ട്രൽ ലൈനുകൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ഒരു ഇരുമ്പ് പ്രകാശസ്രോതസ്സ് വെക്കുക. സ്റ്റോപ്പിംഗ് വോൾട്ടേജ് എന്തായിരിക്കുമെന്ന് പ്രവചിക്കാമോ?

11.28 ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനത്തിന്റെ ആവൃത്തി ആശ്രയത്വത്തെക്കുറിച്ചുള്ള പഠനത്തിന് മെർക്കുറി ലാമ്പാണ് ഉചിതമായ പ്രകാശസ്രോതസ്സ്, അൾട്രാവയലറ്റ് മുതൽ ചുവപ്പ് വരെ വരുന്ന സ്പെക്ട്രൽ ലൈനുകൾ അത് തരുന്നുണ്ടെന്നുള്ളതാണ് ഇതിനു കാരണം. റുബിഡിയം ഫോട്ടോസെൽ ഉപയോഗിച്ച് നടത്തിയ ഒരു പരീക്ഷണത്തിൽ, മെർക്കുറി സ്രോതസ്സിൽ നിന്ന് താഴെ കൊടുത്ത സ്പെക്ട്രൽ ലൈനുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. $\lambda_1 = 3650$ Å, $\lambda_2 = 4047$ Å, $\lambda_3 = 4358$ Å, $\lambda_4 = 5461$ Å, $\lambda_5 = 6907$ Å, ഇവയുടെ സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യലുകൾ യഥാക്രമം $V_{01} = 1.28$ V, $V_{02} = 0.95$ V, $V_{03} = 0.74$ V, $V_{04} = 0.16$ V, $V_{05} = 0$ V. പ്ലാങ്ക് സ്ഥിരാങ്കത്തിന്റെ (h)മൂല്യം, ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി, പദാർഥത്തിന്റെ വർക്ക്ഫങ്ഷൻ എന്നിവ കണ്ടെത്തുക.

[കുറിപ്പ്: ഈ ഡാറ്റയിൽ നിന്ന് h ലഭിക്കണമെങ്കിൽ, e (1.6×10^{-19} C) അറിഞ്ഞിരിക്കണം. ഇത്തരത്തിൽ Na, Li, K, തുടങ്ങിയവയിൽ മില്ലിക്കൺ ചെയ്ത പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ (അദ്ദേഹം ഓയിൽ ഡ്രോപ്പ് പരീക്ഷണത്തിൽ e യ്ക്ക് അദ്ദേഹ

ത്തിന്റേതായ മൂല്യം ഉപയോഗിച്ചു) അദ്ദേഹം ഐൻസ്റ്റൈന്റെ ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് സമവാക്യം സ്ഥിരീകരിക്കുകയും അതേ സമയം തന്നെ h ന്റെ മൂല്യം സ്വതന്ത്രമായി കണക്കാക്കുകയും ചെയ്തു.]

11.29 ചില ലോഹങ്ങളുടെ വർക്ക് ഫങ്ഷനുകൾ താഴെ കൊടുക്കുന്നു. Na: 2.75 eV; K: 2.30 eV; Mo: 4.17 eV; Ni: 5.15 eV. ഫോട്ടോസെല്ലിൽ നിന്ന് 1 m അകലത്തിലുള്ള ഒരു He-Cd ലേസറിൽ നിന്നും വരുന്ന 3300 Å തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വികിരണത്തിന് ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനം സാധ്യമല്ലാത്ത ലോഹമേത്?

ലേസർ അടുത്തേക്കു കൊണ്ടുവരികയും 50cm അകലത്തിൽ വെയ്ക്കുകയും ചെയ്താൽ എന്തുസംഭവിക്കും?

11.30 2 cm^2 പരപ്പളവുള്ള ഒരു സോഡിയം ഫോട്ടോസെല്ലിൽ 10^{-5} W m^{-2} പ്രകാശതീവ്രതയുള്ള പ്രകാശം പതിക്കുന്നു. സോഡിയത്തിന്റെ മേൽഭാഗത്തെ 5 പാളികൾ പതനകിരണം ആഗിരണം ചെയ്യുന്നെന്ന് കരുതുക. തരംഗചിത്രമനുസരിച്ച് ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനത്തിൻ എടുക്കുന്ന സമയം കണക്കാക്കുക. ഈ ലോഹത്തിന്റെ വർക്ക്ഫങ്ഷൻ 2 eV എന്ന് തന്നിരിക്കുന്നു. നിങ്ങളുടെ ഉത്തരത്തിന്റെ അർത്ഥം വിശദീകരിക്കുക?

11.31 X- കിരണങ്ങളോ അനുയോജ്യമായ വോൾട്ടേജിൽ ത്വരണം ചെയ്യപ്പെട്ട ഇലക്ട്രോണുകളോ ഉപയോഗിച്ച് ക്രിസ്റ്റൽ ഡൈഫ്രാക്ഷൻ പരീക്ഷണം നടത്താവുന്നതാണ്. ഏത് പ്രോബിനായിരിക്കും കൂടുതൽ ഊർജം? (അളവുപരമായ താരതമ്യത്തിനായി, പ്രോബിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം 1 Å എന്നെടുക്കുക, ഇത് ലാറ്റിസിലെ അന്തർആറ്റോമിക അകലത്തിന്റെ (inter atomic distance) ഓർഡറിലാണുള്ളത്. (m_e =9.11 × 10^{-31} kg)

11.32 (a) 150 eV ഗതികോർജമുള്ള ഒരു ന്യൂട്രോണിന്റെ ദെബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യമെന്ത്? പരിശീലനപ്രശ്നം 11.31ൽ കണ്ടപോലെ, ഇതേ ഊർജമുള്ള ഇലക്ട്രോൺ ബീം ക്രിസ്റ്റൽ ഡൈഫ്രാക്ഷന് അനുയോജ്യമാണ്. അതേ ഊർജമുള്ള ഒരു ന്യൂട്രോൺ കിരണം ഇതുപോലെ അനുയോജ്യമാണോ? വിശദീകരിക്കുക. (m_n = 1.675 × 10^{-27} kg)

(b) അന്തരീക്ഷ താപനിലയിലെ (27°C) തെർമൽ ന്യൂട്രോണുകളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ദെബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം കണ്ടെത്തുക. ന്യൂട്രോൺ ഡൈഫ്രാക്ഷൻ പരീക്ഷണത്തിനു മുമ്പ് അതിവേഗ ന്യൂട്രോൺ കിരണം ചുറ്റുപാടുകളുമായി തെർമലൈസ് ചെയ്യേണ്ടതിന്റെ ആവശ്യകത വിശദമാക്കുക.

11.33 50 kV വോൾട്ടേജിനാൽ ത്വരണം സംഭവിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളെയാണ് ഒരു ഇലക്ട്രോൺ മൈക്രോസ്കോപ്പിൽ ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ഇലക്ട്രോണുകളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ദെ ബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം കാണുക. മറ്റു ഘടകങ്ങൾ (ന്യൂമെറിക്കൽ അപർച്ചർ തുടങ്ങിയവ) ഏറെക്കുറെ ഒരുപോലെയാണെങ്കിൽ, ഇലക്ട്രോൺ മൈക്രോസ്കോപ്പിന്റെ റിസോൾവിംഗ് പവർ മഞ്ഞ പ്രകാശം ഉപയോഗിച്ച് പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഒരു പ്രകാശിക മൈക്രോസ്കോപ്പിന്റേതുമായി എങ്ങനെ താരതമ്യപ്പെടുത്താം?

11.34 ഒരു പ്രോബിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം അത് സമഗ്രമായി സൂക്ഷ്മപരിശോധന നടത്തേണ്ട ഘടനയുടെ വലുപ്പത്തിന്റെ അളവാണ്. പ്രോട്ടോണിന്റെയും ന്യൂട്രോണിന്റെയും ക്വാർക്ക് ഘടന 10^{-15} മീറ്ററോ അതിൽ താഴെയോ ഉള്ള സൂക്ഷ്മസ്കെയിലിലാണുള്ളത്. USA യിലെ സ്റ്റാൻഫോർഡിലുള്ള ലീനിയർ ആക്സിലറേറ്റർ ഉൽപാദിപ്പിച്ച ഉന്നത ഊർജ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉപയോഗിച്ച് 1970കളിലാണ്

ഈ ഘടനയുടെ സൂക്ഷ്മവിശകലനം ആദ്യമായി നടത്തിയത്. ഈ ഇലക്ട്രോൺ കിരണങ്ങളുടെ ഊർജത്തിന്റെ ഓർഡർ എന്തായിരിക്കുമെന്ന് ഊഹിക്കാമോ? (ഇലക്ട്രോണുകളുടെ റെസ്റ്റ്മാസ് ഊർജം = 0.511 MeV.)

11.35 അന്തരീക്ഷ താപനിലയിലും മർദത്തിലുമുള്ള (27 °C & 1 atm) ഹീലിയം വാതകത്തിലെ ഒരു He ആറ്റവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ദെബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം കാണുക. ഇതേ സാഹചര്യത്തിലുള്ള രണ്ട് ആറ്റങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള ശരാശരി അകലവുമായി അതിനെ താരതമ്യപ്പെടുത്തുക.

11.36 27°C ലുള്ള ഒരു ലോഹത്തിലെ ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ മാതൃകാ ദെബ്രോയ് തരംഗദൈർഘ്യം കാണുക. രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകൾ തമ്മിലുള്ള ശരാശരി അകലവുമായി (2×10^{-10} m) അതിനെ താരതമ്യപ്പെടുത്തുക.

[കുറിപ്പ്: പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ 11.35 ഉം 11.36 ഉം തെളിയിക്കുന്നത്, വാതകതന്മാത്രകളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട സാധാരണ അവസ്ഥയിലുള്ള തരംഗപാക്കറ്റുകൾ പരസ്പരം കൂടിക്കലരാത്തവയാണെന്നാണ്. എന്നാൽ ഒരു ലോഹത്തിലെ ഇലക്ട്രോൺ തരംഗപേക്കറ്റുകൾ ഒന്ന് മറ്റൊന്നുമായി നന്നായി കൂടിക്കലരുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇത് സൂചിപ്പിക്കുന്നത്, ഒരു സാധാരണവാതകത്തിലെ തന്മാത്രകളെ വ്യക്തമായി വേർതിരിച്ചറിയാൻ കഴിയുമെന്നും എന്നാൽ ഒരു ലോഹത്തിലെ ഇലക്ട്രോണുകളെ പരസ്പരം വേർതിരിച്ചറിയാൻ കഴിയില്ലെന്നുമാണ്. ഇതിന്റെ വിശദാംശങ്ങൾ ഉന്നത ഫിസിക്സ് കോഴ്സുകളിൽ നിങ്ങൾ പിന്നീട് വിശദമായി പഠിക്കുന്നതായിരിക്കും]

1.37 താഴെ കൊടുത്ത ചോദ്യങ്ങൾക്ക് ഉത്തരമെഴുതുക

(a) ഒരു പ്രോട്ടോണിലും ന്യൂട്രോണിലുമുള്ള ക്വാർക്കുകൾ വഹിക്കുന്ന ഭിന്ന ചാർജുകൾ [(+2/3)e ; (–1/3)e] ആണെന്ന് കരുതുന്നു. മില്ലിക്കൺ ഓയിൽ ഡ്രോപ് പരീക്ഷണത്തിൽ ഇവയെ എന്തുകൊണ്ട് കണ്ടെത്തിയില്ല?

(b) e/m എന്ന ബന്ധത്തിന്റെ പ്രത്യേകതയെന്ത്? എന്തുകൊണ്ടാണ് നമുക്ക് ലളിതമായി eയേയും mനേയും പ്രത്യേകം പരാമർശിക്കാനാകാത്തത്?

(c) വാതകങ്ങൾ സാധാരണ മർദത്തിൽ ഇൻസുലേറ്ററുകളാകുന്നതും വളരെ താഴ്ന്ന മർദത്തിൽ ചാലനം ചെയ്യാൻ തുടങ്ങുന്നതും എന്തുകൊണ്ട്?

(d) ഓരോ ലോഹത്തിനും ഒരു നിശ്ചിത വർക്ക്ഫങ്ഷൻ ഉണ്ട്. പതനവികിരണം ഏകവർണമായിരുന്നിട്ടും എന്തുകൊണ്ടാണ് എല്ലാ ഇലക്ട്രോണുകളും ഒരേ ഊർജത്തോടെ പുറത്തേക്കുവരാത്തത്? ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് ഒരു ഊർജവിതരണക്രമം ഉള്ളതെന്തുകൊണ്ട്?

(e) ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഊർജവും ആക്കവും അതുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ദ്രവ്യതരംഗത്തിന്റെ ആവൃത്തിയും തരംഗദൈർഘ്യവുമായി ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത് $E = h\nu$, $p = \frac{h}{\lambda}$ എന്നീ സമവാക്യങ്ങൾ വഴിയാണ്. ഇതിൽ λ യുടെ മൂല്യം ഭൗതികമായി അർത്ഥപൂർണമാണെങ്കിലും ν ന്റെ മൂല്യത്തിന് പ്രത്യേക പ്രാധാന്യമൊന്നുമില്ല (അതുകൊണ്ടുതന്നെ ഫേസ് വേഗത $\nu\lambda$ യ്ക്കും). എന്തുകൊണ്ട്?

അനുബന്ധം 11.1

തരംഗ - കണികാ സങ്കല്പങ്ങളുടെ തകിടം മറിച്ചിലിന്റെ ചരിത്രം

എന്താണ് പ്രകാശം? ഈ ചോദ്യം മനുഷ്യകുലത്തെ കാലങ്ങളോളം വേട്ടയാടിയിട്ടുണ്ട്. എന്നാൽ, ഏതാണ്ട് നാല് നൂറ്റാണ്ടുകൾക്കുമുമ്പ്, ശാസ്ത്രത്തിന്റെയും വ്യവസായത്തിന്റെയും യുഗപ്പിറവി മുതൽ ശാസ്ത്രജ്ഞർ വ്യവസ്ഥാപിതരീതിയിൽ ഈ ചോദ്യത്തിന്റെ ഉത്തരം കണ്ടെത്തുവാനായി പരീക്ഷണങ്ങളിലേർപ്പെട്ടു കൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ഏതാണ്ട് അതേ കാലം തന്നെ, പ്രകാശം നിർമിക്കപ്പെട്ടത് എന്തിനാലാണെന്ന സൈദ്ധാന്തിക മാതൃകകളും വികസിപ്പിക്കപ്പെട്ടിരുന്നു. ശാസ്ത്രത്തിന്റെ ഏത് ശാഖയിലും ഒരു മാതൃക നിർമിക്കണമെങ്കിൽ, ആ കാലത്തുണ്ടായ എല്ലാ പരീക്ഷണ നിരീക്ഷണങ്ങളെയും വിശദീകരിക്കാൻ കഴിഞ്ഞിരിക്കണമെന്നുള്ളത് ഏറ്റവും പ്രാഥമികമായ കാര്യമാണ്. അതിനാൽ പ്രകാശത്തെ സംബന്ധിച്ച് പതിനേഴാം നൂറ്റാണ്ടിലുണ്ടായ ചില നിരീക്ഷണങ്ങൾ ഇവിടെ ചുരുക്കി വിവരിക്കുന്നത് ഉചിതമായിരിക്കും.

ആ കാലത്ത് അറിയാമായിരുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ സവിശേഷതകൾ ഇവയാണ്.

a) നേർരേഖയിലൂടെയുള്ള സഞ്ചാരം b) നിരപ്പായതും വളഞ്ഞതുമായ പ്രതലങ്ങളിൽ തട്ടിയുള്ള പ്രതിപതനം

c) രണ്ട് മാധ്യമങ്ങളുടെ അതിർത്തിയിൽ വെച്ചുള്ള അപവർത്തനം d) വിവിധ വർണങ്ങളായി തിരിയുന്ന പ്രകീർണനം e) ഉയർന്ന വേഗത. ആദ്യ നാല് പ്രതിഭാസങ്ങൾക്കായി ഏകദേശ സൂത്രവാക്യങ്ങൾ ഈ കാലയളവിൽ ഉരുത്തിരിച്ചെടുത്തിരുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന്, അപവർത്തനത്തെ സംബന്ധിച്ചുള്ള നിയമം സ്നെൽ 1621 ൽ രൂപീകരിച്ചിരുന്നു. ഗലീലിയോയുടെ കാലം തൊട്ടേ നിരവധി ശാസ്ത്രജ്ഞർ പ്രകാശവേഗം അളക്കാൻ ശ്രമിച്ചിരുന്നു. പക്ഷേ, അവർക്കതിൽ വിജയിക്കാൻ കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ടായിരുന്നില്ല. അത് തങ്ങളുടെ അളവെടുപ്പ് പരിധിക്കപ്പുറമാണെന്ന് മാത്രം അവർ ഊഹിച്ചു.

പതിനേഴാം നൂറ്റാണ്ടിൽ രണ്ട് പ്രകാശമാതൃകകൾ കൂടെ നിർദേശിക്കപ്പെട്ടിരുന്നു. പതിനേഴാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ ആദ്യ ദശകങ്ങളിൽ പ്രകാശം കണികകളാൽ നിർമിതമാണെന്ന് ദെക്കാർത്തെയും, എന്നാൽ പ്രകാശം തരംഗമാണെന്ന് 1950-60 കാലഘട്ടങ്ങളിൽ ഹൈഗൻസും പ്രസ്താവിച്ചു. ഏറെത്താമസിയാതെ, ദെക്കാർത്തെയുടെ കണികാ മാതൃകയെ 1060-70 കാലഘട്ടത്തിൽ ന്യൂട്ടൺ കണികാ സിദ്ധാന്തം എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഒരു ശാസ്ത്രീയ സിദ്ധാന്തമായി വിപുലപ്പെടുത്തുകയും, പ്രകാശത്തിന്റെ വിവിധ പ്രത്യേകതകളെ അതുപയോഗിച്ച് വിശദീകരിക്കുകയും ചെയ്തു. പ്രകാശത്തെ തരംഗമായും കണികകളായും പരിഗണിക്കുന്ന ഈ മാതൃകകൾ ഒരർത്ഥത്തിൽ തീർത്തും പരസ്പര വിരുദ്ധമാണ്. പക്ഷേ, അക്കാലത്ത് അറിയപ്പെട്ടിരുന്ന പ്രകാശ പ്രതിഭാസങ്ങളെയെല്ലാം വിശദീകരിക്കാൻ ഇവയ്ക്ക് കഴിയുകയുണ്ടായി. ഇവയിലേതിനെ സ്വീകരിക്കണം എന്നത് പ്രയാസമേറിയതായി. പരീക്ഷണങ്ങളുടേയോ ശാസ്ത്ര സിദ്ധാന്തങ്ങളുടെയോ പിൻബലമില്ലാത്ത, തികച്ചും തത്വശാസ്ത്രപരമായ മാതൃകയായിരുന്നു ദെക്കാർത്തേ മുന്നോട്ടു വെച്ചത്.

തുടർന്നുള്ള ഏതാനും നൂറ്റാണ്ടുകളിലെ ഈ മാതൃകകളുടെ വികാസത്തിന്റെ ചരിത്രം താല്പര്യമുണർത്തുന്നതാണ്. 1669 ൽ ബാർത്തോളിനസ് പ്രകാശത്തിന്റെ ഇരട്ട അപവർത്തനം കണ്ടെത്തുകയും, 1678ൽ തന്നെ തരംഗ സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ഹൈഗൻസ് ഇതിനെ വിശദീകരിക്കുകയും ചെയ്തു. ഇതൊക്കെയായിട്ടും, ഒരു

നൂറ്റാണ്ടിലധികകാലം ന്യൂട്ടന്റെ കണികാ സിദ്ധാന്തം തരംഗ സിദ്ധാന്തത്തേക്കാൾ അംഗീകരിക്കപ്പെടുകയും വിശ്വസിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്തു. ഇത് ഭാഗികമായി ആ സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ ലാളിത്യത്താലും ഭാഗികമായി സമകാലിക ഭൗതികശാസ്ത്രരംഗത്ത് ന്യൂട്ടന്റെ അപ്രമാദിത്യത്താലും ആയിരുന്നു.

തുടർന്ന് 1801 ൽ യംഗ് ഡബിൾസ്ലിറ്റ് പരീക്ഷണം നടത്തുകയും ഇന്റർഫെറൻസ് നിരകൾ നിരീക്ഷിക്കുകയും ചെയ്തു. തരംഗ സിദ്ധാന്തത്തിന് മാത്രമേ ഈ പ്രതിഭാസത്തെ വിശദീകരിക്കാനായുള്ളൂ. പ്രകാശ പ്രതിഭാസമായ ഡൈഫ്രാക്ഷനെ വിശദീകരിക്കാൻ തരംഗ സിദ്ധാന്തത്തിന് മാത്രമേ കഴിയൂ എന്നും വ്യക്തമായി. പ്രകാശ പാതയിലെ ഓരോ ബിന്ദുവിൽ നിന്നും ദ്വിതീയ തരംഗങ്ങൾ പുറപ്പെടുന്നുവെന്നത് ഹൈഗൻസിന്റെ സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ ഒരു സ്വാഭാവിക പരിണാമമായിരുന്നു. പ്രകാശം കണികകളാൽ നിർമിതമാണെന്ന് സങ്കല്പിച്ചാൽ ഈ പ്രതിഭാസങ്ങളെയൊന്നും വിശദീകരിക്കാനാവില്ല. 1810 ൽ കണ്ടെത്തിയ മറ്റൊരു പ്രകാശ പ്രതിഭാസമായ പോളറൈസേഷൻ വിശദീകരിക്കാനും തരംഗ സിദ്ധാന്തത്തിനായി. അങ്ങനെ ഹൈഗൻസിന്റെ തരംഗ സിദ്ധാന്തം മുന്നിലേക്ക് വരികയും ന്യൂട്ടന്റെ കണികാ സിദ്ധാന്തം പുറകിലാവുകയും ചെയ്തു. ഈ അവസ്ഥ ഏതാണ്ട് ഒരു നൂറ്റാണ്ടോളം തുടർന്നു.

പ്രകാശവേഗത കണ്ടെത്താൻ കുറേക്കൂടി മികച്ച പരീക്ഷണങ്ങൾ പത്തൊമ്പതാം നൂറ്റാണ്ടിൽ നടക്കുകയുണ്ടായി. കൃത്യതയാർന്ന പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ ശൂന്യതയിലെ പ്രകാശവേഗത 3×10^8 m/s ആണെന്ന് കണ്ടെത്തി. 1860 കളിൽ മാക്സ്വെൽ വൈദ്യുത കാന്തികതയുമായി ബന്ധപ്പെട്ട സമവാക്യങ്ങൾ നിർദേശിക്കുകയും, അക്കാലത്ത് അറിയപ്പെട്ടിരുന്ന എല്ലാ വൈദ്യുതകാന്തിക പ്രതിഭാസങ്ങളേയും മാക്സ്വെല്ലിന്റെ നാല് സമവാക്യങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് വിശദീകരിക്കുകയും ചെയ്തു. താമസിയാതെ തന്നെ വൈദ്യുത കാന്തിക മണ്ഡലങ്ങൾ ശൂന്യതയിലൂടെ വൈദ്യുത കാന്തിക തരംഗങ്ങളായി സഞ്ചരിക്കുമെന്നും മാക്സ്വെൽ തെളിയിച്ചു. അദ്ദേഹം ഈ തരംഗങ്ങളുടെ വേഗത 2.998×10^8 m/s ആയിരിക്കുമെന്ന് സൈദ്ധാന്തികമായി കണ്ടെത്തി. പരീക്ഷണത്തിലൂടെ കണ്ടെത്തിയ മൂല്യവുമായി ഇത് ഏറെ അടുത്തു നിൽക്കുന്നു എന്നത് പ്രകാശം വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗമാണെന്ന ആശയത്തിലേക്ക് നയിച്ചു. 1887 ൽ ഹെർട്സ് ഇത്തരം തരംഗങ്ങൾ ഉൽപാദിപ്പിക്കുകയും അവയുടെ സാന്നിധ്യം തിരിച്ചറിയുകയും ചെയ്തു. ഇത് തരംഗസിദ്ധാന്തത്തെ കൂടുതൽ ദൃഢതയുള്ളതാക്കിത്തീർത്തു. പ്രകാശത്തെ സംബന്ധിച്ച്, പതിനെട്ടാം നൂറ്റാണ്ട് കണികാ സിദ്ധാന്തത്തിന്റേതാണെങ്കിൽ പത്തൊമ്പതാം നൂറ്റാണ്ട് തരംഗ സിദ്ധാന്തത്തിന്റേതാണ്.

പൂർണമായും വ്യത്യസ്ത ഭൗതിക ശാസ്ത്രമേഖലകളായ താപത്തിലും അനുബന്ധ പ്രതിഭാസങ്ങളിലും നിരവധി പരീക്ഷണങ്ങളാണ് 1850-1900 കാലത്ത് നടന്നത്. ഗതികസിദ്ധാന്തം, താപഗതികം തുടങ്ങിയ സിദ്ധാന്തങ്ങളും മാതൃകകളും വികസിപ്പിക്കുകയും, ഒന്നൊഴികെ വ്യത്യസ്തങ്ങളായ പ്രതിഭാസങ്ങളെ വിജയകരമായി വിശദീകരിക്കുകയും ചെയ്തു.

ഏതു താപനിലയിലുള്ള വസ്തുക്കളും എല്ലാ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളും ഉത്സർജിക്കുന്നു. കൂടാതെ, അതിൽ പതിക്കുന്ന എല്ലാ വികിരണങ്ങളെയും അത് ആഗിരണം ചെയ്യുന്നു. ഒരു വസ്തുവിൽ പതിക്കുന്ന എല്ലാ വികിരണങ്ങളെയും അത് ആഗിരണം ചെയ്യുന്നുവെങ്കിൽ അത്തരം വസ്തുവിനെ തമോവസ്തു (black body)എന്ന് പറയുന്നു. പോയിന്റ് മാസ്, സമചലനം എന്നിവപോലെ ഫിസിക്സിലെ ഒരു കാല്പനിക ആശയമാണിത്. ഒരു വസ്തു പുറത്തുവിടുന്ന വികിരണത്തിന്റെ തീവ്രതയും തരംഗദൈർഘ്യവും തമ്മിൽ വരക്കുന്ന ഗ്രാഫിനെ ബ്ലാക്ക് ബോഡി സ്പെക്ട്രം എന്നു പറയുന്നു. ബ്ലാക്ക് ബോഡി സ്പെക്ട്രത്തെ പൂർണമായി വിശദീകരിക്കുന്ന ഒരു സിദ്ധാന്തവും അക്കാലത്ത് ഉണ്ടായിരുന്നില്ല.

1900ൽ പ്ലാങ്ക് ഒരു നൂതന ആശയം കണ്ടെത്തി. തുടർച്ചയായ തരംഗം എന്നതിനുപകരം വികിരണത്തെ ഊർജപാക്കറ്റുകളായി പരിഗണിച്ചാൽ തമോവസ്തുസ്പെക്ട്രത്തെ വിശദീകരിക്കാനാകുമെന്ന് അദ്ദേഹംഅഭിപ്രായപ്പെട്ടു. ഈ പാക്കറ്റുകളെ അഥവാ ക്വാണ്ടങ്ങളെ ആഗിരണത്തിന്റെയും ഉത്സർജനത്തിന്റെയും സവിശേഷതയായിട്ടാണ് അദ്ദേഹം പരിഗണിച്ചത്. എല്ലാ സ്പെക്ട്രത്തിനും അനുയോജ്യമായ ഒരു സൂത്രവാക്യം അദ്ദേഹം ഉരുത്തിരിച്ചെടുത്തു. തരംഗകണികാ ചിത്രങ്ങളുടെ അതിശയിപ്പിക്കുന്ന ഒരു മിശ്രണമാണ് ഇത്. വികിരണം കണികകളായി ഉത്സർജിക്കപ്പെടുകയും തരംഗമായി സഞ്ചരിക്കുകയും വീണ്ടും കണികയായി ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇത് ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞരെ ചിന്താക്കുഴപ്പത്തിലാക്കി. ഒരു പ്രതിഭാസം മാത്രം വിശദീകരിക്കാൻ പ്രകാശത്തിന്റെ കണികാചിത്രത്തെ നാം വീണ്ടും സ്വീകരിക്കണോ? അങ്ങനെയായാൽ കണികാമാതൃകയ്ക്ക് വിശദീകരിക്കാനാകാത്ത പ്രതിഭാസങ്ങളായ ഇന്റർഫറൻസിനും ഡൈഫ്രാക്ഷനും എന്തു സംഭവിക്കും?

എന്നാൽ, ഏറെത്താമസിയാതെ 1905ൽ പ്രകാശത്തിന്റെ കണികാചിത്രംപരിഗണിച്ച് ഐൻസ്റ്റൈൻ ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവത്തെ വിശദീകരിച്ചു. ക്രിസ്റ്റലൈൻ ഖരവസ്തുക്കളിലെ ലാറ്റിസ് വൈബ്രേഷനുകളിൽ കണികാചിത്രം സന്നിവേശിപ്പിച്ച് ഖരവസ്തുക്കളുടെ താഴ്ന്ന താപനിലയിലെ സ്പെസിഫിക് ഹീറ്റ് 1907ൽ ഡിബേ വിശദീകരിച്ചു. ഫിസിക്സിലെ വ്യാപകവും വിഭിന്നവുമായ മേഖലകളിലെ ഈ രണ്ട് പ്രതിഭാസങ്ങളും വിശദീകരിക്കുന്നത് തരംഗമാതൃകയുപയോഗിച്ചല്ല, മറിച്ച് കണികാമാതൃക ഉപയോഗിച്ചാണ്. 1923ൽ നടത്തിയ ആറ്റങ്ങൾ മൂലമുള്ള കോംപ്റ്റൺ റേ വിസരണം കണികാചിത്രത്തിനു അനുകൂലമായിരുന്നു. ഇത് ആശയക്കുഴപ്പം വീണ്ടും വർധിപ്പിച്ചു.

1923 ആയപ്പോഴേക്കും ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞർ താഴെ പറയുന്ന സാഹചര്യങ്ങളെ അഭിമുഖീകരിക്കേണ്ടിവന്നു. (a) നേർരേഖാചലനം, പ്രതിപതനം, അപവർത്തനം പോലെയുള്ള പ്രതിഭാസങ്ങളെ കണികാമാതൃകയോ തരംഗമാതൃകയോ ഉപയോഗിച്ച് വിശദീകരിക്കാനായി. (b) ഡൈഫ്രാക്ഷൻ, ഇന്റർഫറൻസ് എന്നീ പ്രതിഭാസങ്ങൾ വിശദീകരിക്കാൻ തരംഗമാതൃകയ്ക്ക് മാത്രമേ കഴിഞ്ഞുള്ളൂ. (c) തമോവസ്തു വികിരണം, ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവം, കോംപ്റ്റൺ പ്രഭാവം തുടങ്ങിയ പ്രതിഭാസങ്ങൾ കണികാമാതൃകയ്ക്ക് മാത്രം വിശദീകരിക്കാൻ കഴിയുന്നവയായിരുന്നു. ആ കാലത്ത് ഇങ്ങനെ ആരോ തമാശയായി പറയുകയുണ്ടായി: തിങ്കൾ, ബുധൻ, വെള്ളി ദിവസങ്ങളിൽ പ്രകാശം കണികയെപ്പോലെ പെരുമാറും, എന്നാൽ ചൊവ്വ, വ്യാഴം, ശനി ദിവസങ്ങളിൽ തരംഗത്തെപ്പോലെയും, ഞായറാഴ്ച പ്രകാശത്തെക്കുറിച്ച് നമ്മൾ മിണ്ടരുത്.

ദേബ്രോയ് 1924ൽ തരംഗകണികാ ദ്വൈതസ്വഭാവം മുന്നോട്ട് വെക്കുകയും, അതിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ ഫോട്ടോണുകൾ മാത്രമല്ല ഇലക്ട്രോണുകൾ, ആറ്റങ്ങൾ തുടങ്ങിയ ദ്രവ്യത്തിന്റെ കണികകൾക്കും ദ്വൈതസ്വഭാവം ഉണ്ടായിരിക്കുമെന്നും, അവ ചിലപ്പോൾ തരംഗത്തെപ്പോലെയും മറ്റുചിലപ്പോൾ കണികയെപ്പോലെയും പെരുമാറുന്നുവെന്നും പ്രഖ്യാപിക്കുകയും ചെയ്തു. അവയുടെ മാസ്, പ്രവേഗം, ആക്കം (കണികാസ്വഭാവങ്ങൾ) എന്നിവ തരംഗദൈർഘ്യം, ആവൃത്തി (തരംഗസ്വഭാവങ്ങൾ) എന്നിവയുമായി ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന സമവാക്യം അദ്ദേഹം നല്കുകയുണ്ടായി! 1927ൽ തോംസൺ, ഡേവിസൺ, ജെർമർ എന്നിവർ വ്യത്യസ്തങ്ങളായ പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ ഇലക്ട്രോണുകൾ തരംഗത്തിന്റെ സ്വഭാവം പ്രകടിപ്പിക്കുന്നുവെന്നും, അതിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം ദേബ്രോയ് സമവാക്യം ഉപയോഗിച്ച് ലഭിക്കുന്നതാണെന്നും തെളിയിച്ചു. ക്രിസ്റ്റലൈൻ ഖര വസ്തുക്കളിലൂടെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഡൈഫ്രാക്ഷനിലായിരുന്നു അവരുടെ

പരീക്ഷണങ്ങൾ, ഇത്തരം പരീക്ഷണത്തിൽ ആറ്റങ്ങളുടെ ക്രമമായ വിതരണം ഒരു ഗ്രേറ്റിംഗ് പോലെ പ്രവർത്തിക്കുന്നുവെന്ന ആശയവും ഉരുത്തിരിഞ്ഞു. പിന്നീട് ന്യൂട്രോണുകൾ, പ്രോട്ടോണുകൾ തുടങ്ങിയ മറ്റു കണങ്ങളുപയോഗിച്ചും ഡൈഫ്രാക്ഷൻ പരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തുകയും, ദേബ്രോയ് സൂത്രവാക്യം അവയിലും ബാധകമാണെന്ന് കണ്ടെത്തുകയും ചെയ്തു. ഇത് തരംഗകണികാ ദ്വൈതസ്വഭാവം ഫിസിക്സിലെ ഒരു അംഗീകൃത സിദ്ധാന്തമായി സ്ഥിരീകരിച്ചു. പ്രകാശത്തിനു മാത്രമല്ല, മറ്റു കണികകളുടെ കാര്യത്തിലും മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ച എല്ലാ പ്രതിഭാസങ്ങളും വിശദീകരിക്കുന്ന സിദ്ധാന്തമാണിതെന്ന് ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞർ ചിന്തിച്ചു.

എങ്കിലും തരംഗകണികാദ്വൈതത്തിന് യാതൊരു സൈദ്ധാന്തികാടിത്തറയും ഉണ്ടായിരുന്നില്ല. പ്രകൃതിയുടെ സമമിതി അടിസ്ഥാനമാക്കിയുള്ള കേവലം ഗുണാത്മകമായവാദഗതിയായിരുന്നു ദേബ്രോയിയുടേത്. തരംഗകണികാ ദ്വൈതസ്വഭാവം അടിസ്ഥാന സിദ്ധാന്തങ്ങളുടെ പരിണതഫലമായുള്ളതല്ലയെങ്കിലും ഒരു മികച്ച സിദ്ധാന്തം തന്നെയായിരുന്നു. ദേബ്രോയിയുടെ സൂത്രവാക്യവുമായി ഒത്തുപോകുന്ന എല്ലാ പരീക്ഷണങ്ങൾക്കും ഇത് വാസ്തവമായിരുന്നു. ഫിസിക്സിലെ ഏതൊരു വസ്തുതയും പരീക്ഷണസ്ഥിരീകരണം ആവശ്യമുള്ള ഒന്നാണ്. മാത്രമല്ല, നിർദേശിക്കപ്പെടുന്ന മാതൃകയ്ക്ക് ശക്തമായ സൈദ്ധാന്തിക അടിത്തറ ഉണ്ടായിരിക്കണം. അടുത്ത രണ്ടു ദശകങ്ങളിൽ ദെബ്രോയിയുടെ സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ കാര്യത്തിലും ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിന്റെ ഈ അടിസ്ഥാന നിബന്ധനകൾ വികസിപ്പിക്കപ്പെട്ടു. 1928ൽ ഡിറാക് വികിരണ സിദ്ധാന്തം വികസിപ്പിക്കുകയും, 1930ൽ ഹൈസൻബർഗും പോളിയും അതിന് ശക്തമായ അടിത്തറ നല്കുകയും ചെയ്തു. 1940കളുടെ അവസാനകാലത്ത് ടോമോനാഗ, ഷിൻഗെർ, ഫെയ്ൻമാൻ എന്നിവർ ഈ സിദ്ധാന്തത്തെ കൂടുതൽ സ്ഫുടം ചെയ്തെടുക്കുകയും, അതിൽ ശ്രദ്ധയിൽപെട്ട പൊരുത്തക്കേടുകൾ പരിഹരിക്കുകയും ചെയ്തു. ഈ സിദ്ധാന്തങ്ങളെല്ലാം തരംഗകണികാ ദ്വൈതസിദ്ധാന്തത്തെ ശക്തമായ അടിത്തറയുള്ളതാക്കിത്തീർത്തു.

ഈ ചരിത്രം തുടരുന്നുവെങ്കിലും, ഈ കുറിപ്പിന്റെ വ്യാപ്തിക്കതീതമായ വിധം ഇത് കൂടുതൽ സങ്കീർണമായി വളരുകയാണ്. മുകളിലെ വിവരണങ്ങളിലൂടെ ഈ മേഖലയിൽ സംഭവിച്ചുകൊണ്ടിരുന്നതിന്റെ അടിസ്ഥാനഘടന നമുക്കിപ്പോഴറിയാം, ഈ അവസരത്തിൽ നാം ഇത്രയും മനസ്സിലാക്കിയാൽ മതി. വിവിധ പരീക്ഷണങ്ങളിലും മറ്റു ചിലപ്പോൾ ഒരേ പരീക്ഷണത്തിന്റെ വ്യത്യസ്ത ഘട്ടങ്ങളിൽ പോലും വൈദ്യുതകാന്തികവികിരണവും ദ്രവ്യകണികകളും തരംഗത്തിന്റെയും കണികയുടെയും ഗുണങ്ങൾ പ്രകടിപ്പിക്കുന്നു എന്നതിന്റെ സ്വാഭാവിക പരിണതിയാണ് ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിലെ ഇത്തരം സിദ്ധാന്തങ്ങൾ എന്ന് പരിഗണിക്കപ്പെടുന്നു.

അധ്യായം പന്ത്രണ്ട്

ആറ്റങ്ങൾ (ATOMS)

G8R2A6

12.1 ആമുഖം

അറ്റോമിക സിദ്ധാന്തത്തിന് ശക്തി പകരുന്ന ഒട്ടേറെ തെളിവുകൾ ദ്രവ്യത്തിന്റെ അറ്റോമിക പരികൽപനയുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ 19-ാം നൂറ്റാണ്ടോടെ തന്നെ ലഭിച്ചിരുന്നു. 1897ൽ ഇംഗ്ലീഷ് ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞൻ ജെ.ജെ.തോംസൺ (1856-1940) വാതകങ്ങളിലൂടെ വൈദ്യുതി പ്രവഹിപ്പിച്ച് നടത്തിയ പരീക്ഷണങ്ങൾ വഴി വ്യത്യസ്ത മൂലകങ്ങളുടെ ആറ്റങ്ങളിൽ നെഗറ്റീവ് ചാർജുള്ള ഘടകങ്ങളെ (ഇലക്ട്രോണുകൾ) കണ്ടെത്തിയിരുന്നു, എല്ലാ ആറ്റങ്ങളിലും ഇവ ഒരേ പോലെയാണ്. പക്ഷെ ആറ്റങ്ങൾ ചാർജില്ലാത്ത ന്യൂട്രൽ കണങ്ങളാണല്ലോ? അങ്ങനെയെങ്കിൽ ഒരാറ്റത്തിനകത്ത് നെഗറ്റീവ് ചാർജിനെ നിഷ്ക്രിയമാക്കത്തക്ക പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള കണങ്ങളും ഉണ്ടാവേണ്ടതല്ലേ? അങ്ങനെയെങ്കിൽ ഒരാറ്റത്തിനുള്ളിൽ ഇലക്ട്രോണുകളുടെയും പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള കണങ്ങളുടെയും ക്രമീകരണമെങ്ങനെയായിരിക്കും? ചുരുക്കത്തിൽ എന്താണ് ഒരാറ്റത്തിന്റെ ഘടന?

ആറ്റത്തിന്റെ മാതൃക ആദ്യം നിർദ്ദേശിച്ചത് 1898ൽ ജെ.ജെ.തോംസൺ ആയിരുന്നു. അദ്ദേഹത്തിന്റെ മാതൃക പ്രകാരം പോസിറ്റീവ് ചാർജ് ആറ്റത്തിന്റെ ഉള്ളളവിലുടനീളം ഒരു പോലെ വ്യാപിച്ചിരിക്കുന്നു. നെഗറ്റീവ് ചാർജാകട്ടെ ഒരു തണ്ണിമത്തങ്ങയിൽ വിത്തുകൾ എന്ന പോലെ അതിനകത്ത് വിന്യസിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഈ മാതൃകയെ പ്ലം പുഡ്ഡിംങ്ങ് മാതൃക (Plum Pudding Model) എന്നു വിളിക്കുന്നു. പക്ഷെ പിന്നീടുള്ള പഠനങ്ങളിൽ നിന്നും ആറ്റത്തിനകത്തെ പോസിറ്റീവ് നെഗറ്റീവ് കണങ്ങളുടെ വിന്യാസം ഈ മാതൃകയിൽ നിന്നും തീർത്തും വ്യത്യസ്തമാണെന്ന് കാണുകയുണ്ടായി.

സാന്ദ്രീകൃത ദ്രവ്യം (condensed matter) (ഖരവസ്തുക്കളും, ദ്രാവകങ്ങളും), സാന്ദ്രതയേറിയ വാതകങ്ങൾ എന്നിവ എല്ലാ താപനിലയിലും വ്യത്യസ്ത തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിലുള്ള വൈദ്യുത കാന്തിക വികിരണങ്ങൾ ഉൽസർജിക്കുന്നുവെന്ന് നമുക്കറിയാമല്ലോ?

ആറ്റങ്ങളുടെയും തന്മാത്രകളുടെയും ദോലനത്താലും തൊട്ടടുത്തുള്ള ആറ്റങ്ങളുമായുമുള്ള പ്രതിപ്രവർത്തനം കൊണ്ടുമാണ് ഇതുണ്ടാകുന്നതെന്നായിരുന്നു കരുതപ്പെട്ടത്. സാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ വാതകങ്ങൾ ചൂടാക്കുമ്പോഴും, അത് ഉൾക്കൊള്ളുന്ന കുഴലിൽക്കൂടി വൈദ്യുതി കടത്തിവിട്ട് ഉത്തേജിപ്പിക്കുമ്പോഴും (നമുക്ക് സുപരിചിതമായ നിയോൺ വർണ്ണ പരസ്യപ്പലകകളിലും മെർക്കുറി ബാഷ്പ വിളക്കുകളിലും ഇതാണ് ചെയ്യുന്നത്) അവ സവിശേഷ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വികിരണങ്ങളാണ് പ്രസരിപ്പിക്കുന്നത്. ഇതിന്റെ വർണ്ണരാജി (spectrum) തെളിഞ്ഞ രേഖകളുടെ ഒരു ശ്രേണിയായാണ് കാണപ്പെടുന്നത്. മേൽപ്പറഞ്ഞ വാതകങ്ങളിൽ ആറ്റങ്ങൾക്കിടയിലെ ശരാശരി അകലം കൂടുതലായിരിക്കും. അതുകൊണ്ട് ഈ വികിരണങ്ങൾ ആറ്റങ്ങൾ അല്ലെങ്കിൽ തന്മാത്രകൾ തമ്മിലുള്ള പ്രതിപ്രവർത്തനത്തിനപ്പുറം ആറ്റങ്ങൾ തന്നെ പുറപ്പെടുവിക്കുന്നതാകാനാണ് സാദ്ധ്യത.

ഓരോ മൂലകത്തിനും തനതായ ഒരു വികിരണ വർണരാജി (spectrum of radiation) ഉണ്ടെന്ന് പത്തൊമ്പതാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ തുടക്കത്തിൽ തന്നെ സ്ഥിരീകരിക്കപ്പെട്ടിരുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന് ഹൈഡ്രജന്റെ സ്പെക്ട്രത്തിൽ, കൃത്യമായ ആപേക്ഷിക അകലത്തിലുള്ള ഒരു കൂട്ടം രേഖകളാണുള്ളത്. ഒരാറ്റത്തിന്റെ ആന്തരിക ഘടനയും അത് ബഹിർഗമിപ്പിക്കുന്ന വികിരണങ്ങളും തമ്മിൽ ഗാഢബന്ധമുണ്ടെന്ന് ഈ വസ്തുത പരിശോധിച്ചാലറിയാം. ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്രത്തിലെ രേഖകളുടെ തരംഗദൈർഘ്യം കണ്ടെത്താനുള്ള കൃത്യമായ ഒരു ലഘുസൂത്രവാക്യം 1885ൽ ജോഹൻ ജേക്കബ് ബാമർ (Johan Jakob Balmer) കണ്ടെത്തിയിരുന്നു (1825-1898). നമുക്കറിയാവുന്നതിൽവെച്ച് ഏറ്റവും ലളിതമായ മൂലകം ഹൈഡ്രജൻ ആയതിനാൽ ഈ അധ്യായത്തിൽ നമുക്ക് ഹൈഡ്രജന്റെ സ്പെക്ട്രം വിശദമായി പരിഗണിക്കാം.

ചില റേഡിയോ ആക്ടീവ് മൂലകങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന α -കണങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചുള്ള പരീക്ഷണങ്ങളിൽ വ്യാപൃതനായിരുന്ന (ജെ.ജെ.തോംസണിന്റെ ഗവേഷണ വിദ്യാർത്ഥിയായിരുന്ന) ഏൺസ്റ്റ് റഥർഫോർഡ് (Ernst Rutherford- 1871-1937) 1906 – ൽ ആറ്റത്തിന്റെ ഘടന α കണങ്ങളുടെ വിസരണം ഉപയോഗിച്ചുള്ള പരീക്ഷണം വഴി കണ്ടെത്താനാവുമെന്ന് നിർദ്ദേശിച്ചു. പിന്നീട് 1911 ൽ ഈ പരീക്ഷണം ഹാൻസ് ഗൈഗറും (Hans Geiger) (1882-1945) അന്ന് ബിരുദം പോലും നേടിയിട്ടില്ലായിരുന്ന ഏൺസ്റ്റ് മാർസ്ഡണും (Ernst Marsden) (1889-1970) ചേർന്ന് നടത്തി. ഇതിന്റെ വിശദാംശങ്ങൾ ഭാഗം 12.2ൽ ചർച്ച ചെയ്യുന്നുണ്ട്. ഈ പരീക്ഷണ ഫലങ്ങളുടെ വിശദീകരണം റദർഫോർഡിനെ ആറ്റത്തിന്റെ പ്ലാനറ്ററി മാതൃക (ന്യൂക്ലിയർ മാതൃക) യുടെ ആവിഷ്കാരത്തിലേക്ക് നയിച്ചു. ഈ മാതൃക പ്രകാരം ആറ്റത്തിന്റെ മുഴുവൻ പോസിറ്റീവ് ചാർജും ഏകദേശം മുഴുവൻ മാസും ന്യൂക്ലിയസ്സെന്നു വിളിക്കപ്പെടുന്ന ഒരു ചെറിയ ഉള്ളളവിൽ കേന്ദ്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇലക്ട്രോണുകളാകട്ടെ, സൂര്യനു ചുറ്റും ഗ്രഹങ്ങളെന്നപോലെ ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റും കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

ആറ്റത്തെ സംബന്ധിച്ച നമ്മുടെ ഇന്നത്തെ കാഴ്ചപ്പാടിലേക്കു നയിച്ച ഒരു സുപ്രധാന ചവിട്ടുപടി റഥർഫോർഡിന്റെ ഈ ന്യൂക്ലിയർ മാതൃകയായിരുന്നു. പക്ഷെ ഈ മാതൃകയ്ക്ക് ആറ്റങ്ങൾ എന്തുകൊണ്ടാണ് സവിശേഷ തരംഗദൈർഘ്യത്തിലുള്ള വികിരണങ്ങൾ മാത്രം ഉൽസർജിക്കുന്നത് എന്നതിന് വിശദീകരണം നൽകാൻ കഴിഞ്ഞില്ല. ഹൈഡ്രജനെപ്പോലെ ഒരു പ്രോട്ടോണും ഒരു ഇലക്ട്രോണും മാത്രമുള്ള ആറ്റം എങ്ങനെയാണ് വിവിധ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള സങ്കീർണ്ണമായ സ്പെക്ട്രം ഉൽസർജിക്കു

ഏൺസ്റ്റ് റഥർഫോർഡ് (1871 - 1937) റേഡിയോ ആക്ടീവ് ഉൽസർജനത്തെ സംബന്ധിച്ച കണ്ടുപിടുത്തങ്ങൾ നടത്തിയ ബ്രിട്ടീഷ് ഊർജതന്ത്രജ്ഞൻ. ആൽഫാ കണങ്ങളും ബീറ്റാ കണങ്ങളും ഇദ്ദേഹമാണ് കണ്ടുപിടിച്ചത്. ഫെഡറിക് സോഡിയുമായിച്ചേർന്ന് റേഡിയോ ആക്ടീവതയുടെ ആധുനിക സിദ്ധാന്തങ്ങൾ അവതരിപ്പിച്ചു. തോറിയത്തിന്റെ റേഡിയോ ഉൽസർജനത്തിൽ നടത്തിയ ഗവേഷണം റാഡോണിന്റെ ഐസോടോപ്പായ തോറോൺ എന്ന ഉത്കൃഷ്ടവാതകത്തിന്റെ കണ്ടെത്തലിൽ കലാശിച്ചു. ആൽഫാ കണങ്ങൾക്ക് ലോഹത്തകിടിൽ സംഭവിക്കുന്ന വിസരണം നിരീക്ഷിച്ച് ആറ്റത്തിന് ന്യൂക്ലിയസ്സുണ്ടെന്ന് കണ്ടെത്തി. ആറ്റത്തിന്റെ സൗരയൂഥ മാതൃക അവതരിപ്പിച്ചു. ആറ്റത്തിന്റെ ഏകദേശ വലുപ്പവും കണ്ടെത്തി.

ഏൺസ്റ്റ് റഥർഫോർഡ് (1871 – 1937)

ന്നത്? ആറ്റത്തെ സംബന്ധിച്ച ഈ പരമ്പരാഗത കാഴ്ചപ്പാടിൽ ഗ്രഹങ്ങൾ സൂര്യനു ചുറ്റും ഭ്രമണം ചെയ്യുന്നതുപോലെയാണ് ഇലക്ട്രോണുകൾ ന്യൂക്ലിയസ്സിനു ചുറ്റും കറങ്ങുന്നത്. പക്ഷെ ഈ മാതൃക സ്വീകരിക്കുന്നതിന് ഗൗരവതരമായ ചില തടസ്സങ്ങളുണ്ട്.

12.2 α കണങ്ങളുടെ വിസരണവും റഥർഫോർഡിന്റെ ന്യൂക്ലിയർ മാതൃകയും (Alpha particle scattering and Rutherford's model of atom)

1911-ൽ ഏണസ്റ്റ് റദർഫോർഡ് നിർദ്ദേശിച്ചതു പോലെ എച്ച്. ഗൈഗറും ഇ. മാർസ്ഡണും ചേർന്ന് ചില പരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തി. അവരുടെ ഒരു പരീക്ഷണത്തിന്റെ ചിത്രം 12.1ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. റേഡിയോ ആക്ടീവ് ഉൽസർജനം നടത്തുന്ന $^{214}_{83}Bi$ ൽ നിന്നുള്ള 5.5 MeV ഊർജവാഹികളായ α കണങ്ങൾ ഈയക്കട്ടകൾക്കിടയിലൂടെ കടത്തിവിട്ടാണ് അവർ പരീക്ഷണം നടത്തിയത്. ഈ കണങ്ങളെ 2.1×10^{-7}m കനമുള്ള സ്വർണ്ണത്തകിടിലേക്ക് പതിപ്പിച്ചു. വിസരണം സംഭവിച്ച α കണങ്ങളെ സിങ്ക് സൾഫൈഡ് സ്ക്രീനും മൈക്രോസ്കോപ്പും അടങ്ങിയ, കറക്കുവാൻ കഴിയുന്ന തരത്തിൽ ക്രമീകരിച്ചിട്ടുള്ള ഒരു ഡിറ്റക്റ്റർ (detector) ഉപയോഗിച്ച് നിരീക്ഷിച്ചു. വിസരണം സംഭവിച്ച α കണങ്ങൾ സ്ക്രീനിൽ പതിക്കുമ്പോൾ പ്രകാശത്തിന്റെ ചെറിയ സ്ഫുരണങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കും. ഇവ മൈക്രോസ്കോപ്പിലൂടെ നിരീക്ഷിക്കാനാകും. ഇത്തരം നിരീക്ഷണത്തിലൂടെ വിസരണത്തിന് വിധേയമായ α കണങ്ങളുടെ എണ്ണത്തിന്റെ വിതരണം വിസരണകോണിന്റെ (Scattering angle) ഫലനമായി പഠിക്കാൻ കഴിയും.

ചിത്രം 12.1 ജൈഗർ- മാർസ്ഡൺ വിസരണ പരീക്ഷണം. ഉപകരണം പൂർണമായും ശൂന്യ അറ (Vacuum chamber) (ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിട്ടില്ല) യിൽവെച്ചിരിക്കുന്നു

ചിത്രം 12.2 ജൈഗർ- മാർസ്ഡൺ പരീക്ഷണത്തിന്റെ രൂപരേഖ

ചിത്രം 12.3ൽ ഒരു പ്രത്യേക സമയപരിധിക്കുള്ളിൽ വിവിധ കോണുകളിൽ വിസരണം ചെയ്യപ്പെട്ട α കണങ്ങളുടെ എണ്ണം കാണിക്കുന്ന ഒരു ഗ്രാഫ് കൊടുത്തിരിക്കുന്നു. ഈ

ചിത്രത്തിലെ കുത്തുകൾ പരീക്ഷണത്തിൽ ലഭ്യമായ ഡാറ്റായെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു. വക്രരേഖ ആറ്റത്തിന് സാന്ദ്രതയേറിയ, പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള ഒരു ചെറിയ ന്യൂക്ലിയസുണ്ടെന്ന സിദ്ധാന്തമനുസരിച്ചു വരച്ചിട്ടുള്ളതുമാണ്. മിക്കവാറും α കണങ്ങൾ വ്യതിയാനമൊന്നും കൂടാതെ സ്വർണ്ണത്തിന്റെ നേർത്ത തകിടിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നു. അതിനർഥം അവ യാതൊന്നുമായി കൂട്ടിയിടിക്കുന്നില്ല എന്നാണ്. 1^0 യിൽ കൂടുതൽ വിസരണം സംഭവിക്കുന്നത് 0.14% α കണങ്ങൾക്കു മാത്രമാണ്. 8000 α കണങ്ങളിൽ ഒന്നിനുമാത്രമേ 90" യിൽ അധികം ഭ്രംശം സംഭവിക്കുന്നുള്ളൂ. ചില α കണങ്ങൾ പുറകിലേക്ക് ഭ്രംശിക്കപ്പെടണമെങ്കിൽ അവ വലിയ ഒരു വികർഷണ ബലത്തിനു വിധേയമാകേണ്ടി വരുമെന്ന് റദർ ഫോർഡ് അഭിപ്രായപ്പെട്ടു. ആറ്റത്തിന്റെ മാസിന്റെ വലിയൊരു ഭാഗവും, അതിന്റെ പോസിറ്റീവ് ചാർജും മധ്യഭാഗത്തുള്ള ഒരു ചെറിയ സ്ഥലത്ത് ദൃഢമായി കേന്ദ്രീകരിച്ചെങ്കിൽ മാത്രമേ ഇത്രയും വികർഷണബലം നൽകാൻ സാധിക്കൂ. ഈ പോസിറ്റീവ് ചാർജിന് വളരെയടുത്ത് എത്തപ്പെടുന്ന α കണങ്ങൾ ചാർജിൽ തുളച്ചു കയറാതെ ഒരു വലിയ വിഭ്രംശത്തിനു വിധേയമാകുന്നു. ഈ വാദം ന്യൂക്ലിയർ ആറ്റം മാതൃകയുടെ പരികൽപനയ്ക്ക് കരുത്തേകി. അതുകൊണ്ടാണ് ന്യൂക്ലിയസ് കണ്ടെത്തിയതിന്റെ ബഹുമതി റഥർഫോർഡിനു നൽകുന്നത്.

ചിത്രം 12.3 ചിത്രം 12.1 ലും 12.2 ലും കാണിച്ചിരിക്കുന്ന പരീക്ഷണത്തിൽ ഗൈഗറിനും മാർസഡനും, ലഭിച്ച നേർത്ത തകിടുമൂലം വിവിധ കോണുകളിൽ വിസരണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന α കണങ്ങൾ (കുത്തുകളായി കാണിച്ചത്). റഥർഫോർഡിന്റെ മാതൃക പ്രകാരം ഒരു വക്രരേഖയാണ് ലഭിക്കേണ്ടത്. പരീക്ഷണ ഫലം ഇത് സാധൂകരിക്കുന്നു

റഥർഫോർഡിന്റെ ആറ്റത്തിന്റെ ന്യൂക്ലിയാർ മാതൃകയിൽ ആറ്റത്തിന്റെ മുഴുവൻ പോസിറ്റീവ് ചാർജും മാസിന്റെ ഭൂരിഭാഗവും ന്യൂക്ലിയസിൽ കേന്ദ്രീകരിച്ചിരിക്കുകയും ഇലക്ട്രോണുകൾ കുറച്ചകലത്തിൽ ക്രമീകരിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതായും കാണുന്നു. സൂര്യനു ചുറ്റും ഗ്രഹങ്ങൾ എന്ന പോലെ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഇതിനു ചുറ്റും ഭ്രമണം ചെയ്യുന്നു. റഥർഫോർഡിന്റെ പരീക്ഷണങ്ങൾ കാണിക്കുന്നത് ന്യൂക്ലിയസിന്റെ വലുപ്പം 10^{-15} മീറ്ററിനും 10^{-14} നും ഇടയിലെന്നാണ്. ഗതികസിദ്ധാന്ത (11-ാം ക്ലാസിലെ ഭൗതികശാസ്ത്രം അധ്യായം 11 ഭാഗം 11.6 കാണുക) പ്രകാരം ആറ്റത്തിന്റെ വലുപ്പം 10^{-10} മീ. ആണ്. അതായത് ന്യൂക്ലിയസിന്റെ വലുപ്പത്തേക്കാൾ 10,000 മുതൽ 1,00,000 വരെ മടങ്ങ്. ഇതിനർഥം ഇലക്ട്രോണുകൾ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ വലുപ്പത്തേക്കാൾ 10,000 മുതൽ 1,00,000 വരെ മടങ്ങ് അകലെയാണെന്നാണ്. അതായത് ആറ്റത്തിനകത്തെ ഭൂരിഭാഗം സ്ഥലവും ശൂന്യമാണ്. എന്തുകൊണ്ടാണ് മിക്ക α കണങ്ങളും വ്യതിയാനമില്ലാതെ കടന്നുപോകുന്നതെന്ന് ഇതിൽ നിന്നും മനസിലാക്കാം. എന്നിരുന്നാലും ഏതെങ്കിലും α കണം ന്യൂക്ലിയസിനു അടുത്തെത്തുമ്പോൾ അവിടെയുള്ള തീവ്രമായ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ ഫലമായി വലിയ കോണളവിലേക്കു വിസരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നു. അതിന് വലിയ കോണിലുള്ള വ്യതിയാനം ഉണ്ടാകുന്നു. ആറ്റത്തിനകത്തെ ഇലക്ട്രോണുകളാവട്ടെ, വളരെ ഭാരം കുറഞ്ഞവയാകയാൽ α കണങ്ങളെ സാരമായി ബാധിക്കുന്നതേയില്ല.

ചിത്രം 12.3ൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന വിസരണ ഡാറ്റ റദർഫോർഡിന്റെ ആറ്റം മാതൃക ഉപയോഗിച്ച് വിശകലനം ചെയ്യാവുന്നതാണ്. സ്വർണ്ണത്തകിട് വളരെ നേർത്തതാകയാൽ അതിനകത്തൂടെയുള്ള പ്രയാണത്തിനിടയിൽ α കണങ്ങൾക്ക് ഒരു പ്രാവശ്യത്തിൽ കൂടുതൽ വിസരണം സംഭവിക്കുന്നില്ലായെന്നു കരുതാവുന്നതാണ്. അതുകൊണ്ട് ഒരു

ന്യൂക്ലിയസു കൊണ്ട് വിസരണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന α കണങ്ങളുടെ പാത നിർണയിച്ചാൽ മതിയാവുന്നതാണ്. α കണങ്ങൾ ഹീലിയം ന്യൂക്ലിയസ് ആകയാൽ 2 മാത്ര പോസിറ്റീവ് ചാർജാണ് (2e) വഹിക്കുന്നത്. അവയ്ക്ക് ഹീലിയം ആറ്റത്തിന്റെ മാസായിരിക്കും. സ്വർണ്ണത്തിന്റെ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ചാർജ് Ze ആണ്. (Z = അറ്റോമിക നമ്പർ = 79) സ്വർണ്ണത്തിന്റെ ന്യൂക്ലിയസ് α കണങ്ങളേക്കാൾ 50 മടങ്ങ് ഭാരക്കൂടുതലുള്ളതാകയാൽ വിസരണ പ്രക്രിയയിലുടനീളം അത് നിശ്ചലമായിരിക്കുമെന്ന് കരുതാവുന്നതാണ്. ഈ അനുമാനങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ന്യൂട്ടന്റെ രണ്ടാം ചലന നിയമവും, α കണവും പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള ന്യൂക്ലിയസും തമ്മിലുള്ള കൂളോം നിയമപ്രകാരമുള്ള വൈദ്യുതകാന്തിക വികർഷണവും പരിഗണിച്ച് α കണങ്ങളുടെ സഞ്ചാരപഥം ഗണിച്ചെടുക്കാവുന്നതാണ്.

ന്യൂക്ലിയസ് ആൽഫാകണത്തിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലത്തിന്റെ അളവ്

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(2e)(Ze)}{r^2} \qquad (12.1)$$

ഇവിടെ r എന്നത് α കണവും ന്യൂക്ലിയസും തമ്മിലുള്ള അകലം ആകുന്നു. ഈ ബലത്തിന്റെ ദിശ α കണവും ന്യൂക്ലിയസ്സും യോജിപ്പിക്കുന്ന രേഖയിലൂടെയായിരിക്കും. ഈ ബലത്തിന്റെ പരിമാണവും ദിശയും α കണം ന്യൂക്ലിയസിനോടടുക്കുമ്പോഴും അകലുമ്പോഴും തുടർച്ചയായി മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കും.

12.2.1 α കണങ്ങളുടെ സഞ്ചാരപഥം (Alphaparticle Trajectory)

ഒരു α കണത്തിന്റെ സഞ്ചാരപഥം കൊളീഷന്റെ ആഘാതപരിധി (impact parameter) b യെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ആഘാത പരിധിയെന്നാൽ α കണങ്ങളുടെ ആദ്യ പ്രവേഗ സദിശവും (initial velocity vector) ന്യൂക്ലിയസ്സിന്റെ കേന്ദ്രവും തമ്മിലുള്ള ലംബദൈർഘ്യം ആണ് (ചിത്രം 12.4 കാണുക). α കണങ്ങളുടെ ഒരു ബീമിന് (α beam) പല ആഘാത പരിധിയിലുള്ള കണങ്ങളുണ്ടാകും. അതുകൊണ്ട് അവ പല കോണുകളിലേക്കു വിസരണം ചെയ്യപ്പെടാനുള്ള സാധ്യതയുണ്ട്. (ചിത്രം 12.4) (ഒരു ബീമിൽ എല്ലാ കണങ്ങൾക്കും സമാന ഗതികോർജം ആയിരിക്കും). അണുകേന്ദ്രത്തോടടുത്ത് പതിക്കുന്ന ഒരു α കണത്തിന് ചെറിയ ആഘാതപരിധിയാകയാൽ വലിയ കോണിലുള്ള വിസരണം സംഭവിക്കും. ആഘാതപരിധി പൂജ്യത്തോടടുക്കുമ്പോൾ നേർ കൂട്ടിയിടി സംഭവിക്കുകയും α കണം സഞ്ചരിച്ച ദിശയ്ക്ക് വിപരീത ദിശയിൽ ചലിക്കുകയും ചെയ്യും ($\theta \cong \pi$). കൂടിയ ആഘാതപരിധികൾക്ക് α കണങ്ങൾ കാര്യമായ വ്യതിയാനമില്ലാതെ കടന്നുപോകും. അവയ്ക്ക് നിസ്സാരമായ വ്യതിചലനമേ സംഭവിക്കൂ. ($\theta \cong 0$)

ചിത്രം 12.4 കൂളോം മണ്ഡലത്തിൽ അണുകേന്ദ്രത്തോടടുക്കുന്ന ഒരു ആൽഫാ കണത്തിന്റെ പാത. ആഘാത പരിധി (b) യും വിസരണ കോൺ(θ)യും കാണിച്ചിരിക്കുന്നു

വളരെ ചെറിയ ഒരു ഭാഗം α കണങ്ങൾ മാത്രമേ തിരിച്ചുവരുന്നുള്ളുവെന്നത് കാണിക്കുന്നത് വളരെക്കുറച്ച് α കണങ്ങൾക്കു മാത്രമേ നേർകൂട്ടിയിടി സംഭവിക്കുന്നുള്ളുവെന്നാണ്. ഇതിൽ നിന്നും ആറ്റത്തിന്റെ മാസ് മുഴുവനായി തന്നെ ഒരു ചെറു വ്യാപ്തിയിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു എന്നനുമാനിക്കാവുന്നതാണ്. അതുകൊണ്ട് ന്യൂക്ലിയസിന്റെ പരമാവധി വലുപ്പം എത്രയായിരിക്കുമെന്ന് കണ്ടെത്താനുള്ള ശക്തമായ ഒരു മാർഗമാണ് റൂഥർഫോർഡിന്റെ വിസരണ പരീക്ഷണം.

ഉദാഹരണം 12.1 സൗരയൂഥത്തിൽ സൂര്യനു സമാനമാണ് റദർഫോർഡിന്റെ ആറ്റം മാതൃകയിൽ ന്യൂക്ലിയസ് (ആരം $=10^{-15}$m). ഇലക്ട്രോൺ ഭൂമിയോട് സദൃശമായി അതിനു ചുറ്റും പരിക്രമണം ചെയ്യുന്നു (പരിക്രമണപഥത്തിന്റെ ആരം $=10^{-10}$m). സൗരയൂഥത്തിന്റെ അളവുകൾ ആറ്റത്തിന്റെ അളവുകൾക്കു തുല്യ അനുപാതത്തിലാണെന്ന് കരുതിയാൽ ഭൂമി ഇപ്പോഴുള്ള സ്ഥാനത്തേക്കാൾ സൂര്യനോട് അടുത്തിരിക്കുമോ അതോ അകന്നിരിക്കുമോ? ഭൂമിയുടെ ഭ്രമണപഥത്തിന്റെ ആരം 1.5×10^{11}m, സൂര്യന്റെ ആരം $= 7 \times 10^{8}$m.

ഉത്തരം: ഇലക്ട്രോണിന്റെ ആരവും ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ആരവും തമ്മിലുള്ള അംശബന്ധം $= 10^{-10}/10^{-15}$m$=10^{5}$ അതായത്, ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഭ്രമണപഥത്തിന്റെ ആരം അണുകേന്ദ്രത്തിന്റെ ആരത്തിന്റെ 10^5 മടങ്ങാണ്. ഭൂമിയുടെ ഭ്രമണപഥത്തിന്റെ ആരം സൂര്യന്റെ ആരത്തിന്റെ 10^5 മടങ്ങായിരുന്നെങ്കിൽ ഭൂമിയുടെ ഭ്രമണപഥത്തിന്റെ ആരം $10^5 \times 7 \times 10^8m= 7 \times 10^{13}$ മീ. ഭൂമിയുടെ യഥാർഥ ഓർബിറ്റൽ ആരത്തേക്കാൾ ഏകദേശം 100 മടങ്ങ് കൂടുതലാണിത്. അതായത് ഭൂമി ഇപ്പോഴുള്ളതിനേക്കാൾ വളരെ അകലത്തിലായിരിക്കും. ഇത് കാണിക്കുന്നത് സൗരയൂഥത്തിനകത്തുള്ളതിനേക്കാൾ ആപേക്ഷികമായി എത്രയോ മടങ്ങ് കൂടുതലാണ് ആറ്റത്തിനകത്തുള്ള ശൂന്യസ്ഥാനം എന്നാണ്.

ഉദാഹരണം 12.1

ഉദാഹരണം 12.2 ഒരു ഗീഗർ-മാർസ്ഡൺ പരീക്ഷണത്തിൽ തൊടുത്തുവിട്ട 7.7MeV ഊർജമുള്ള ഒരു α കണം ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്നും തിരിച്ചടിക്കണമെങ്കിൽ കണത്തിന്റെ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ *ദൂരം* (distance of closest approach) എത്രയായിരിക്കണം?

ഉത്തരം: α കണവും സ്വർണ്ണത്തിന്റെ ന്യൂക്ലിയസും അടങ്ങുന്ന വ്യവസ്ഥയുടെ (system) ആകെ യാന്ത്രികോർജം സംരക്ഷിക്കപ്പെടുന്നുവെന്ന സങ്കൽപത്തിലാണ് ഈ ചോദ്യം കാണേണ്ടത്. ന്യൂക്ലിയസും α കണവും പ്രതിപ്രവർത്തിക്കുന്നതിനു മുമ്പ് വ്യൂഹത്തിന്റെ ആദ്യ യാന്ത്രികോർജം E_i, ആണെന്നെടുത്താൽ തിരിച്ചടിക്കുന്നതിനു തൊട്ടു മുമ്പ് കണം നിശ്ചലമാകുമ്പോൾ അത് E_f ആകുമെന്ന് കരുതുക. ഇവിടെ ആദ്യ ഊർജം E_i, α കണത്തിന്റെ ഗതികോർജമാണ്. അന്ത്യ ഊർജം E_f എന്നത് വ്യൂഹത്തിന്റെ വൈദ്യുത സ്ഥിതികോർജം (Electric Potential Energy) U ആണ്. U വിന്റെ വില സമീകരണം 12.1 ൽ നിന്നും കണ്ടെത്താവുന്നതാണ്.

α കണം ന്യൂക്ലിയസിനടുത്ത് നിശ്ചലമാകുന്ന ബിന്ദുവും സ്വർണ്ണത്തിന്റെ ന്യൂക്ലിയസും തമ്മിലുള്ള അകലം d എന്നെടുത്താൽ, ഊർജസംരക്ഷണ നിയമമനുസരിച്ച്

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(2e)(Ze)}{d} = \frac{2Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 d}$$

ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ സാമീപ്യ പരിധി

$$d = \frac{2Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 K}$$

സ്വാഭാവിക α കണങ്ങളുടെ പരമാവധി ഊർജം 7.7MeV $= 1.2 \times 10^{-12}$J ആണ്. അപ്പോൾ

$$d = \frac{(2)(9.0 \times 10^{9}\ \mathrm{Nm}^2/C^2)(1.6 \times 10^{-19}C)^2 Z}{1.2 \times 10^{-12}\ \mathrm{J}}$$

$$= 3.84 \times 10^{-16} Z\mathrm{m}$$

ഉദാഹരണം 12.2

PHYSICS

Sir... ale Rutherford scattering experiment
http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphy/nucleus/nucleus6_1.htm

സ്വർണ്ണത്തിന്റെ $z = 79$

അതുകൊണ്ട് 3×10^{-14} m = 30 fm. (1 fm = 10^{-15}m)

അതായത് ഈ കണക്കു പ്രകാരം സ്വർണ്ണത്തിന്റെ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ആരം 3×10^{-14} m ൽ കുറവാണ്. ഇത് പക്ഷെ സ്വർണ്ണത്തിന്റെ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ യഥാർഥ ആരമായ 6fm നേക്കാൾ വളരെ കൂടുതലാണ്. ഈ പൊരുത്തക്കേടിന് കാരണം ന്യൂക്ലിയസും α കണവും തമ്മിലുള്ള കുറഞ്ഞ ദൂരം സ്വർണ്ണത്തിന്റെ ന്യൂക്ലിയസിന്റെയും α കണത്തിന്റേയും ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ ആരങ്ങളുടെ തുകയേക്കാൾ വളരെ കൂടുതലാണെന്നതാണ്. അതായത് α കണം യഥാർഥത്തിൽ ന്യൂക്ലിയസിനെ സ്പർശിക്കുന്നതിന് എത്രയോ മുമ്പു തന്നെ തിരിച്ചടിക്കുന്നു.

12.2.2 ഇലക്ട്രോൺ ഓർബിറ്റുകൾ (Electron orbits)

റഥർഫോർഡിന്റെ ആറ്റം മാതൃകയിൽ ആറ്റം എന്നത്, മധ്യഭാഗത്ത് തീരെ ചെറുതും ഉയർന്ന മാസും പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ളതുമായ ഒരു ന്യൂക്ലിയസും അതിനുചുറ്റും നിശ്ചിതവും സുസമിരവുമായ ഭ്രമണപഥങ്ങളിൽ കറങ്ങുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളും അടങ്ങിയ വൈദ്യുതപരമായി ന്യൂട്രൽ ആയ ഒരു ഗോളം ആണ്. ഇലക്ട്രോണുകളെ ഭ്രമണപഥത്തിൽ നിർത്താനാവശ്യമായ അഭികേന്ദ്രബലം (centripetal force) F_c നൽകുന്നത് ന്യൂക്ലിയസും ഇലക്ട്രോണുകളും തമ്മിലുള്ള വൈദ്യുതാകർഷണ ബലം ആണ്. അതായത് ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഒരു സുസ്ഥിര ഭ്രമണപഥത്തെ സംബന്ധിച്ച്

$$F_c = F_e$$

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2} \qquad (12.2)$$

ഭ്രമണപഥത്തിന്റെ ആരവും ഇലക്ട്രോൺ പ്രവേഗവും തമ്മിലുള്ള ബന്ധം.

$$r = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 mv^2} \qquad (12.3)$$

ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഗതികോർജവും സ്ഥിതികോർജവും യഥാക്രമം

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} \text{ യും } U = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r} \text{ ആകുന്നു.}$$

സ്ഥിതികോർജത്തിന്റെ നെഗറ്റീവ് ചിഹ്നം കാണിക്കുന്നത് സ്ഥിതവൈദ്യുത ബലം നെഗറ്റീവ് r ന്റെ ദിശയിലാണെന്നാണ്. അതിനാൽ ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ആകെ ഊർജം,

$$E = K + U = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

$$= -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} \qquad (12.4)$$

ഇലക്ട്രോണിന്റെ ആകെ ഊർജം നെഗറ്റീവ് ആണ്. ഇത് കാണിക്കുന്നത് ഇലക്ട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസുമായി ബന്ധിതമായിരിക്കുന്നുവെന്നാണ്. E പോസിറ്റീവ് ആയാൽ ഇലക്

ട്രോണിന് ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റും അടഞ്ഞ (closed) ഒരു ഭ്രമണപഥത്തിൽ കറങ്ങാനാവില്ല.

ഉദാഹരണം. 12.3 ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തെ ഒരു പ്രോട്ടോണും ഒരു ഇലക്ട്രോണുമായി വിഭജിക്കുന്നതിന് 13.6eV ഊർജം ആവശ്യമാണെന്ന് പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ കണ്ടെത്തിയിട്ടുണ്ട്. ഇതിൽ നിന്നും ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഓർബിറ്റിന്റെ ആരവും പ്രവേഗവും കാണുക.

ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ആകെ ഊർജം $-13.6\ eV = -13.6 \times 1.6 \times 10^{-19} J = 2.2 \times 10^{-18} J$.

$$-\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} = -2.2 \times 10^{-18}\ J$$

ഓർബിറ്റിന്റെ ആരം

$$r = -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 E} = -\frac{(9 \times 10^9\ N\ m^2/C^2)(1.6 \times 10^{-19} C)^2}{(2)(-2.2 \times 10^{-18}\ J)}$$

$$= 5.3 \times 10^{-11}\ m.$$

കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണിന്റെ പ്രവേഗം സമവാക്യം 12.3 ഉപയോഗിച്ച് കണ്ടെത്താം. മാസ് $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg.

$$v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0 mr}} = 2.2 \times 10^6\ m/s.$$

ഉദാഹരണം 12.3

12.3 അറ്റോമിക സ്പെക്ട്രം (Atomic Spectra)

ഭാഗം 12.1 ൽ ഓരോ മൂലകത്തിനും അത് ഉൽസർജിക്കുന്ന സവിശേഷമായ ഒരു വികിരണ സ്പെക്ട്രം ഉണ്ടെന്നു നാം കണ്ടു. ഒരു വാതകത്തിന്റെയോ ബാഷ്പത്തിന്റെയോ ആറ്റങ്ങളെ വൈദ്യുത പ്രവാഹം കടത്തിവിട്ട് ഉത്തേജിപ്പിച്ചാൽ അത് സവിശേഷമായ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളടങ്ങിയ ഒരു വികിരണ സ്പെക്ട്രം ഉൽസർജിക്കുന്നു. ഇരുണ്ട പശ്ചാത്തലത്തിൽ തെളിഞ്ഞ രേഖകളുള്ള ഇത്തരം സ്പെക്ട്രത്തെ ഉൽസർജന രേഖീയ സ്പെക്ട്രം (emission line spectrum) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ചിത്രം 12.5ൽ ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റം ഉൽസർജിക്കുന്ന സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ചിത്രം കൊടുത്തിരിക്കുന്നു. ഒരു വാതകത്തെ തിരിച്ചറിയാനുള്ള വിരലടയാളമായി ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ ഉൽസർജന സ്പെക്ട്രം ഉപയോഗപ്പെടുത്താവുന്നതാണ്. ധവള പ്രകാശത്തെ ഒരു വാതകത്തിലൂടെ കടത്തിവിട്ട് ബഹിർഗമന പ്രകാശത്തെ ഒരു സ്പെക്ട്രോ മീറ്റർ ഉപയോഗിച്ച് നിരീക്ഷിച്ചാൽ സ്പെക്ട്രത്തിൽ ചില ഇരുണ്ട രേഖകൾ കാണാം. ഈ ഇരുണ്ട രേഖകൾ കൃത്യമായി വാതകത്തിന്റെ ഉൽസർജന വികിരണ സ്പെക്ട്രത്തിൽ കാണുന്ന തരംഗദൈർഘ്യത്തെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു. ഇതിനെ വാതകത്തിന്റെ ആഗിരണ സ്പെക്ട്രം (absorption spectrum) എന്നു വിളിക്കുന്നു.

ചിത്രം 12.5 ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്രത്തിലെ ഉൽസർജന രേഖകൾ

12.3.1 സ്പെക്ട്രൽ ശ്രേണികൾ (Spectral Series)

ഒരു മൂലകം ഉൽസർജിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തികൾക്ക് ഒരു സവിശേഷ ക്രമം ഉണ്ടാകുമെന്ന് കരുതാവുന്നതാണ്. ഹൈഡ്രജനാണ് ഏറ്റവും ലളിതമായ ആറ്റം ഉള്ളത്. അതുകൊണ്ട് തന്നെ ഏറ്റവും ലളിതമായ സ്പെക്ട്രം ഹൈഡ്രജനാണുള്ളത്. ആദ്യ നോട്ടത്തിൽ കാര്യമായ ക്രമമോ സാമ്യമോ സ്പെക്ട്രരേഖകളിൽ കാണാനാകില്ല. എന്നാൽ ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്രത്തിലെ ചില ശ്രേണികളിലുള്ള രേഖകൾക്കിടയിലെ അകലം ക്രമമായ രീതിയിൽ കുറയുന്നത് കാണാം (ചിത്രം 12.5) ഇതിലെ ഓരോ രേഖാ കൂട്ടത്തെയും ഒരു സ്പെക്ട്രൽ ശ്രേണി (spectral series) എന്നു പറയുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള ആദ്യത്തെ ശ്രേണി ദൃശ്യ മേഖലയിൽ (visible region) നിരീക്ഷിച്ചത് 1885ൽ ജോഹൻ ജേക്കബ് ബാമർ (Johan Jakob Balmer) (1825-1898) എന്ന സ്വീഡിഷ് സ്കൂൾ അദ്ധ്യാപകനായിരുന്നു. ഇതിനെ ബാമർ ശ്രേണി (Balmer Series- എന്നു വിളിക്കുന്നു (ചിത്രം 12.6). ഇതിൽ 656.3 nm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള ചുവപ്പു ഭാഗത്തുള്ള രേഖയെ $H\alpha$ എന്നുവിളിക്കുന്നു. അടുത്ത 486.1 nm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള നീല-പച്ച ഭാഗത്തുള്ള രേഖയെ H_β എന്നും, 434.1 nm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വയലറ്റു ഭാഗത്തുള്ള രേഖയെ $H\gamma$ എന്നും വിളിക്കുന്നു. തരംഗദൈർഘ്യം കുറയുമ്പോൾ രേഖകൾ കൂടുതൽ അടുത്തു വരുകയും തീവ്രത കുറഞ്ഞു വരികയും ചെയ്യുന്നു. തന്റെ നിരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ ബാമർ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾക്ക് ഒരു സൂത്രവാക്യം ആവിഷ്കരിച്ചു.

ചിത്രം 12.6 ഹൈഡ്രജൻ ഉൽസർജന സ്പെക്ട്രത്തിലെ ബാമർ ശ്രേണി

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (12.5)$$

ഇവിടെ λ= തരംഗദൈർഘ്യം, R= റിഡ്ബെർഗ് സ്ഥിരാങ്കം. n – 3, 4, 5 ... എന്നീ വിലകൾ, Rന്റെ മൂല്യം $1.097 \times 10^7\ m^{-1}$ ആകുന്നു. ഈ സൂത്രവാക്യത്തെ ബാമർ സൂത്രവാക്യം എന്നു പറയുന്നു.

n=3 എന്നെടുത്താൽ സൂത്രവാക്യം 12.5 പ്രകാരം H_α രേഖയുടെ തരംഗദൈർഘ്യം

$$\frac{1}{\lambda} = 1.097 \times 10^7 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) m^{-1}$$

$$= 1.522 \times 10^6\ m^{-1}$$

ie, λ = 656.3 nm

n– 4 ആയാൽ H_β രേഖയുടെ തരംഗദൈർഘ്യം ലഭിക്കും. n = ∞ എന്നെടുത്താൽ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ തരംഗദൈർഘ്യത്തിന്റെ പരിധി ലഭിക്കും. അതായത് λ = 364.6 nm ഇതാണ് ബാമർ ശ്രേണിയിലെ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ തരംഗദൈർഘ്യം. ഈ പരിധിക്കപ്പുറം വ്യതിരിക്തങ്ങളായ രേഖകളൊന്നും തന്നെ കാണില്ല. പകരം തുടർച്ചയായ (continuous) മങ്ങിയ ഒരു സ്പെക്ട്രം കാണാം.

ഇതിനെ തുടർന്ന് ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്രത്തിലെ മറ്റ് ശ്രേണികളും കണ്ടെത്തുകയുണ്ടായി. അവ കണ്ടെത്തിയ ശാസ്ത്രജ്ഞരുടെ പേരിൽ ലൈമാൻ (Lyman), പാഷെൻ (Paschen), ബ്രാക്കറ്റ് (Brackett), ഫണ്ട് (Pfund) എന്നിങ്ങനെയറിയപ്പെടുന്നു. ഇവയുടെ സൂത്രവാക്യങ്ങൾ ചുവടെ തന്നിരിക്കുന്നു.

ലൈമാൻ ശ്രേണി

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad n = 2,3,4... \qquad (12.6)$$

പാഷെൻ ശ്രേണി

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad n = 4,5,6... \qquad (12.7)$$

ബ്രാക്കറ്റ് ശ്രേണി

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad n = 5,6,7... \qquad (12.8)$$

ഫണ്ട് ശ്രേണി

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad n = 6,7,8... \qquad (12.9)$$

ലൈമാൻ ശ്രേണി അൾട്രാവയലറ്റ് മേഖലയിലും പാഷെൻ ശ്രേണി, ബ്രാക്കറ്റ് ശ്രേണി എന്നിവ ഇൻഫ്രാറെഡ് മേഖലയിലുമാണ്.

ബാമർ സൂത്രവാക്യം (12.5) പ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തിയുമായി ബന്ധപ്പെടുത്തി എഴുതാവുന്നതാണ്.

$c = \nu\lambda$ എന്ന് നമുക്കറിയാം.

അതായത് $\frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c}$

അപ്പോൾ സൂത്രവാക്യം 12.5

$$\nu = Rc\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \text{ എന്നാകും.} \qquad (12.10)$$

ഹൈഡ്രജൻ, ഒറ്റ തവണ അയോണീകരിച്ച ഹീലിയം, രണ്ടു തവണ അയോണീകരിച്ച ലിഥിയം ഇങ്ങനെ വളരെക്കുറച്ചു മൂലകങ്ങളുടെ സ്പെക്ട്രം മാത്രമേ സൂത്രവാക്യം 12.5 - 12.9 വഴി കണ്ടെത്താനാകൂ.

ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റങ്ങൾ ആഗിരണം ചെയ്യുകയോ വികിരണം ചെയ്യുകയോ ചെയ്യുന്ന തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾ കണ്ടെത്താൻ (12.5)-(12.9) സൂത്രവാക്യങ്ങൾ സഹായകരമാണ്. പ്രയോഗസിദ്ധമായി ലഭിക്കുന്ന ഈ ഫലങ്ങൾ എന്തുകൊണ്ടാണ് ചില ആവൃത്തിയിലുള്ള രേഖകൾ മാത്രം ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്രത്തിൽ കാണുന്നത് എന്ന ചോദ്യത്തിന് ഉത്തരം നൽകുന്നില്ല.

12.4 ബോറിന്റെ ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റം മാതൃക (Bohr Model of the Hydrogen Atom)

റദർഫോഡ് മുന്നോട്ട് വെച്ച ആറ്റം മാതൃക അനുസരിച്ച് മദ്ധ്യത്തിലുള്ള ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റും സ്ഥിരമായി ഭ്രമണം ചെയ്യുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുള്ള, സൗരയൂഥ സമാനമാണ് ഓരോ ആറ്റവും. പക്ഷേ സൗരയൂഥവും ആറ്റവും തമ്മിൽ അടിസ്ഥാനപരമായ ചില വ്യത്യാസങ്ങളുണ്ട്. സൗരയൂഥ വ്യവസ്ഥയെ യോജിപ്പിച്ചു നിർത്തുന്നതു ഭൂഗുരുത്വ ബലമാണ്. എന്നാൽ ന്യൂക്ലിയസ്സ് - ഇലക്ട്രോൺ വ്യൂഹം ചാർജുള്ള വസ്തുക്കളായതിനാൽ അവ പരസ്പരം ബലം ചെലുത്തുന്നത് കൂളോം നിയമം അനുസരിച്ചാണ്. വൃത്താകാരത്തിൽ കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഏതൊരു വസ്തുവും തുടർച്ചയായി അഭികേന്ദ്ര

നീൽസ് ഹെൻറിക് ഡേവിഡ് ബോർ (1885–1962)

നീൽസ് ഹെൻറിക് ഡേവിഡ് ബോർ (1885 – 1962) (Niels Henrik David Bohr) *ക്വാണ്ടം സിദ്ധാന്തം ഉപയോഗിച്ച് ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്രത്തെ വിശദീകരിച്ച ഡാനിഷ് ഊർജതന്ത്രജ്ഞൻ. ആറ്റമിക വിഘടന സിദ്ധാന്തം ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ഗ്രാവകതുള്ളി മാതൃക വെച്ച് ആവിഷ്കരിച്ചു. ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്രത്തിലെ പല അടിസ്ഥാന സങ്കൽപങ്ങളുടെയും വിശദീകരണം പൂരകതത്വ (Complementarity Principle) മുപയോഗിച്ച് വിശദീകരിച്ചു.*

ത്വരണത്തിന് (Centripetal acceleration) വിധേയമാകുന്നുവെന്ന് നമുക്കറിയാമല്ലോ? ക്ലാസിക്കൽ വൈദ്യുതകാന്തിക സിദ്ധാന്തമനുസരിച്ച് ത്വരണത്തിന് വിധേയമായ ചാർജുള്ള ഒരു കണം വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണങ്ങൾ ഉൽസർജിക്കണം. അങ്ങിനെയെങ്കിൽ ത്വരണം സംഭവിക്കുന്ന ഒരു ഇലക്ട്രോണിന് തുടർച്ചയായി ഊർജനഷ്ടം സംഭവിക്കുകയും ഭ്രമണപഥത്തിന്റെ ആരം കുറഞ്ഞു കുറഞ്ഞ് അന്തിമമായി ന്യൂക്ലിയസിൽ അത് പതിക്കുകയും ചെയ്യണം. (ചിത്രം 12.7 കാണുക). അതിനാൽ അങ്ങനെയുള്ള ഒരു ആറ്റത്തിന് ഒരിക്കലും സുസ്ഥിരമാകാൻ കഴിയില്ല. കൂടാതെ വൈദ്യുതകാന്തിക സിദ്ധാന്ത പ്രകാരം കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു ഇലക്ട്രോൺ വികിരണം ചെയ്യുന്ന തരംഗത്തിന്റെ ആവൃത്തി ഭ്രമണആവൃത്തിക്കു തുല്യമാകണം. ഇലക്ട്രോൺ ഊർജം നഷ്ടപ്പെട്ട് സർപ്പിളപാതയിലൂടെ ന്യൂക്ലിയസിലേക്കു പതിക്കുമ്പോൾ അതിന്റെ കോണീയപ്രവേഗവും തൽഫലമായി ആവൃത്തിയും തുടർച്ചയായി മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കണം. അതിനനുസരിച്ച് ഉൽസർജിക്കപ്പെടുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തിയും മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കും. അതായത് അവിച്ഛിന്നമായ (continuous) ഒരു സ്പെക്ട്രം ആണ് ശരിക്കും ഉൽസർജിക്കേണ്ടിയിരുന്നത്. പരീക്ഷണ ഫലങ്ങൾ മറിച്ചാകയാൽ റൂഥർഫോർഡിന്റെ ആറ്റം മാതൃക കഥയുടെ ഒരു ഭാഗം മാത്രമേ പറയുന്നുള്ളുവെന്നു കാണാം. ക്ലാസിക്കൽ ആശയങ്ങൾ വെച്ച് ആറ്റം മാതൃക വിശദീകരിക്കാനാവില്ല എന്നർഥം.

ചിത്രം 12.7 ത്വരണത്തിലുള്ള ഒരു ഇലക്ട്രോൺ ഊർജം നഷ്ടപ്പെട്ട് അണുകേന്ദ്രത്തിലേക്ക് സർപ്പിളാകൃതിയിൽപതിക്കുന്നു

ഉദാഹരണം 12.2

ഉദാഹരണം: 12.4 ക്ലാസിക്കൽ വൈദ്യുതകാന്തിക സിദ്ധാന്ത പ്രകാരം ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ പ്രോട്ടോണിന് ചുറ്റും വലം വെക്കുന്ന ഇലക്ട്രോൺ ഉൽസർജിക്കുന്ന വികിരണത്തിന്റെ പ്രാരംഭ ആവൃത്തി കണ്ടുപിടിക്കുക.

ഉത്തരം: ഉദാഹരണം 12.3 പ്രകാരം ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിൽ ഇലക്ട്രോണിന്റെ പ്രവേഗം = 2.2×10^6 m/s ഭ്രമണപഥത്തിന്റെ ആരം = 5.3×10^{-11} m ഇലക്ട്രോണിന്റെ ആവൃത്തി

$$\nu = \frac{v}{2\pi r} = \frac{2.2 \times 10^6 \text{ m s}^{-1}}{2\pi\left(5.3 \times 10^{-11} \text{ m}\right)}$$

$$\approx 6.6 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

ക്ലാസിക്കൽ വൈദ്യുതകാന്തിക സിദ്ധാന്ത പ്രകാരം ഭ്രമണം ചെയ്തുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോൺ ഉൽസർജിക്കുന്ന വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗത്തിന്റെ ആവൃത്തി ന്യൂക്ലിയസ്സിനു ചുറ്റുമുള്ള ഭ്രമണ ആവൃത്തിക്കു തുല്യമായിരിക്കും. അതുകൊണ്ട് വികിരണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രാരംഭ ആവൃത്തി – 6.6×10^{15} Hz

പുതുതായി പ്രചാരം നേടിയ ക്വാണ്ടം സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ആറ്റം മാതൃകയിൽ നീൽസ് ബോർ (Niels Bohr) (1885-1962) വ്യക്തമായ ചില പരിഷ്ക്കാരങ്ങൾ വരുത്തി. അദ്ദേഹം 1912ൽ റദർഫോഡിന്റെ ആറ്റം മാതൃക ആഴത്തിൽ പഠിക്കുകയും അത് സാധുവാണെന്ന് മനസ്സിലാക്കുകയും ചെയ്തു. നേരത്തേ നാം ചർച്ച ചെയ്ത ചില പ്രധാന പ്രശ്നങ്ങൾ പരിഹരിക്കുവാനുള്ള ഊരാക്കുടുക്കുകൾ അഴിച്ചെടുക്കുവാനുള്ള വഴികൾ അദ്ദേഹം കണ്ടെത്തി. വൈദ്യുത കാന്തിക സിദ്ധാന്തം അന്ന് പ്രബലമായിരുന്നു. സ്ഥൂല പ്രപഞ്ചത്തിലെ പല പ്രശ്നങ്ങളും വിശദീകരിക്കുവാൻ അത് ഫലപ്രദമായിരുന്നെങ്കിലും അറ്റോമിക തോതിലെ പ്രക്രിയയകൾക്ക് അതിന് എത്രമാത്രം പ്രായോഗികതയുണ്ടെന്ന് അദ്ദേഹം സംശയിച്ചു. അന്നുവരെ നിലനിന്നിരുന്ന അടിസ്ഥാന പ്രമാണങ്ങളിൽ കാതലായ ഒരു മാറ്റം വരുത്താതെ ആറ്റങ്ങളെക്കുറിച്ചും അവ വികിരണം ചെയ്യുന്ന സ്പെക്ട്രത്തെക്കുറിച്ചും വിശദീകരിക്കാനാവില്ലെന്ന് അദ്ദേഹത്തിന് ബോധ്യമായി. അങ്ങിനെ ക്ലാസിക്കൽ സങ്കൽപങ്ങളും ക്വാണ്ടം സിദ്ധാന്തവും സമന്വയിപ്പിച്ച് അദ്ദേഹം പുതിയ ഒരു സിദ്ധാന്തം അവതരിപ്പിച്ചു. ഇതിൽ സുപ്രധാനമായ മൂന്ന് അടിസ്ഥാന ആശയങ്ങൾ അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു.

1. വൈദ്യുതകാന്തിക സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ പ്രവചനങ്ങൾക്കു വിപരീതമായി ഊർജ വികിരണം നടത്താതെ ഒരു ഇലക്ട്രോണിന് ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റും സുസ്ഥിരമായ ഒരു ഭ്രമണപഥത്തിൽ കറങ്ങാൻ സാധിക്കും. ഓരോ ഇലക്ട്രോണിനും സുസ്ഥിരമായ ചില ഓർബിറ്റുകൾ ഉണ്ട്. ഇവയ്ക്കോരോന്നിനും സുനിശ്ചിതമായ ഊർജനിലകളും ഉണ്ട്. ഇവയെ സ്ഥിരഭ്രമണ നിലകൾ (stationary states) എന്നു വിളിക്കുന്നു.

2. കോണീയ ആക്കം (angular momentum) $h/2\pi$ യുടെ എണ്ണൽ സംഖ്യാ ഗുണിതം (integral multiple) ആയി വരുന്ന ഓർബിറ്റുകളിൽ മാത്രമേ ഇലക്ട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റും ഭ്രമണം ചെയ്യുകയുള്ളൂ (ഇവിടെ h പ്ലാങ്ക് സ്ഥിരാങ്കം = 6.6×10^{-34} Js) അതായത് പരിക്രമണം ചെയ്യുന്ന ഇലക്ട്രോണിന്റെ കോണീയ ആക്കം (L) ക്വാണ്ടീകൃതമാണ് (quantised).

   അതായത്, $L = nh/2\pi$ (12.11)

3. ഉയർന്ന ഊർജനിലയിലുള്ള ഒരോർബിറ്റിൽ നിന്നും താഴ്ന്ന ഊർജനിലയുള്ള ഒരോർബിറ്റിലേക്ക് ഒരിലക്ട്രോൺ മാറുമ്പോൾ ഒരു ഫോട്ടോൺ ഉൽസർജിക്കുന്നു. രണ്ട് ഓർബിറ്റുകളുടെ ഊർജനിലകൾ തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസത്തിന് തുല്യമായിരിക്കും ഉൽസർജിക്കുന്ന ഫോട്ടോണിന്റെ ഊർജം.

   $h\nu = E_i - E_f$ (12.12)

   E_i – ആദ്യ ഊർജനില

   E_f – അവസാന ഊർജനില

ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ വിവിധ ഊർജനിലകളുടെ ഊർജം കണ്ടെത്താൻ സമവാക്യം 12.4 ഉപയോഗിക്കാം. പക്ഷേ ഇതിൽ ഇലക്ട്രോൺ ഓർബിറ്റിന്റെ ആരം അറിയേണ്ടത് ആവശ്യമാണ്. 'r' കണ്ടെത്തുന്നതിന് ബോറിന്റെ രണ്ടാം സങ്കൽപനം ഉപയോഗപ്പെടുത്താം.

കോണീയ ആക്കം L= mvr

കോണീയ ആക്കം $h/2\pi$ യുടെ എണ്ണൽ സംഖ്യാ ഗുണിതങ്ങളായിരിക്കുമെന്ന് രണ്ടാം സങ്കൽപ്പനം പറയുന്നു (സമവാക്യം 12.11).

$$L_n = mv_n r_n = \frac{nh}{2\pi} \qquad (12.13)$$

ഇവിടെ n എന്നത് ഒരു എണ്ണൽ സംഖ്യയും r_n എന്നത് n - ാമത്തെ ഭ്രമണപഥത്തിന്റെ ആരവും, v_n എന്നത് n - ാമത്തെ ഭ്രമണപഥത്തിലൂടെയുള്ള ഇലക്ട്രോണിന്റെ സഞ്ചാരവേഗവുമാണ്.

n ന്റെ വില അനുസരിച്ച് അനുവദനീയമായ ഓർബിറ്റുകൾക്ക് 1, 2, 3 ..... എന്നിങ്ങനെ നമ്പറുകൾ നൽകാം. n നെ പ്രിൻസിപ്പൽ ക്വാണ്ടം സംഖ്യ (principal quantum number) എന്നു വിളിക്കുന്നു.

സമീകരണം 12.3 പ്രകാരം v_n ഉം r_n ഉം തമ്മിലുള്ള ബന്ധം

$$v_n = \frac{e}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0 m r_n}}$$

ഇത് സമവാക്യം (12.13) മായി ചേർത്തു വെക്കുമ്പോൾ

$$v_n = \frac{1}{n}\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{(h/2\pi)} \text{ എന്നും} \qquad (12.14)$$

$$r_n = \left(\frac{n^2}{m}\right)\left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 \frac{4\pi\varepsilon_0}{e^2} \text{ എന്നും ലഭിക്കുന്നു} \qquad (12.15)$$

സമവാക്യം (12.14) പ്രകാരം n -ാമത്തെ ഓർബിറ്റിന്റെ ഓർബിറ്റൽ വേഗം 'n' എന്ന ഘടകത്തിനനുസരിച്ച് കുറയുന്നുവെന്നു വ്യക്തമാക്കുന്നു.

സമീകരണം 12.15 പ്രകാരം ഏറ്റവും ഉള്ളിലെ ഓർബിറ്റിന്റെ (n = 1) ആരം

$$r_1 = \frac{h^2\varepsilon_0}{\pi m e^2}$$

ഇതിനെ ബോർ ആരം (Bohr radius) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇതിനെ a_0 എന്നു സൂചിപ്പിക്കാം.

$$a_0 = \frac{h^2\varepsilon_0}{\pi m e^2} \qquad (12.16)$$

h, m, ε_0, e എന്നിവയുടെ വിലകൾ കൊടുക്കുമ്പോൾ $a_0 = 5.29 \times 10^{-11}$m. സമവാക്യം (12.15) ൽ നിന്നും ഓർബിറ്റുകളുടെ ആരം n^2 ആയാണ് വർദ്ധിക്കുന്നതെന്നും കാണാവുന്നതാണ്.

സമവാക്യം (12.4) ൽ ഓർബിറ്റൽ ആരത്തിന്റെ വില ചേർക്കുമ്പോൾ നിശ്ചല ഓർബിറ്റുകളിലുള്ള ഇലക്ട്രോണിന്റെ ആകെ ഊർജം ലഭിക്കുന്നു.

$$E_n = -\left(\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0}\right)\left(\frac{m}{n^2}\right)\left(\frac{2\pi}{h}\right)^2\left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\right)$$

അല്ലെങ്കിൽ, $$E_n = -\frac{me^4}{8n^2\varepsilon_0^2 h^2} \qquad (12.17)$$

സമവാക്യം (12.17) ൽ വിലകൾ നൽകുമ്പോൾ,

$$E_n = -\frac{2.18 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ J എന്നു ലഭിക്കുന്നു.} \qquad (12.18)$$

അറ്റോമിക ഊർജം സാധാരണയായി ഇലക്ട്രോൺ വോൾട്ടി (eV) ലാണ് പറയുക. $1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}$ J, സമവാക്യം (12.18) ഇങ്ങനെ മാറ്റിയെഴുതാം,

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV} \qquad (12.19)$$

ഇവിടെ നെഗറ്റീവ് ചിഹ്നം കാണിക്കുന്നത് ഇലക്ട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസിനോടു ബന്ധിതമാണെന്നാണ്. അതായത് ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്നും (അല്ലെങ്കിൽ പ്രോട്ടോണിൽ നിന്നും) ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിനെ വേർപെടുത്താൻ ബാഹ്യമായ ഊർജം ആവശ്യമായി വരും.

(12.17) മുതൽ (12.19) വരെയുള്ള സമവാക്യങ്ങളുടെ രൂപീകരണത്തിന് ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഭ്രമണപഥം പൂർണ്ണ വൃത്തത്തിലാണെന്ന സങ്കൽപമാണ് ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്നത്. പക്ഷെ വ്യുൽക്രമവർഗ്ഗ നിയമം (inverse square law) പാലിച്ചുള്ള ഭ്രമണപഥങ്ങൾ ദീർഘവൃത്താകൃതിയിലാണ്. (ഗ്രഹങ്ങൾ സൂര്യനു ചുറ്റും കറങ്ങുന്നതും ദീർഘവൃത്ത ഭ്രമണപഥത്തിലാണല്ലോ) പിൽക്കാലത്ത് ജർമ്മൻ ഊർജതന്ത്രജ്ഞനായ ആർനോൾഡ് സോമർ ഫെൽഡ് (Arnold Sommerfeld, 1865-1951) ഈ സമവാക്യങ്ങൾ ദീർഘവൃത്ത ഭ്രമണപഥങ്ങൾക്കും ബാധകമാകും എന്ന് കണ്ടെത്തുകയുണ്ടായി.

ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഓർബിറ്റൽ ചിത്രീകരണം (ORBITAL PICTURE OF ELECTRON IN ATOM)

ഊർജതന്ത്രത്തിന്റെ പല മേഖലകളിലും ബോർ ആറ്റം മാതൃക കടന്നുവരും. ഈ മാതൃകയ്ക്ക് ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്രത്തിന്റെ ചരിത്രത്തിലും ആറ്റത്തിന്റെ യഥാർഥ ഘടന മനസ്സിലാക്കുന്നതിലും നിർണ്ണായകമായ സ്ഥാനം ഉണ്ട്. ത്വരണം ചെയ്യുന്ന ചാർജുള്ള കണങ്ങൾ ഊർജ വികിരണം നടത്തുമെന്ന ക്ലാസിക്കൽ ബലതന്ത്ര സങ്കൽപത്തിന് വിരുദ്ധമായാണ് ബോർ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ സുസ്ഥിരഊർജ നിലകളെന്ന വിപ്ലവകരമായ ആശയം അവതരിപ്പിച്ചത്. ശാസ്ത്ര ചരിത്രത്തിലെ ഒരു നാഴികക്കല്ലായി ഇത് മാറി. സുസ്ഥിര ഓർബിറ്റുകളിൽ പരിക്രമണം ചെയ്യുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ കോണീയാക്കം ക്വാണ്ടീകരിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നുവെന്ന ആശയം പരിചയപ്പെടുത്തിയതും ബോർ ആയിരുന്നു. ഇന്ന് ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്രം നൽകുന്ന ഉൾക്കാഴ്ചയിലൂടെ ആറ്റത്തെ സംബന്ധിച്ച കൂടുതൽ വ്യക്തമായ ചിത്രം നമുക്കുണ്ടാക്കുവാൻ കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ട്. പ്രോട്ടോണുകളുടെ ആകർഷണത്താൽ ആറ്റങ്ങളിൽ ബന്ധിതമായി കാണപ്പെടുന്ന ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് അതുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഷ്രോഡിംജറിന്റെ തരംഗസമവാക്യങ്ങളുടെ നിർധാരണമൂല്യം ഒരു തരംഗസ്വഭാവം നൽകുന്നു.

ബോർ മാതൃകയിൽ ഒരു ഓർബിറ്റെന്നാൽ ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റും ഇലക്ട്രോൺ ഭ്രമണം ചെയ്യുന്ന ഒരു വൃത്തപാതയാണ്. പക്ഷെ ക്വാണ്ടം സിദ്ധാന്ത പ്രകാരം ഒരിലക്ട്രോണിന് അങ്ങിനെ സുനിശ്ചിതമായ ഒരു പാത സാധ്യമല്ല. ഓർബിറ്റ് എന്നാൽ ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റുമായി ഇലക്ട്രോണിനെ കാണാൻ സാധ്യതയുള്ള ഒരു സ്ഥലരാശി എന്നേ പറയാൻ പറ്റൂ. ഈ സാധ്യത ഓർബിറ്റൽ എന്നു വിളിക്കപ്പെടുന്ന ഒരു ഇലക്ട്രോൺ തരംഗഫലന (wave function) ത്തിൽ നിന്നും ലഭിക്കുന്നു. ഈ ഫലനം ഇലക്ട്രോണുകളുടെ കോർഡിനേറ്റുകളെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു.

ഇവിടെ രണ്ട് മാതൃകകളിലുമുള്ള അടിസ്ഥാന വ്യത്യാസങ്ങൾ നാം കൃത്യമായി മനസ്സിലാക്കണം.

- *ഒറ്റ ഇലക്ട്രോൺ മാത്രമുള്ള ആറ്റങ്ങൾക്കും അയോണുകൾക്കും മാത്രമേ ബോർ മാതൃക ഫലപ്രദമാകൂ. ഓരോ ഓർബിറ്റിനുമുള്ള ഊർജനില n എന്ന മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ഒരു സുസ്ഥിര ഭ്രമണപഥത്തെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം അതിന്റെ ഊർജനില ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത് n നെ ആണ്. ഇത് ഒരൊറ്റ ഇലക്ട്രോണുള്ള ആറ്റങ്ങൾക്കോ അയോണിനോ മാത്രമേ അതുകൊണ്ട് ശരിയാവുകയുള്ളൂ. ഒന്നിലധികം ഇലക്ട്രോണുകളുള്ള ആറ്റങ്ങൾക്കും അയോണുകൾക്കും ഇത് ബാധകമാകില്ല.*
- *ഹൈഡ്രജനെ പോലുള്ള ആറ്റങ്ങളുടെ അല്ലെങ്കിൽ അയോണുകളുടെ ഷ്രോഡിൻജർ തരംഗസമവാക്യം(wave equation) ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റുമുള്ള സ്ഥലരാശിയിൽ ഒരു ഇലക്ട്രോണിനെ കണ്ടെത്താനുള്ള സാധ്യത പ്രദാനം ചെയ്യുന്നു. ഇതാണ് ഓർബിറ്റൽ. ഈ ഓർബിറ്റലിന് ബോർ ആറ്റം മാതൃകയിൽ പറയുന്ന ഓർബിറ്റുമായി കാര്യമായ ബന്ധമൊന്നുമില്ലെന്നും മനസ്സിലാക്കണം.*

ഉദാഹരണം 12.5

ഉദാഹരണം: 12.5 10 കി.ഗ്രാം ഭാരമുള്ള ഒരു ഉപഗ്രഹം 8000 കി.മി ആരമുള്ള ഒരു ഭ്രമണപഥത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു. എല്ലാ രണ്ട് മണിക്കൂറിലുമൊരിക്കൽ ഇത് ഭൂമിയെ വലംവയ്ക്കുന്നു. ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ കോണീയാക്കത്തെ സംബന്ധിക്കുന്ന ബോറിന്റെ നിയമം ഉപഗ്രഹത്തിനും ബാധകമെന്ന സങ്കൽപ്പത്തിൽ ഉപഗ്രഹത്തിന്റെ ഭ്രമണപാതത്തിന്റെ ക്വാണ്ടം സംഖ്യ കണ്ടെത്തുക.

ഉത്തരം

സമവാക്യം (12.3) ൽ നിന്നും

$m v_n r_n = nh/2\pi$

ഇവിടെ $m = 10kg$, $r_n = 8\times10^6 m$. ഗ്രഹത്തിന്റെ പരിക്രമണ ആവൃത്തി $T = 2h = 7200s$

പ്രവേഗം $v_n = 2\pi r_n/T$.

ഉപഗ്രഹത്തിന്റെ ഓർബിറ്റിന്റെ ക്വാണ്ടം സംഖ്യ

$n = (2\pi r_n)^2 \times m/(T\times h)$.

വിലകൾ ചേർക്കുമ്പോൾ

$n = (2\pi \times 8\times10^6 m)^2 \times 10/(7200 s \times 6.64\times10^{-34} Js)$

$= 5.3\times10^{45}$

ലഭിച്ചിരിക്കുന്ന ക്വാണ്ടം സംഖ്യ വളരെ വലുതാണ്. ഇത്രയും വലിയ ക്വാണ്ടം സംഖ്യകൾക്ക് ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്ര പരിഗണനകൾ വെച്ച് നോക്കുമ്പോൾ കിട്ടുന്ന ഉത്തരങ്ങൾ ക്ലാസിക്കൽ ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിൽ ലഭിക്കുന്ന ഉത്തരങ്ങൾക്കു സമാനമായിരിക്കും.

12.4.1 ഊർജനിലകൾ (Energy levels)

ഒരാറ്റത്തിന്റെ ഊർജം ഏറ്റവും കുറഞ്ഞിരിക്കുന്നത് (കൂടിയ നെഗറ്റീവ് വില) അതിലെ ഇലക്ട്രോണുകൾ ന്യൂക്ലിയസിനോട് ഏറ്റവും അടുത്ത ഓർബിറ്റിൽ പരിക്രമണം ചെയ്യുമ്പോഴാണ്. അതായത് ഇവിടെ $n = 1$ ആയിരിക്കുമ്പോഴാണ്. $n = 2,3$ ..... എന്നിങ്ങനെ വർദ്ധിക്കുമ്പോൾ ഊർജത്തിന്റെ കേവല മൂല്യം കുറയുന്നു. അതുകൊണ്ട് മുകളിലേക്ക് പോകുന്തോറും ഊർജനില കൂടിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ഏറ്റവും താഴത്തെ അടിസ്ഥാന ഊർജനിലയെ സ്വാഭാവിക നില (ground state) എന്നു പറയുന്നു. അതായിരിക്കും ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഊർജനില. ഏറ്റവും ആരം കുറഞ്ഞ ഈ ഓർബിറ്റിന്റെ ആരത്തെ ബോർ ആരം, a_0 എന്നു പറയുന്നു. ഈ ഓർബിറ്റിന്റെ ($n = 1$) ഊർജം = -13.6eV ആണ്. അതുകൊണ്ട് സ്വാഭാവിക നിലയിലുള്ള ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിൽ നിന്നും ഒരു ഇലക്ട്രോണിനെ വേർപെടുത്താൻ ആവശ്യമായ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഊർജം =13.6eV ആണ്. ഈ ഊർജത്തെ ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ അയോണീകരണ ഊർജം (ionisation energy) എന്നു പറയുന്നു. ബോർ ആറ്റം മാതൃക പ്രവചിക്കുന്ന അയോണീകരണ ഊർജത്തിന്റെ ഈ മൂല്യത്തിന് പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ ലഭിച്ച മൂല്യവുമായി നല്ല സാമ്യമുണ്ട്.

സാധാരണ താപനിലയിൽ മിക്കവാറും ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റങ്ങൾ സ്വാഭാവിക ഊർജനിലകളിലായിരിക്കും. ഇലക്ട്രോൺ കൊളീഷനിലൂടെയോ മറ്റു രീതികളിലൂടെയോ ആവശ്യമായ ഊർജം ലഭിക്കുമ്പോൾ ഇലക്ട്രോൺ ഉയർന്ന ഊർജനിലകളിലേക്ക് ഉയരുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള ആറ്റങ്ങളെ ഉത്തേജിതാവസ്ഥ (excited) യിലുള്ളവ എന്നു പറയുന്നു. സമവാക്യം (12.19) പ്രകാരം $n = 2$ ആകുമ്പോൾ ഊർജം $E_2 = -3.40eV$. ആകുന്നു.

ഇതിന്റെ അർഥം ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഒരിലക്ട്രോണിനെ ഒന്നാമത്തെ ഉത്തേജിതാവസ്ഥയിൽ എത്തിക്കണമെങ്കിൽ,

ആവശ്യമായ ഊർജം $= E_2 - E_1$

$= -3.4\,eV - (-13.6\,eV)$

$= 10.2\,eV$

അതുപോലെ $E_3 = -1.51$ eV ആണെങ്കിൽ,

$E_3 - E_1 = 12.09$eV ആണ്

അതായത് സ്വാഭാവികാവസ്ഥയിൽ (n = 1) നിന്നും ഒരു ഇലക്ട്രോണിനെ രണ്ടാമത്തെ ഉത്തേജിതാവസ്ഥയിൽ എത്തിക്കാൻ (n = 3) 12.09 eV ഊർജം ആവശ്യമാണ്. ഉത്തേജിതാവസ്ഥയിൽ നിന്നും ഈ ഇലക്ട്രോണുകൾ താഴ്ന്ന ഊർജനിലകളിലേക്ക് തിരികെയെത്തുന്നു. അങ്ങനെ തിരികെ വരുമ്പോൾ കൂടുതലായി ആഗിരണം ചെയ്ത ഊർജത്തെ ഒരു ഫോട്ടോണായി ഉൽസർജിക്കുന്നു. ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തെ കൂടുതൽ കൂടുതൽ ഉത്തേജിപ്പിക്കുമ്പോൾ (അതായത് n കൂടിക്കൊണ്ടിരിക്കുമ്പോൾ) അങ്ങനെയുള്ള ഒരാറ്റത്തിൽ നിന്നും ഇലക്ട്രോണിനെ വേർപെടുത്താനുള്ള ഊർജം കുറഞ്ഞുകുറഞ്ഞുവരുന്നു.

സമവാക്യം (12.19) പ്രകാരം തയ്യാറാക്കിയ ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ ഊർജനിലവിതരണ ചിത്രം *(energy level diagram) (12.8) ൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു. പ്രിൻസിപ്പൽ ക്വാണ്ടം സംഖ്യ (principal quantum number) വർധിച്ചുവരുന്ന രീതിയിലാണ് ഊർജനിലകളെ അടയാളപ്പെടുത്തുന്നത്. ഈ ചിത്രത്തിൽ ഏറ്റവും കൂടിയ ഊർജനില n – ∞ ആണ്. (12.9) പ്രകാരം അപ്പോഴത്തെ ഊർജനില 0 eV ആയിരിക്കും. ഇത് ഇലക്ട്രോണിനെ ആറ്റത്തിൽ നിന്നും പൂർണ്ണമായി വേർപെടുത്തിയാൽ (r = ∞) കിട്ടുന്ന ഊർജമാണ്. nന്റെ മൂല്യം കൂടിക്കൊണ്ടിരിക്കുമ്പോൾ ഉത്തേജിതാവസ്ഥകളുടെ ഊർജനിലകൾ അടുത്തടുത്തു വരുന്നത് ശ്രദ്ധിക്കുക.

ചിത്രം 12.8

ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ ഊർജനിലകൾ കാണിക്കുന്ന ചിത്രം. സാധാരണ താപനിലയിൽ ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോൺ സ്വാഭാവികാവസ്ഥയിൽ ആയിരിക്കും. സ്വാഭാവികാവസ്ഥയിലുള്ള ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തെ അയോണീകരിക്കാൻ 13.6eV. ഊർജം നൽകണം (തിരശ്ചീന രേഖകൾ സാദ്ധ്യമായ ഊർജനിലകളെ കാണിക്കുന്നു)

ഫ്രാങ്ക്-ഹെർട്സ് പരീക്ഷണം (Franck - Hertz Experiment)

ആറ്റത്തിനകത്ത് നിശ്ചിത ഊർജ നിലകളുണ്ടെന്ന് 1914ൽ ജെയിംസ് ഫ്രാങ്കും (James Franck) ഗുസ്താവ് ഹെർട്സും (Gustav Hertz) പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ കണ്ടെത്തുകയുണ്ടായി. അവർ വ്യത്യസ്ത ഗതികോർജമുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളെ മെർക്കുറി ബാഷ്പത്തിലൂടെ കടത്തിവിട്ട് അവയുടെ സ്പെക്ട്രം നിരീക്ഷിച്ചു. മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു വൈദ്യുതമണ്ഡലം ഉപയോഗിച്ച് ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഊർജനില അവർ മാറ്റിക്കൊണ്ടേയിരുന്നു. ഇലക്ട്രോണുകൾ മെർക്കുറി ആറ്റങ്ങളുമായി സംഘട്ടനത്തിൽ ഏർപ്പെടുകയും അതിലൂടെ അവയുടെ ഊർജം മെർക്കുറി ആറ്റങ്ങൾക്കു കൈമാറുകയും ചെയ്യും. മെർക്കുറിയിലെ ഇലക്ട്രോണുള്ള ഒരു ഊർജനിലയും ഇലക്ട്രോൺ കാണപ്പെടാത്ത മറ്റൊരു ഊർജനിലയും തമ്മിലുള്ള ഊർജവ്യത്യാസത്തേക്കാൾ കൂടുതൽ ഊർജം സംഘട്ടനത്തിലേർപ്പെടുന്ന ഇലക്ട്രോണിനുണ്ടെങ്കിൽ മാത്രമേ ഇങ്ങിനെ ഊർജ കൈമാറ്റം നടക്കുന്നുള്ളുവെന്നവർ കണ്ടെത്തി. (ചിത്രം കാണുക) ഉദാഹരണത്തിന് ഇലക്ട്രോൺ ഉള്ള ഒരു ഊർജ

* ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ ആകെ ഊർജം E – 0 eV നേക്കാൾ കൂടുതലായിരിക്കും. ഇങ്ങനെയുള്ള സാഹചര്യങ്ങളിൽ ഇലക്ട്രോൺ സ്വതന്ത്രമായിരിക്കും. അതിനാൽ ചിത്രം 12.8 ൽ തന്നിരിക്കുന്നതു പോലെ ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് തുടർച്ചയായ ഊർജനിലകളാണുള്ളത്.

നിലയും തൊട്ടടുത്ത ഇലക്ട്രോണില്ലാത്ത ഒരു ഊർജനിലയും തമ്മിൽ 4.9eV ഊർജവ്യത്യാസം ഉണ്ടെന്നിരിക്കട്ടെ. 4.9eVയോ അതിലധികമോ ഊർജമുള്ള ഒരു ഇലക്ട്രോൺ മെർക്കുറിയിലൂടെ കടന്നു പോകുമ്പോൾ മാത്രമേ അതിൽ നിന്നും ഊർജം സ്വീകരിച്ച് തൊട്ടടുത്ത ഊർജനിലയിലേക്ക് മെർക്കുറിയുടെ ഇലക്ട്രോൺ ഉത്തേജിതമാകുന്നുള്ളൂ. സംഘട്ടനത്തിലേർപ്പെടുന്ന ഇലക്ട്രോണിന് ഇരുമുഖം അത്രയും ഊർജനഷ്ടം സംഭവിക്കുകയും ചെയ്യും. ഉത്തേജിപ്പിക്കപ്പെട്ട ഈ ഇലക്ട്രോൺ പിന്നീട് പൂർവസ്ഥിതി പ്രാപിക്കുകയും ഊർജവ്യത്യാസം ഒരു ഫോട്ടോണായി ഉൽസർജിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഉൽസർജന വികിരണത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{4.9 \times 1.6 \times 10^{-19}} = 253 \text{ nm}$$

നേരിട്ടുള്ള നിരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ ഫ്രാങ്കും ഹെർട്സും ഉൽസർജിത സ്പെക്ട്രത്തിൽ ഈ തരംഗദൈർഘ്യത്തിലുള്ള സ്പെക്ട്രൽ രേഖ കണ്ടെത്തുകയുണ്ടായി. ആറ്റത്തിന്റെ വിച്ഛിന്ന ഊർജനിലകളെ സംബന്ധിച്ച അടിസ്ഥാന സങ്കൽപത്തിനും ഫോട്ടോൺ ഉൽസർജനത്തിനും ശാരമായ തെളിവായി മാറിയ ഈ പരീക്ഷണത്തിന് 1925ൽ ഫ്രാങ്കിനും ഹെർട്സിനും നോബൽ പുരസ്കാരം ലഭിച്ചു.

12.5 ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ രേഖാസ്പെക്ട്രം (The Line Spectra of the Hydrogen Atom)

ബോറിന്റെ ആറ്റം സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ മൂന്നാമത്തെ പരികൽപന പ്രകാരം ക്വാണ്ടം സംഖ്യ n_i ആയ ഉയർന്ന ഊർജനിലയിലുള്ള ഒരു ഇലക്ട്രോൺ ക്വാണ്ടം സംഖ്യ n_f ($n_f<n_i$) ആയ താഴ്ന്ന ഊർജനിലയിലേക്ക് പതിക്കുമ്പോൾ അവ തമ്മിലുള്ള ഊർജവ്യത്യാസം ഒരു ഫോട്ടോണായി ഉൽസർജിക്കപ്പെടുന്നു.

ഫോട്ടോണിന്റെ ആവൃത്തി $\nu_{if} = E_{n_i} - E_{n_f}$ (12.20)

സമവാക്യം (12.16) പ്രകാരം E_{n_f} ഉം E_{n_i} യും കണ്ടുപിടിച്ചാൽ

$$h\nu_{if} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) \quad (12.21)$$

$$\text{or } \nu_{if} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) \quad (12.22)$$

സമവാക്യം (12.21) ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ റിഡ്ബെർഗ് സമവാക്യം (Rydberg formula) ആണ്. ഇതിൽ $n_f = 2$ എന്നും $n_i = 3,4,5$ എന്നിങ്ങനെയുമെടുത്താൽ അത് ബാമർ ശ്രേണിക്കുള്ള സമവാക്യം (12.10) ന് സമാനമാണെന്നു കാണാം.

$$R = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} \qquad (12.23)$$

ഇതിൽ വിവിധ സ്ഥിരസംഖ്യകളുടെ മൂല്യം ആരോപിക്കുമ്പോൾ

$R = 1.03 \times 10^7 m^{-1}$ എന്നു ലഭിക്കും. ഇത് റിഡ്ബർഗ് സ്ഥിരാങ്കം എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഇത് ബാമറിന്റെ സൂത്രവാക്യം ഉപയോഗിച്ച് ലഭിച്ച R ന്റെ മൂല്യത്തിന് ($1.097 \times 10^7 m^{-1}$) വളരെ അടുത്തു നിൽക്കുന്നുവെന്ന് കാണാം. സിദ്ധാന്തപ്രകാരം ലഭിക്കുന്ന മൂല്യവും പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ ലഭിച്ച മൂല്യവും തമ്മിലുള്ള ഈ പൊരുത്തം ബോറിന്റെ ആറ്റം മാതൃകക്കു കരുത്തേകുന്നു.

n_f ഉം n_i ഉം പൂർണ്ണ സംഖ്യകൾ ആകയാൽ വിവിധ അറ്റോമിക ഊർജനിലകളിൽ നിന്നും ഇലക്ട്രോണുകൾ പതിക്കുമ്പോൾ ഉൽസർജനം ചെയ്യുന്ന പ്രകാശം വിച്ഛിന്നങ്ങളായ ആവൃത്തികളിലായിരിക്കും. ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്രത്തിൽ, ബാമർ സൂത്രവാക്യത്തിൽ $n_f = 2$, $n_i = 3, 4, 5$. അങ്ങനെയെങ്കിൽ ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്രത്തിൽ മറ്റ് ശ്രേണികളും ഉണ്ടാകണമല്ലോ. $n_f = 1$, $n_i = 2, 3$, $n_f = 3$, $n_i = 4, 5$.... എന്നിങ്ങനെ പിന്നീട് സ്പെക്ട്രോസ്കോപിക്ക് നിരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ ഈ ശ്രേണികൾ തിരിച്ചറിയുകയും ചെയ്തു. അവ ലൈമാൻ (Lyman) ബാമർ (Balmer), പാഷെൻ (Paschen), ഫണ്ട് (Pfund) ശ്രേണികളെന്നറിയപ്പെടുന്നു. ചിത്രം 12.9 ൽ ഈ ശ്രേണികളുണ്ടാക്കുന്നതിനാവശ്യമായ ഇലക്ട്രോൺ സ്ഥാനമാറ്റം കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 12.9 ഊർജനിലകൾക്കിടയിലെ മാറ്റം മൂലം രേഖീയ സ്പെക്ട്രം ഉണ്ടാകുന്നു

അറ്റോമിക സ്പെക്ട്രത്തിലെ വ്യത്യസ്ത രേഖകൾ ഉണ്ടാകുന്നത് ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉയർന്ന ഊർജനിലകളിൽ നിന്ന് താഴ്ന്ന ഊർജനിലകളിലേക്കു പതിക്കുമ്പോൾ ഉൽസർജിക്കുന്ന ഫോട്ടോണുകൾ കാരണമാണല്ലോ? ഈ സ്പെക്ട്രരേഖകളെ ഉൽസർജിത രേഖകൾ (emission lines) എന്നു വിളിക്കുന്നു. എന്നാൽ ഒരാറ്റത്തിന് അതിന്റെ താഴ്ന്ന ഊർജനിലയിലുള്ള ഒരിലക്ട്രോണിനെ ഉയർന്ന ഊർജനിലയിലേക്കുയർത്താൻ ആവശ്യമായത്രയും ഊർജമുള്ള ഒരു ഫോട്ടോണിനെ സ്വീകരിക്കുന്നതിനെ ആഗിരണം (absorption) എന്നു പറയുന്നു. തുടർച്ചയായ എല്ലാ ആവൃത്തിയിലുമുള്ള തരംഗങ്ങളടങ്ങിയ ഫോട്ടോണുകൾ സാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ ഒരു വാതകത്തിലൂടെ കടത്തിവിട്ട് ബഹിർഗമന കിരണം ഒരു സ്പെക്ട്രോമീറ്ററിലൂടെ നിരീക്ഷിച്ചാൽ ഇരുണ്ട രേഖകൾ അടങ്ങിയ ഒരു ആഗീരണ സ്പെക്ട്രശ്രേണി (absorption Spectrum) കാണാം. ഈ ഇരുണ്ട രേഖകൾ കൃത്യമായി കാണിക്കുന്നത് വാതകത്തിലെ ആറ്റങ്ങൾ ആഗിരണം ചെയ്ത ആവൃത്തികളെയാണ്.

ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ സ്പെക്ട്രത്തെ സംബന്ധിച്ച ബോറിന്റെ വിശദീകരണം മഹത്തരമായിരുന്നു. ഇത് ആധുനിക ക്വാണ്ടം സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ പുരോഗതിക്ക് വലിയ തോതിൽ പ്രേരണ നൽകി. ഇതിനെ തുടർന്ന് ബോറിന് 1922 ൽ ഊർജതന്ത്രത്തിലെ നോബെൽ സമ്മാനം ലഭിച്ചു.

ഉദാഹരണം 12.6

ഉദാഹരണം 12.6 റിഡ്ബെർഗ് സൂത്രവാക്യം ഉപയോഗിച്ച് ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്രത്തിലെ ലൈമാൻ ശ്രേണിയിലെ ആദ്യത്തെ നാല് സ്പെക്ട്രൽ രേഖകളുടെ തരംഗദൈർഘ്യം കാണുക.

റിഡ്ബെർഗ് സൂത്രവാക്യം

$$hc/\lambda_{if} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

ലൈമാൻ ശ്രേണിയിലെ ആദ്യ നാലു രേഖകൾക്ക് $n_i = 2,3,4,5$; $n_f = 1$

$$\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} = 13.6 \text{ eV} = 21.76 \times 10^{-19} \text{ J}$$

അതുകൊണ്ട്

$$\lambda_{i1} = \frac{hc}{21.76 \times 10^{-19}\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{n_i^2}\right)} \text{ m}$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \times n_i^2}{21.76 \times 10^{-19} \times (n_i^2 - 1)} \text{ m} = \frac{0.9134\ n_i^2}{(n_i^2 - 1)} \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$= 913.4\ n_i^2/(n_i^2 - 1)\ \text{Å}$$

വിലകൾ ചേർക്കുമ്പോൾ $n_i = 2,3,4,5$ ഇവിടെ നിന്നും $\lambda_{21} = 1218$ Å, $\lambda_{31} = 1028$ Å, $\lambda_{41} = 974.3$ Å ഉം $\lambda_{51} = 951.4$ Å. എന്നിങ്ങനെ ലഭിക്കുന്നു.

12.6 ബോറിന്റെ രണ്ടാം സങ്കല്പനത്തിലെ ക്വാണ്ടൈസേഷനും ദെബ്രോയിയുടെ വിശദീകരണവും (De Broglie's Explanation of Bohr's Second Postulate of Quantization)

ആറ്റത്തെ സംബന്ധിച്ച ബോറിന്റെ പരികൽപനകളിൽ ഏറ്റവും കുഴക്കുന്ന സങ്കല്പനം രണ്ടാമത്തേതാണ്. ന്യൂക്ലിയസ്സിനു ചുറ്റും പരിക്രമണം ചെയ്യുന്ന ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ കോണീയാക്കം ക്വാണ്ടൈസ് ചെയ്യപ്പെട്ടതാണ് (quantized) എന്നാണിത് പറയുന്നത്. (അതായത്, $L_n = nh/(2\pi)$; $n = 1,2,3$ എന്നിങ്ങനെ). എന്തുകൊണ്ടാണ് കോണീയാക്കത്തിന് $h/(2\pi)$ യുടെ എണ്ണൽ സംഖ്യാ ഗുണിതങ്ങൾ മാത്രം കാണുന്നത്? ബോർ, തന്റെ മാതൃക അവതരിപ്പിച്ച് പത്ത് വർഷങ്ങൾക്കു ശേഷം 1923 ൽ ഫ്രഞ്ച് ഊർജതന്ത്രജ്ഞൻ ലൂയിസ് ദെബ്രോയി (Louis de Broglie) ഇത് വിശദീകരിച്ചു.

അധ്യായം-11 ൽ ഇലക്ട്രോൺ പോലെയുള്ള കണങ്ങൾ തരംഗസ്വഭാവം പ്രകടിപ്പിക്കുന്നുവെന്ന ദെബ്രോയിയുടെ പരികൽപന നമ്മൾ പഠിക്കുകയുണ്ടായി. 1927ൽ സി.ജെ. ഡേവിസനും (C.J. Davisson) എൽ.എച്ച് ജർമറും (L.H. Germer) ചേർന്ന് ഇലക്ട്രോണിന്റെ തരംഗസ്വഭാവം പരീക്ഷണം വഴി തെളിയിച്ചു. ദെബ്രോയിയുടെ വാദം ഇങ്ങനെയായിരുന്നു. ബോറിന്റെ ആറ്റത്തിൽ ന്യൂക്ലിയസിനെ വലംവെക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണിനെ ഒരു പദാർഥ തരംഗ (Matter Wave) മായി കാണണം. ഒരു ചരടിൽ കൂടി സഞ്ചരിക്കുന്ന തരംഗങ്ങളെ പോലെ പദാർഥ തരംഗങ്ങൾക്കും അനുനാദ അവസ്ഥയിൽ നിശ്ചല തരംഗരൂപത്തിൽ നിലനിൽക്കാൻ സാധിക്കും. XI ാം ക്ലാസിലെ ഭൗതികശാസ്ത്രം 15 -ാം അധ്യായത്തിൽ നാമിതു പഠിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഒരു ചരട് വലിച്ചുവിട്ടാൽ അതിൽ അനേകം തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾ പ്രേരിതമാകും. പക്ഷെ അഗ്രത്ത് നോഡുകൾ (nodes) വരത്തക്ക രീതിയിൽ ഉണ്ടാകുന്ന നിശ്ചലതരംഗങ്ങൾ മാത്രം അവസാനം നിലനിൽക്കും. ഒരു

ചരടിൽ നിശ്ചലതരംഗം രൂപമെടുക്കണമെങ്കിൽ ചരടിലൂടെ തരംഗം അങ്ങോട്ടുമിങ്ങോട്ടും സഞ്ചരിക്കുന്ന ദൂരം ഏറ്റവും ചുരുങ്ങിയത് ഒരു തരംഗദൈർഘ്യത്തിനോ രണ്ട് തരംഗദൈർഘ്യത്തിനോ അല്ലെങ്കിൽ തരംഗദൈർഘ്യത്തിന്റെ എണ്ണൽ സംഖ്യാ ഗുണിതത്തിനോ തുല്യമായിരിക്കണമെന്നാണിതർഥമാക്കുന്നത്. ഇതോടൊപ്പം മറ്റു തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള തരംഗങ്ങളുടെ ആയതികൾ പൂജ്യമായി മാറുന്ന വിധത്തിൽ ഇന്റർഫറൻസിനു വിധേയമാവുകയും ചെയ്യും. r_n ആരമുള്ള n-ാമത്തെ ഓർബിറ്റിലുള്ള ഒരില ക്ട്രോണിനു സഞ്ചരിക്കേണ്ടി വരുന്ന ആകെ ദൂരം വൃത്തപരിധിയായ $2\pi r_n$ ആയിരിക്കും. അതായത്

$$2\pi r_n = n\lambda, \quad n = 1, 2, 3... \qquad (12.24)$$

ചിത്രം 12.10 ൽ n=4 ആയിട്ടുള്ള വൃത്താകാര ഓർബിറ്റലിലെ ഒരു നിശ്ചല പദാർഥതരംഗം കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ($2\pi r_n = 4\lambda$) ആകുന്നു. ദെബ്രോയി തരംഗദൈർഘ്യം അധ്യായം 11 ൽ നിന്നും $\lambda = h/p$, ഇവിടെ p ഇലക്ട്രോണിന്റെ ആക്കത്തിന്റെ മൂല്യമാകുന്നു. ഇലക്ട്രോണിന്റെ വേഗം പ്രകാശവേഗത്തേക്കാൾ വളരെ കുറവായിരുന്നാൽ ആക്കം mv_n ആകുന്നു. $\lambda = h/mv_n$ അതിനാൽ സമവാക്യം 12.24 ൽ നിന്നും

ചിത്രം 12.10 വൃത്താകാര ഓർബിറ്റിലുള്ള ഒരു നിശ്ചല തരംഗത്തെ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇവിടെ നാല് ഡീബ്രോയി തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾ ഓർബിറ്റിന്റെ വൃത്തപരിധിക്കുള്ളിൽ കൃത്യമായും അനുയോജ്യമാകുന്നത് ശ്രദ്ധിക്കുക

$$2\pi r_n = nh/mv_n \quad \text{or} \quad mv_n r_n = nh/2\pi$$

ഇതാണ് ഇലക്ട്രോണിനായി ബോർ നിഷ്കർഷിച്ച ക്വാണ്ടം നിബന്ധന. ഭാഗം 12.5ൽ ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ വിച്ഛിന്ന ഓർബിറ്റുകളും ഊർജനിലകളും വിശദീകരിക്കുന്നതിനുള്ള അടിസ്ഥാനം ഈ സമവാക്യമാണെന്നു നാം കണ്ടു. അതിൽ ദെബ്രോയിയുടെ ഈ പരികല്പന പരിക്രമണം ചെയ്യുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ കോണീയാക്കത്തിന്റെ ക്വാണ്ടീകരണത്തിനു വിശദീകരണം നൽകുന്നു. ഇലക്ട്രോണിന്റെ തരംഗസ്വഭാവം കൊണ്ടാണ് ഓർബിറ്റുകളും ഊർജനിലകളും ക്വാണ്ടീകരിക്കപ്പെടുന്നത്. അനുനാദം (resonance) സംഭവിക്കുന്ന നിശ്ചലതരംഗത്തിനു മാത്രമേ നിലനിൽക്കാൻ കഴിയുന്നുള്ളൂ.

ഗ്രഹങ്ങളെ പോലെ ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റും കറങ്ങുന്ന ഇലക്ട്രോൺ എന്ന ബോറിന്റെ ക്ലാസിക്കൽ പാതാ ചിത്രം ഹൈഡ്രോജനിക് ആറ്റങ്ങളുടെ എല്ലാ ഗുണങ്ങളും കൃത്യമായി തന്നെ പ്രവചിക്കുന്നു. പ്രത്യേകിച്ച് ഭാഗികമായി ആഗിരണം ചെയ്യുകയും ഉൽസർജനം ചെയ്യുകയും ചെയ്യുന്ന വികിരണ ആവൃത്തികളെ സംബന്ധിച്ച കാര്യങ്ങളിൽ ഇത് കൃത്യമായ പാലിക്കപ്പെടുന്നു. വിശകലനത്തിൽ ഈ മാതൃകയ്ക്ക് ചില പരിമിതികൾ ഉണ്ട്.

1. ഹൈഡ്രോജനിക് ഹൈഡ്രജനു സമാനമായ ആറ്റങ്ങൾക്കു മാത്രമേ ബോർ മാതൃക ബാധകമാകൂ. ഹീലിയം പോലെയുള്ള വെറും രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുള്ള ആറ്റങ്ങൾക്ക് പോലും ഈ മാതൃക ബാധകമാകുന്നില്ല. ഒന്നിലധികം ഇലക്ട്രോണുകളുണ്ടാകുമ്പോൾ ന്യൂക്ലിയസുമായുള്ള ആകർഷണത്തിനു പുറമേ മറ്റ് ഇലക്ട്രോണുകളുമായുള്ള പാരസ്പര്യവും പരിഗണിക്കേണ്ടതുണ്ടെന്നതാണ് പ്രശ്നം. ഇലക്ട്രോണുകൾ തമ്മിലുള്ള പരസ്പര പ്രവർത്തനങ്ങളൊന്നും ബോർ മാതൃകയിൽ ചർച്ചചെയ്യുന്നില്ല.

   പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള ന്യൂക്ലിയസ്സിനും ഇലക്ട്രോണിനും ഇടയിലുള്ള വൈദ്യുതബലമാണ് ബോർ മാതൃകയുടെ രൂപീകരണത്തിൽ ഉൾക്കൊള്ളുന്നത്. അനേകം ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ആറ്റങ്ങളിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾക്കിടയിലുള്ള വൈദ്യുതബലങ്ങളെ ബോർമാതൃകയിൽ ഉൾപ്പെടുത്തിയിട്ടില്ല.

2. ഹൈഡ്രോജനിക് ആറ്റങ്ങൾ ഉൽസർജിക്കുന്ന ആവൃത്തികൾ ബോർ മാതൃക

* ന്യൂക്ലിയസ്സിൽ $+Ze$ പോസിറ്റീവ് ചാർജും ഒരു ഇലക്ട്രോണും ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ആറ്റങ്ങളെ ഹൈഡ്രജനെപ്പോലെയുള്ള ആറ്റങ്ങൾ എന്നു പറയുന്നു. ഇവിടെ Z എന്നത് പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണമാണ്. ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റം, ഒരു ചാർജുള്ള അയോണീകരിക്കപ്പെട്ട ഹീലിയം, രണ്ട് ചാർജുള്ള അയോണീകരിക്കപ്പെട്ട ലിഥിയം എന്നിവ ഉദാഹരണങ്ങളാണ്. ഈ ആറ്റങ്ങളിൽ ഇലക്ട്രോണും ഇലക്ട്രോണും തമ്മിലുള്ള പ്രതിപ്രവർത്തനങ്ങൾ നിലനിൽക്കുന്നില്ല.

കൃത്യമായി തന്നെ പ്രവചിക്കുന്നുണ്ടെങ്കിലും സ്പെക്ട്രത്തിലുള്ള ആവൃത്തികളുടെ ആപേക്ഷിക തീവ്രതയുടെ കാരണം അത് വിശദീകരിക്കുന്നില്ല. ഹൈഡ്രജന്റെ ഉൽസർജിത സ്പെക്ട്രത്തിൽ ചില ആവൃത്തികൾ വളരെ തീവ്രത കുറഞ്ഞാണിരിക്കുന്നത്. മറ്റ് ചില ആവൃത്തികളാകട്ടെ വളരെ തെളിഞ്ഞും. എന്തുകൊണ്ടാണിങ്ങനെ സംഭവിക്കുന്നത്? പരീക്ഷണ നിരീക്ഷണങ്ങളിലെപ്പോലെ ചില ഊർജ കൈമാറ്റങ്ങൾ ആറ്റങ്ങൾ പ്രോത്സാഹിപ്പിക്കുന്നത് എന്തുകൊണ്ട്? ഈ തീവ്രതാ വ്യതിയാനത്തിനും ബോർ മാതൃകയിൽ വിശദീകരണമില്ല.

ബോർ മാതൃക ആറ്റത്തെ സംബന്ധിച്ച കൃത്യമായ ഒരു ചിത്രം നൽകുന്നു. പക്ഷെ സങ്കീർണ്ണമായ മറ്റ് ആറ്റങ്ങൾക്കിത് ബാധകമാകുന്നില്ല. ഈ ആറ്റങ്ങളെ സംബന്ധിച്ച് പൂർണ്ണമായ ഒരു ആറ്റോമിക ചിത്രം ലഭിക്കുന്നതിന് ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്രത്തെ അടിസ്ഥാനപ്പെടുത്തിയിട്ടുള്ള കൂടുതൽ മൗലികമായ സിദ്ധാന്തങ്ങൾ തന്നെ ഉപയോഗിക്കണം.

ലേസർ പ്രകാശം (LASER LIGHT)

ഒരു ഗേറ്റിലൂടെ ആളുകൾ പ്രവേശിച്ച് പല ഭാഗങ്ങളിലേക്കു നീങ്ങുന്ന തിരക്കേറിയ ഒരു ചന്തയോ റെയിൽവേ സ്റ്റേഷനോ മനസ്സിൽ വിചാരിക്കുക. അവരുടെ പാദചലനങ്ങൾ പലതാകയാൽ അവ തമ്മിൽ ഒരു പൊരുത്തവും ഉണ്ടാവില്ല. പക്ഷേ കുറേ പട്ടാളക്കാർ ചിട്ടയോടെ മാർച്ച് ചെയ്യുമ്പോഴോ? അവരുടെ പാദചലനങ്ങൾ ഒരേ പോലെ ആയിരിക്കും. തന്നിരിക്കുന്ന ചിത്രം നോക്കുക.

(a) ബൾബിൽനിന്നുള്ള പ്രകാശം

(b) ലേസർ പ്രകാശം

ഒരു മെഴുകുതിരിയോ വൈദ്യുതവിളക്കോ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന പ്രകാശവും ലേസറും തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസത്തിനു സമാനമാണിത്. ലൈറ്റ് ആംപ്ലിഫിക്കേഷൻ ബൈ സ്റ്റിമുലേറ്റഡ് എമിഷൻ ഓഫ് റേഡിയേഷൻ എന്നതിന്റെ ചുരുക്കമാണ് ലേസർ (LASER). 1960ൽ കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടതിനുശേഷം ശാസ്ത്രത്തിലും സാങ്കേതിക വിദ്യയുടെ എല്ലാ മേഖലകളിലും അതിന്റെ ഉപയോഗം വർദ്ധിച്ചു വരികയാണ്. ഭൗതികശാസ്ത്രം, രസതന്ത്രം, ജീവശാസ്ത്രം, വൈദ്യുതശാസ്ത്രം, ശസ്ത്രക്രിയ, എഞ്ചിനീയറിങ് എന്നീ മേഖലകളിലൊക്കെ ഇന്ന് ലേസർ ഉപയോഗിക്കുന്നുണ്ട്. സാധാരണ ലേസർ പോയിന്ററുകളായി (pointers) ഉപയോഗിക്കുന്നത് 0.5mW ലേസറുകളാണ്. കൂടാതെ കണ്ണിലും ആമാശയത്തിലെ ഗ്രന്ഥികളിലും സൂക്ഷ്മമായ ശസ്ത്രക്രിയകൾ നടത്താൻ അനുയോജ്യമായ വിവിധ പവറുകളിലുള്ള ലേസറുകൾ ഇന്നുണ്ട്. ഉരുക്കിനെ മുറിക്കാനും വെൽഡു ചെയ്യാനും വരെ സാധിക്കുന്ന ലേസറുകളും ഉണ്ട്.

ഒരു ഊർജസ്രോതസ്സിൽനിന്നും പ്രകാശം ഉൽസർജിക്കുന്നത് തരംഗങ്ങളുടെ പാക്കറ്റുകൾ (packets) ആയിട്ടാണ്. സാധാരണ ഒരു സ്രോതസ്സിൽനിന്നും വരുന്ന പ്രകാശം പല തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളും അടങ്ങിയതാണ്. അവ തമ്മിൽ ഫേസ് ബന്ധം (phase relation) ഉണ്ടാകില്ല. അങ്ങനെയുള്ള ഒരു പ്രകാശകിരണം ഒരു ചെറിയ സുഷിരത്തിലൂടെ കടത്തിവിട്ടാലും പെട്ടെന്ന് തന്നെ പരന്നുപോവുകയും ദൂരം കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് കിരണത്തിന്റെ വലുപ്പം കൂടി വരികയും ചെയ്യുന്നു. ലേസർ കിരണത്തിലാവട്ടെ എല്ലാ ഊർജപാക്കറ്റുകളുടെയും തരംഗദൈർഘ്യം മിക്കവാറും, ഒന്നുതന്നെ ആയിരിക്കും. അതുപോലെ ഊർജപാക്കറ്റുകളുടെ നീളവും വളരെ കൂടുതലായിരിക്കും. ഇതിനർഥം കൂടുതൽ സഞ്ചരിച്ചാലും മെച്ചപ്പെട്ട ഫേസ് ബന്ധം നിലനിർത്താനാകും. കിരണം തമ്മിൽ അകന്നുപോകുന്നത് അതുകൊണ്ട് ഗണ്യമായി കുറവായിരിക്കും.

ഒരു സ്രോതസ്സിൽ N ആറ്റങ്ങൾ ഉണ്ടെന്നും, അവ ഓരോന്നും I തീവ്രതയിൽ പ്രകാശം ഉൽസർജിക്കുന്നെന്നും കരുതിയാൽ ഒരു സാധാരണ സ്രോതസ്സിന്റെ തീവ്രത NIക്ക് ആനുപാതികമായിരിക്കും. പക്ഷേ ലേസർ സ്രോതസ്സിൽ ഇത് N^2I ക്ക് ആനുപാതികമായിരിക്കും. N ന്റെ വില വളരെക്കൂടുതലാകയാൽ ഒരു ലേസറിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശം വളരെ ശക്തിയുള്ളതായിരിക്കും. അപ്പോളോ യാത്രികർ ചാന്ദ്ര സന്ദർശന സമയത്ത് ഭൂമിക്കഭിമുഖമായി ചന്ദ്രോപരിതലത്തിൽ ഒരു കണ്ണാടി ഉറപ്പിച്ചു. ഭൂമിയിൽ നിന്ന് ശക്തമായ ഒരു ലേസർ കിരണം അതിലേക്കയക്കുകയും അത് കണ്ണാടിയിൽ തട്ടി പ്രതിപതിച്ച് ഭൂമിയിൽ തിരിച്ചെത്തുകയും ചെയ്തു. തിരിച്ചെത്തിയ ലേസർ കിരണത്തിന്റെ വലുപ്പവും അങ്ങോട്ടുമിങ്ങോട്ടും സഞ്ചരിക്കുവാനെടുത്ത സമയവും അളന്നു കണ്ടുപിടിച്ചു. ഇതിൽനിന്നും (a) ലേസറിനു സംഭവിക്കുന്ന വളരെ ചെറിയ വ്യതിയാനം കണ്ടെത്താനും അതുപോലെ (b) ഭൂമിയിൽനിന്നും ചന്ദ്രനിലേക്കുള്ള ദൂരം കൃത്യമായി കണ്ടുപിടിക്കുവാനും സാധിച്ചു.

സംഗ്രഹം

1. ആറ്റങ്ങൾ വൈദ്യുതപരമായി ന്യൂട്രൽ ആണ്. അതുകൊണ്ട് അതിൽ തുല്യമായ അളവിൽ പോസിറ്റീവ് ചാർജും നെഗറ്റീവ് ചാർജും അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു.

2. തോംസന്റെ ആറ്റം മാതൃകയിൽ പോസിറ്റീവ് ചാർജുകളുടെ ഒരു ഗോളപടലമാണ് ആറ്റം. നെഗറ്റീവ് ചാർജുകൾ അതിനകത്ത് അവിടവിടെയായി ഉറപ്പിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു.

3. റദർഫോഡിന്റെ ആറ്റം മാതൃക പ്രകാരം ആറ്റത്തിന്റെ മുഴുവൻ ചാർജും മാസും ആറ്റത്തിന്റെ മദ്ധ്യഭാഗത്തുള്ള വളരെ ചെറിയ ഒരു ന്യൂക്ലിയസിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. (ന്യൂക്ലിയസിന് ആറ്റത്തിന്റെ 100,000ത്തിൽ ഒരു ഭാഗം വലുപ്പമേയുള്ളൂ) ഇലക്ട്രോണുകൾ ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റും പരിക്രമണം ചെയ്യുന്നു.

4. റഥർഫോഡിന്റെ ആറ്റം മാതൃകയ്ക്കു പ്രധാനപ്പെട്ട രണ്ട് ന്യൂനതകളുണ്ട്.

   (a) ഇതനുസരിച്ച് ആറ്റങ്ങൾ സുസ്ഥിരമല്ല. ന്യൂക്ലിയസിനുചുറ്റും, പരിക്രമണം ചെയ്യുന്ന ത്വരണമുള്ള ഇലക്ട്രോണുകൾ തുടർച്ചയായി ഊർജവികിരണം നടത്തുകയും അങ്ങിനെ അവ ഊർജം നഷ്ടപ്പെട്ട് അന്തിമമായി ന്യൂക്ലിയസിൽ പതിക്കുകയും ചെയ്യും. ഇത് ദ്രവ്യത്തിന്റെ സ്ഥിരതയ്ക്ക് എതിരാണ്.

   (b) വിവിധ മൂലകങ്ങളുടെ ആറ്റങ്ങൾ ഉൽസർജിക്കുന്ന സവിശേഷമായ രേഖീയ സ്പെക്ട്രത്തെ വിശദീകരിക്കുന്നതിലത് പരാജയപ്പെട്ടു.

5. ഓരോ മൂലകത്തിന്റെയും ആറ്റങ്ങൾ സുസ്ഥിരമാണ്. അവ സവിശേഷമായ സ്പെക്ട്രം ഉൽസർജിക്കുന്നു. ഇടവിട്ടുള്ള സമാന്തരശ്രേണിയുള്ള ഈ സ്പെക്ട്രത്തെ രേഖീയ സ്പെക്ട്രം (emission spectrum) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ആറ്റത്തിലെ ഘടനയെ സംബന്ധിച്ച സുപ്രധാന വിവരങ്ങൾ അവ നൽകുന്നു.

6. വിവിധ ശ്രേണിയിലുള്ള രേഖീയ സ്പെക്ട്രം ആണ് അറ്റോമിക ഹൈഡ്രജൻ ഉൽസർജിക്കുന്നത്. ഓരോ രേഖീയ സ്പെക്ട്ര ശ്രേണിയിലെയും സ്പെക്ട്രൽ രേഖയുടെ ആവൃത്തി താഴെ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ കണ്ടുപിടിക്കാവുന്നതാണ്.

   ലൈമൻ ശ്രേണി : $\nu = Rc(1/1^2 - 1/n^2)$; $n = 2,3,4.....$

   ബാമർ ശ്രേണി $\nu = Rc(1/2^2 - 1/n^2)$; $n = 3,4,5....$

   പാഷെൻ ശ്രേണി $\nu = Rc(1/3^2 - 1/n^2)$; $n = 4,5,6.....$

   ബ്രാക്കറ്റ് ശ്രേണി $\nu = Rc(1/4^2 - 1/n^2)$; $n = 5,6,7.....$

   ഫണ്ട് ശ്രേണി $\nu = Rc(1/5^2 - 1/n^2)$; $n = 6,7,8.....$

7. ആറ്റങ്ങൾ ഉൽസർജിക്കുന്ന രേഖീയ സ്പെക്ട്രം വിശദീകരിക്കുവാൻ നീൽസ് ബോർ ഹൈഡ്രജൻ പോലുള്ള ആറ്റങ്ങൾക്ക് (ഒരു ഇലക്ട്രോൺ) ബാധകമായ ഒരു മാതൃക അവതരിപ്പിച്ചു. ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്രത്തിന്റെ തത്ത്വങ്ങൾക്ക് അടിസ്ഥാനം നൽകുന്ന മൂന്ന് സങ്കൽപ്പനങ്ങൾ അദ്ദേഹം മുന്നോട്ടു വെച്ചു.

   (a) ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിൽ ഇലക്ട്രോൺ നിശ്ചിതമായ ഒരു ഓർബിറ്റിൽ (ഇതിനെ സുസ്ഥിര ഓർബിറ്റെന്നു വിളിക്കുന്നു) വികിരണോർജമില്ലാതെ ഭ്രമണം ചെയ്യുന്നു.

(b) കോണീയാക്കം $h/2\pi$ യുടെ എണ്ണൽ സംഖ്യാ ഗുണിതമായി വരുന്ന ഓർബിറ്റുകളിൽ മാത്രമേ ഇലക്ട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റും ഭ്രമണം ചെയ്യുകയുള്ളൂ. ഇവിടെ h= പ്ലാങ്ക് സ്ഥിരാങ്കം (6.6×10^{-34} Js)

അതായത് ഇലക്ട്രോണിന്റെ കോണീയാക്കം $L = nh/2\pi$ ആണ്, n നെ ക്വാണ്ടം സംഖ്യയെന്നു വിളിക്കുന്നു.

(c) മൂന്നാമത്തെ സങ്കൽപന പ്രകാരം ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉയർന്ന ഊർജനിലയിൽ നിന്നും താഴ്ന്ന ഊർജനിലയിലേക്കു നീങ്ങുമ്പോൾ ഊർജനിലകൾ തമ്മിലുള്ള ഊർജവ്യത്യാസത്തെ ഒരു ഫോട്ടോണായി ഉൽസർജിക്കുന്നു. ഫോട്ടോണിന്റെ ആവൃത്തി ν ആണെങ്കിൽ $h\nu = E_i - E_f$

അതുപോലെ താഴ്ന്ന ഒരു ഊർജനിലയിൽ നിന്നും ആവശ്യമായ ഊർജം സ്വീകരിച്ച് ഇലക്ട്രോൺ ഉയർന്ന ഊർജനിലയിലേക്ക് നീങ്ങുകയാണെങ്കിൽ $E_i \quad h\nu = E_f$.

8. കോണീയാക്കത്തിന്റെ ക്വാണ്ടൈസേഷൻ വ്യവസ്ഥ കാരണം ഒരു ഇലക്ട്രോണിനു ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റും സുനിശ്ചിതമായ ആരമുള്ള ഓർബിറ്റുകളിൽ മാത്രമേ പരിക്രമണം ചെയ്യാനാവൂ. ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തെ സംബന്ധിച്ച് ഈ ആരം

$$r_n = \left(\frac{n^2}{m}\right)\left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 \frac{4\pi\varepsilon_0}{e^2}$$

മൊത്തം ഊർജവും ക്വാണ്ടീകൃതമാണ്.

$$E_n = -\frac{me^4}{8n^2\varepsilon_0^2 h^2}$$

$$= 13.6/n^2 \text{ev}$$

n = 1 എന്ന സ്ഥിതിയെ സ്വാഭാവികനില എന്നു പറയുന്നു. സ്വാഭാവിക നിലയിലുള്ള ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ ഊർജം -13.6 eV. n ന്റെ കൂടിയ വിലകൾ ആറ്റത്തിന്റെ ഉത്തേജിതാവസ്ഥകളെ കുറിക്കുന്നു. (n>1). മറ്റ് ആറ്റങ്ങളുമായുള്ള കൊളീഷൻ മൂലമോ ഫോട്ടോൺ ആഗിരണം ചെയ്യുമ്പോഴോ ആറ്റങ്ങൾ ഉത്തേജിക്കപ്പെടുന്നു.

9. ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് തരംഗദൈർഘ്യമുണ്ടെന്ന ദെബ്രോയിയുടെ കണ്ടെത്തൽ (ഇലക്ട്രോണുകളുടെ തരംഗദൈർഘ്യം $\lambda = h/mv$) മുന്നോട്ടു വെയ്ക്കുന്ന തരംഗ-പദാർഥ ദ്വന്ദ്വ സങ്കൽപം ബോറിന്റെ ക്വാണ്ടവൽക്കരിക്കപ്പെട്ട ഓർബിറ്റുകൾക്കുള്ള വിശദീകരണം നൽകുന്നു. ഓർബിറ്റുകളെന്നാൽ വൃത്താകാരത്തിൽ സ്പന്ദിക്കുന്ന നിശ്ചലതരംഗങ്ങളാണ്. ഇതിന്റെ വൃത്തപരിധി തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളുടെ എണ്ണൽ സംഖ്യാ ഗുണിതങ്ങളായിരിക്കണം.

10. ഒറ്റ ഇലക്ട്രോൺ മാത്രമുള്ള ഹൈഡ്രജനു സമാനമായ ആറ്റങ്ങൾക്കു മാത്രമേ ബോർ മാതൃക ബാധകമാകുന്നുള്ളൂ. ഹീലിയം പോലെ രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകളുള്ള ആറ്റങ്ങൾക്കുപോലും അത് ബാധകമാകുന്നില്ല. കൂടാതെ ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ആപേക്ഷിക തീവ്രതാവ്യതിയാനത്തിനും ഈ മാതൃക തൃപ്തികരമായ വിശദീകരണം നൽകുന്നില്ല.

വിചിന്തന വിഷയങ്ങൾ

1. തോംസണിന്റെയും റഥർഫോഡിന്റെയും ആറ്റം മാതൃകകൾ സ്ഥിരതയുള്ളതല്ല. തോംസന്റെ മാതൃകകൾ സ്ഥിരവൈദ്യുത നിയമപ്രകാരം സുസ്ഥിരമല്ല. ഭ്രമണം ചെയ്യുന്ന ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉൽസർജിക്കുന്ന വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണം കാരണമാണ് റദർഫോർഡിന്റെ മാതൃക അസ്ഥിരമാകുന്നത്.

2. ബോറിന്റെ രണ്ടാം നിയമത്തിൽ മറ്റൊരു അളവും പരിഗണിക്കാതെ കോണീയ ആക്കം മാത്രം ക്വാണ്ടൈസ് ചെയ്യപ്പെടുന്നതിന് കാരണം എന്തായിരിക്കും? h ന് കോണീയാക്കത്തിന്റെ ഡൈമെൻഷൻ ആണെന്നതു ശ്രദ്ധിക്കുക. കൂടാതെ വർത്തുള ചനലനത്തിന് കോണീയാക്കം പ്രധാനപ്പെട്ട ഒരു അളവാണല്ലോ? അതിനാൽ കോണീയാക്കം പരിഗണിച്ചത് സ്വാഭാവികം തന്നെ എന്നു കണ്ടെത്താം.

3. ബോറിന്റെ ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റം മാതൃകയിലെ ഓർബിറ്റൽ ചിത്രം അനിശ്ചിതത്വ സിദ്ധാന്തപ്രകാരം നിലനിൽക്കില്ല. പുതിയ ക്വാണ്ടം നിയമം അതിനെ ഇങ്ങനെ പുനർനിർവചിക്കുന്നു. ഓർബിറ്റെന്നാൽ ഇലക്ട്രോണിനെ കാണാൻ ഏറ്റവും കൂടുതൽ സാദ്ധ്യതയുള്ള പ്രദേശമാണ്.

4. സൗരയൂഥത്തിൽ സൂര്യനും ഗ്രഹങ്ങളും തമ്മിലുള്ള ആകർഷണബലം വളരെ ക്കൂടുതലും ഗ്രഹങ്ങൾക്ക് പരസ്പരമുള്ള ഗുരുത്വാകർഷണബലം തീരേ നിസ്സാരവുമാണ്. (സൂര്യന്റെ മാസ് ഗ്രഹങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ച് വളരെ കൂടുതലാണല്ലോ?) എന്നാൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ തമ്മിലുള്ള പരസ്പര ബലം ഇലക്ട്രോണിന് ന്യൂക്ലിയസുമായുള്ള ബലത്തോളംതന്നെ പ്രബലമാണ്. ഇതിനു കാരണം ചാർജുകളുടെയും അവയുടെ പരസ്പര അകലത്തിന്റെയും പരിമാണഘാതങ്ങൾ സമാനമാണെന്നതാണ്. ഇതുകൊണ്ടാണ് ഒന്നിലധികം ഇലക്ട്രോണുകളുള്ള ആറ്റങ്ങൾക്ക് ബോർ മാതൃക ബാധകമാകാത്തത്.

5. ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് ഊർജ ഉൽസർജനം നടത്താതെ തന്നെ ഭ്രമണം ചെയ്യാവുന്ന ഓർബിറ്റുകൾ എന്ന സങ്കൽപനത്തിലൂടെ ബോർ ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്രത്തിന് അടിത്തറയിട്ടു. ബോറിന്റെ മാതൃകയിൽ n എന്ന ക്വാണ്ടം സംഖ്യ മാത്രമേയുള്ളൂ. പുതിയ ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്ര സിദ്ധാന്തങ്ങൾ ബോറിന്റെ അടിസ്ഥാന സങ്കൽപങ്ങളെ പിന്തുണയ്ക്കുന്നു. പക്ഷെ ആധുനിക ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്രത്തിൽ ഒരു ഊർജനിലയെ വിശദീകരിക്കുന്നതിന് ഒരൊറ്റ ക്വാണ്ടം സംഖ്യമാത്രം മതിയാവില്ല. ഒരു ക്വാണ്ടം അവസ്ഥയെ വിശദീകരിക്കാൻ n, l, m, s എന്നിങ്ങനെ നാല് ക്വാണ്ടം സംഖ്യകൾ ആവശ്യമാണ്. പക്ഷെ ഹൈഡ്രജനെപ്പോലുള്ള ആറ്റങ്ങളിൽ കൂളംപൊട്ടൻഷ്യൽ n എന്ന ഒരൊറ്റ ക്വാണ്ടം സംഖ്യയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു.

6. ബോറിന്റെ മാതൃകയിൽ, ക്ലാസിക്കൽ സിദ്ധാന്തത്തിൽ പറയും പോലെ, പരിക്രമണം ചെയ്യുന്ന ഒരിലക്ട്രോണിന്റെ ആവൃത്തിക്ക് അത് ഉൽസർജിക്കുന്ന വികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തിയുമായി ബന്ധമില്ല. അത് രണ്ട് ഓർബിറ്റുകൾ തമ്മിലുള്ള ഊർജവ്യത്യാസത്തെ h കൊണ്ട് ഹരിച്ചതിനു തുല്യമാണ്. പക്ഷെ വലിയ ഊർജനിലകളിൽ നിന്നുമുള്ള സഞ്ചാരത്തിൽ (n ൽ നിന്നും (n-1) ലേക്ക്) ആവൃത്തികൾ തുല്യമാണെന്ന് കാണാവുന്നതാണ്.

7. ബോറിന്റെ മാതൃകയെ സെമിക്ലാസിക്കൽ മാതൃകയെന്നു വിളിക്കാം - കാരണം അത് ക്ലാസിക് ഭൗതികത്തിലെ ചില പരികൽപനങ്ങളും ആധുനിക ഭൗതികത്തിലെ

ചില പരികൽപനങ്ങളും സംയോജിപ്പിച്ചുണ്ടാക്കിയതാണ്. പക്ഷെ ഏറ്റവും ലളിതമായ ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ പോലും കൃത്യമായ ചിത്രം നൽകുവാൻ ഇത് അപര്യാപ്തമാണെന്ന വസ്തുത നിലനിൽക്കുന്നു. ശരിയായ ചിത്രം നമുക്ക് ലഭിക്കുന്നത് പല അടിസ്ഥാന സങ്കൽപനങ്ങളിലും വിഭിന്നമായ ക്വാണ്ടം പരികൽപനവഴിയാണ്. ബോറിന്റെ മാതൃക നൂറു ശതമാനവും കൃത്യമായ ചിത്രം നൽകുന്നില്ലെങ്കിൽ ഇതിനെക്കുറിച്ച് നമ്മളെന്തിനു വിഷമിക്കണം? ബോറിന്റെ മാതൃക ഇപ്പോഴും ഉപയോഗപ്രദമാകാനുള്ള കാരണങ്ങൾ താഴെപറയുന്നു.

1. വെറും മൂന്നു സങ്കൽപനങ്ങളാണിതിലുള്ളത്. എന്നിട്ടും ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ പൊതുസ്വഭാവത്തെ ഇത് പൂർണമായി തന്നെ വ്യാഖ്യാനിക്കുന്നു.
2. ക്ലാസിക്കൽ ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിൽ നാം പാലിക്കുന്ന പല അടിസ്ഥാന സങ്കൽപങ്ങളും ഇതിൽ ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നു.
3. ഈ മാതൃക മുന്നോട്ട് വെക്കുന്ന ഏറ്റവും വലിയ പാഠം ഇതാണ്. ഒരു സൈദ്ധാന്തികന്റെ അതുവരെ രൂഢമൂലമായിട്ടുള്ള ചില സങ്കൽപങ്ങൾ അപ്പാടെ നിരാകരിച്ചുകൊണ്ട് മുന്നോട്ടു വെക്കുന്ന ചില നവസങ്കൽപങ്ങൾ സത്യത്തിലേക്കുള്ള പുതിയ വാതിലുകൾ തുറക്കും. ഒരു നവ മാതൃകയുടെ പ്രവചനം നിരീക്ഷിക്കപ്പെട്ട വസ്തുതകളെ ശരിയായി വ്യാഖ്യാനിക്കുന്ന പക്ഷം നേരത്തെ പ്രായോഗികമല്ലെന്നു കണ്ട് തള്ളിയ പല വസ്തുതകൾക്കും പുതിയ വ്യാഖ്യാനങ്ങൾ നൽകാനാകും.

പരിശീലന പ്രശ്നങ്ങൾ

12.1. ഓരോ പ്രസ്താവനയിലും വിട്ട ഭാഗം ബ്രാക്കറ്റിൽ നിന്നും തിരഞ്ഞെടുക്കുക

a) തോംസൺ മാതൃകയിൽ ആറ്റത്തിന്റെ വലുപ്പം റദർഫോർഡ് മാതൃകയിലേതിനെക്കാൾ _____ (വളരെ കൂടുതൽ/വ്യത്യാസമില്ല/വളരെക്കുറവ്)

b) _____ന്റെ മാതൃക പ്രകാരം ഗ്രൗണ്ട് സ്റ്റേറ്റിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ സന്തുലിതാവസ്ഥയിലാണ് എന്നാൽ_____മാതൃകയിൽ ഇലക്ട്രോണുകളിൽ ഫലത്തിൽ ഒരു ബലം അനുഭവപ്പെടുന്നു.(തോംസൺ മാതൃക/റദർഫോഡ് മാതൃക)

c) _____അനുസരിച്ചുള്ള ഒരു ആറ്റം ആത്യന്തികമായി നിലനിൽക്കില്ല. (തോംസൺ മാതൃക/റദർഫോർഡ് മാതൃക)

d) _____മാതൃക പ്രകാരം ആറ്റത്തിന്റെ മാസ്സ് അതിനകത്ത് ഏകരൂപേണ വ്യാപിച്ചിരിക്കുന്നു. എന്നാൽ _____ മാതൃക പ്രകാരം അത് ക്രമമല്ലാതെ ക്രമീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. (തോംസൺ/റദർഫോർഡ്)

e) _____ ഒരാറ്റത്തിന്റെ പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള ഭാഗത്ത് ഭൂരിഭാഗം മാസും കേന്ദ്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. (റദർഫോർഡ് മാതൃകയിൽ/രണ്ട് മാതൃകകളിലും)

12.2. സ്വർണ്ണത്തകിടിനു പകരം ഖരഹൈഡ്രജന്റെ കനം കുറഞ്ഞ ഒരു ഷീറ്റ് (14 Kനു താഴെ ഹൈഡ്രജൻ ഖരാവസ്ഥയിലാണ്) ഉപയോഗിച്ച് α കണ വിസരണപരീക്ഷണം നടത്താൻ നിങ്ങൾക്ക് ഒരവസരം കൈവരുന്നുവെന്നിരിക്കട്ടെ. എന്ത് ഫലമാകും നിങ്ങൾക്കു ലഭിക്കുക?

12.3. പാഷെൻ ശ്രേണിയിലെ രേഖീയ സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ തരംഗ ദൈർഘ്യം എത്രയായിരിക്കും?

12.4. ഒരാറ്റത്തിലെ രണ്ട് ഊർജനിലകൾ തമ്മിൽ 2.3 eV ഊർജവ്യത്യാസമുണ്ട്. ഉയർന്ന ഊർജനിലയിൽ നിന്നും താഴ്ന്നതിലേക്ക് ഇലക്ട്രോൺ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ ഉൽസർജിക്കുന്ന വികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തി എത്രയായിരിക്കും?

12.5. സ്വാഭാവിക നിലയിലുള്ള ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ ഊർജം -13.6 eV ആണ്. ഈ അവസ്ഥയിൽ ഇലക്ട്രോണിന്റെ സ്ഥിതികോർജവും ഗതികോർജവും എത്ര വീതം ആയിരിക്കും?

12.6. അടിസ്ഥാന ഊർജനിലയിലുള്ള ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റം ഒരു ഫോട്ടോണിനെ ആഗിരണം ചെയ്ത് $n = 4$ എന്ന നിലയിലേക്ക് ഉത്തേജിതമാകുന്നു. ഫോട്ടോണിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യവും ആവൃത്തിയും കണ്ടെത്തുക.

12.7. (a) ബോറിന്റെ മാതൃക പ്രകാരം ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ $n = 1,2,3$ എന്നീ നിലകളിലുള്ള ഇലക്ട്രോണിന്റെ വേഗത കണക്കാക്കുക.

(b) ഈ ഓരോ നിലയിലേയും പരിക്രമണത്തിന്റെ ആവർത്തനകാലം കണ്ടെത്തുക

12.8. ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ ഏറ്റവും ഉൾഭാഗത്തെ ഓർബിറ്റിന്റെ ആരം 5.3×10^{-11}m ആണ്. $n = 2$, $n = 3$ ഓർബിറ്റുകളുടെ ആരങ്ങൾ എത്രവീതം ആയിരിക്കും?

12.9. സാധാരണ താപനിലയിലുള്ള ഹൈഡ്രജൻ വാതകത്തെ 12.5eV ഊർജമുള്ള ഇലക്ട്രോൺ ബീം കൊണ്ട് ഇടിച്ചാൽ ഉൽസർജിക്കപ്പെടുന്ന തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾ ഏതൊക്കെയായിരിക്കും?

12.10. ബോറിന്റെ ആറ്റം മാതൃക പ്രകാരം ഭൂമിയുടെ സൂര്യനു ചുറ്റുമുള്ള പരിക്രമണ പഥത്തിന്റെ ക്വാണ്ടം സംഖ്യ കണ്ടെത്തുക (ഓർബിറ്റിന്റെ ആരം $= 1.5 \times 10^{11}$m ഭ്രമണവേഗത $= 3 \times 10^{4}$m/s ഭൂമിയുടെ മാസ് $= 6 \times 10^{24}$kg.)

കൂടുതൽ പരിശീലന പ്രശ്നങ്ങൾ

12.11. താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന ചോദ്യങ്ങൾക്ക് ഉത്തരങ്ങൾ എഴുതുക. തോംസൺ മാതൃകയും റഥർഫോഡ് മാതൃകയും തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസം നന്നായി മനസ്സിലാക്കാൻ അതുപകരിക്കും.

(a) α കണങ്ങൾ സ്വർണ്ണത്തകിടിലേക്ക് പായിച്ച് നടത്തിയ പരീക്ഷണത്തിൽ α കണങ്ങൾക്ക് നേരിട്ട ശരാശരി കോണീയ വ്യതിയാനം തോംസൺ മാതൃകയിൽ പ്രവചിച്ചതിൽ നിന്നും റഥർഫോഡ് മാതൃകയിൽ പ്രവചിച്ചത് കൂടുതലായിരുന്നോ കുറവായിരുന്നോ അതോ തുല്യമായിരുന്നോ?

(b) തോംസന്റെ മാതൃകയിൽ പ്രവചിച്ച എതിർ ദിശയിലേക്കുള്ള വിസരണ (90^0 യിൽ അധികമുള്ള വിസരണം) സാദ്ധ്യത റഥർഫോർഡ് മാതൃകയിൽ പ്രവചിച്ചതിലേക്കാൾ കൂടുതലായിരുന്നോ കുറവായിരുന്നോ അതോ തുല്യമായിരുന്നോ?

(c) മറ്റ് ഘടകങ്ങൾ സ്ഥിരമായിരുന്നാൽ ശരാശരി കോണുകളിലേക്കു വിസരണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന – α കണങ്ങളുടെ എണ്ണം ലോഹത്തകിടിന്റെ കനത്തിന് (t യ്ക്ക്)

ആനുപാതികമാണെന്ന് പരീക്ഷണത്തിൽ കാണുകയുണ്ടായി. 1 യുടെ ഈ രേഖീയ ആശ്രിതത്വത്തിൽ നിന്നും എന്താണ് മനസ്സിലാക്കേണ്ടത്?

(d) കനം കുറഞ്ഞ തകിടിലെ α കണങ്ങളുടെ വിസരണത്തിൽ ശരാശരി വിസരണകോൺ കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിന് α കണങ്ങളുടെ ആവർത്തിച്ചുള്ള വിസരണ സാദ്ധ്യതയെ അവഗണിക്കുന്നത് പൂർണ്ണമായും തെറ്റാവുക ഏത് മാതൃകയിലാണ്?

12.12 ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണും പ്രോട്ടോണും തമ്മിലുള്ള ഗുരുത്വബലവും കൂളോം നിയമപ്രകാരമുള്ള ആകർഷണബലവും തമ്മിലുള്ള അംശബന്ധം 10^{-40}ആണ്. ഇത് ഗ്രഹിക്കുന്നതിനുള്ള മറ്റൊരു മാർഗ്ഗം ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഒന്നാമത്തെ ഓർബിറ്റിന്റെ ആരം ഗുരുത്വാകർഷണ നിയമ പ്രകാരം കണ്ടെത്തുക. ഇത് നൽകുന്ന ഫലം വളരെ കൗതുകമായിരിക്കും.

12.13. ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോൺ 'n' ഓർബിറ്റിൽ നിന്നും (n-1) നിലയിലേക്ക് നീങ്ങുമ്പോൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന വികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തി കണ്ടെത്താനുള്ള സൂത്രവാക്യം എന്ത്? n ന്റെ വില വലുതാകുമ്പോൾ ആവൃത്തി ക്ലാസിക്കൽ പരിക്രമണ ആവൃത്തിക്കു തുല്യമാകുന്നുവെന്നു തെളിയിക്കുക.

12.14. ആറ്റം സിദ്ധാന്തപ്രകാരം ഒരു ഇലക്ട്രോണിനു ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റുമുള്ള ഏതൊരോർബിറ്റിലും നിലനിൽക്കാം. അങ്ങനെയെങ്കിൽ ഒരാറ്റത്തിന്റെ വലുപ്പം തീരുമാനിക്കുന്ന ഘടകം ഏതാണ്? ആറ്റത്തിന്റെ വലുപ്പം മാതൃകാവലുപ്പത്തേക്കാൾ 1000 മടങ്ങ് കൂടുതലാകാമോ? ഈ പുസ്തകത്തിൽ നിങ്ങൾ പഠിക്കുന്ന ആറ്റം മാതൃകയിലേക്കെത്തും മുമ്പ് ബോറിനെ ഈ പ്രശ്നം ശരിക്കും ബുദ്ധിമുട്ടിച്ചിരുന്നു. ഈ കണ്ടുപിടിത്തത്തിലേക്കു അദ്ദേഹം എത്തിപ്പെടാനിടയായിട്ടുണ്ടാകുമായിരുന്ന സാഹചര്യം നമുക്കൊന്ന് പുന:സൃഷ്ടിച്ചാലോ? പ്രകൃതിയിലെ അടിസ്ഥാന സ്ഥിരസംഖ്യകൾ വെച്ച് 10^{-10} m എന്ന വില ലഭിക്കുന്ന ഡൈമെൻഷനുകൾ (dimensions) കണ്ടെത്തണം. അതിനാദ്യം

(a) നീളം എന്ന ഡൈമൻഷൻ ലഭിക്കുന്ന ഒരു അളവ് അടിസ്ഥാന സ്ഥിരസംഖ്യകളായ c, m_e, e എന്നിവ വെച്ച് നിർമ്മിക്കുക. അതിന്റെ വില കണ്ടെത്തുക.

(b) (a) യിൽ ഇങ്ങനെ കണ്ടെത്തിയാൽ കിട്ടുന്ന നീളം ആറ്റത്തിന്റെ വലുപ്പത്തേക്കാൾ തീരെ ചെറുതായിരിക്കും. കൂടാതെ അതിൽ c ഉണ്ട്. പക്ഷെ ആറ്റങ്ങളുടെ ഊർജം പ്രധാനമായും ആപേക്ഷികത ബാധകമാകാത്ത സീമക്കുള്ളിലാണ്. അതുകൊണ്ടിതിൽ c ക്ക് കാര്യമായ പങ്കില്ല. ഇതുകൊണ്ടാവണം c യെ ഉപേക്ഷിച്ച് ശരിയായ ഉത്തരത്തിലേക്കെത്താൻ അദ്ദേഹത്തിന് സാധിച്ചത്. പ്ളാങ്ക് സ്ഥിരാങ്കം നേരത്തെ തന്നെ ഉപയോഗപ്പെടുത്തിയ ധാരാളം സന്ദർഭങ്ങളുണ്ട്. ബോറിന്റെ പ്രാഗത്ഭ്യമിരിക്കുന്നത് h, c, m_e എന്നിവയായിരിക്കും ആറ്റത്തിന്റെ വലുപ്പം നിർണ്ണയിക്കുന്ന ഘടകങ്ങൾ എന്നു കണ്ടെത്തിയതിലാണ്. h, m_e, e എന്നിവയുടെ ഡൈമെൻഷനുകൾ ഉപയോഗിച്ച് നീളത്തിന്റെ ഡൈമെൻഷനുള്ള ഒരു അളവുണ്ടാക്കിയാൽ അതിന്റെ വില ആറ്റത്തിന്റെ വലുപ്പത്തിനു സമാനമായിരിക്കും.

12.15. ഒന്നാമത്തെ ഉത്തേജിതാവസ്ഥയിലുള്ള ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ആകെ ഊർജം -3.4 eVആണ്.

(a) ഈ അവസ്ഥയിൽ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഗതികോർജം എത്ര?

(b) സ്ഥിതികോർജം എത്ര?

(c) സ്ഥിതികോർജത്തിന്റെ പൂജ്യം (zero of potential energy) വിലയിൽ മാറ്റമുണ്ടായാൽ മുകളിൽ തന്നിരിക്കുന്ന ഏത് ഉത്തരത്തിനാണ് മാറ്റമുണ്ടാവുക?

12.16. ബോറിന്റെ ക്വാണ്ടൈസേഷൻ സങ്കൽപനം (കോണീയ പ്രവേഗം = $nh/2\pi$) ഒരു പ്രകൃതിനിയമമാണെങ്കിൽ അത് ഗ്രഹചലനത്തിനും ബാധകമാകേണ്ടതാണ്. പക്ഷെ എന്തുകൊണ്ടാണ് നാം ഗ്രഹ ഓർബിറ്റുകളുടെ ക്വാണ്ടൈസേഷൻ സങ്കൽപനത്തെക്കുറിച്ച് പറയാത്തത്?

12.17. ഒരു മ്യൂവോണിക് (muonic) ഹൈഡ്രജന്റെ (നെഗറ്റീവ് ചാർജും 207 m_e മാസുമുള്ള ഒരു മ്യൂവോൺ (μ^-) ഒരു പ്രോട്ടോണിനെ വലം വെക്കുന്ന ആറ്റം) ബോർ ആരവും സ്വാഭാവിക ഊർജനിലയുടെ ഊർജവും കണ്ടെത്തുക.

അധ്യായം പതിമൂന്ന്

ന്യൂക്ലിയസുകൾ (NUCLEI)

M3E3Y2

13.1 ആമുഖം

ഓരോ ആറ്റത്തിലുമുള്ള പോസിറ്റീവ് ചാർജും മാസ്സും ആറ്റത്തിന്റെ മധ്യത്തിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കപ്പെട്ട് ന്യൂക്ലിയസ് (Nucleus) രൂപം കൊള്ളുന്നതായി നമ്മൾ കഴിഞ്ഞ അധ്യായത്തിൽ പഠിച്ചുകഴിഞ്ഞു. ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ആകെ വ്യാപ്തി ആറ്റത്തിന്റേതിനേക്കാൾ വളരെ ചെറുതാണ്. ആറ്റത്തിന്റെ ആരത്തിന്റെ 10^4 ൽ ഒരു ഭാഗമാണ് ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ആരമെന്നത് ആൽഫാ വിസരണ (Alpha Scattering) പരീക്ഷണത്തിലൂടെ തെളിയിക്കപ്പെട്ടതാണ്. ന്യൂക്ലിയസിന്റെ വ്യാപ്തം ആറ്റത്തിന്റേതിന്റെ 10^{-12} ഭാഗമാണെന്നാണ് ഇത് അർഥമാക്കുന്നത്. മറ്റൊരുതരത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ ആറ്റം ഏറെക്കുറെ ശൂന്യമാണ്. ആറ്റത്തെ ഒരു ക്ലാസ് മുറിയുടെ വലുപ്പത്തിലേക്ക് വലുതാക്കിയാൽ ന്യൂക്ലിയസിന് ഒരു മൊട്ടുസൂചിമുനയുടെ വലുപ്പമേയുണ്ടാവൂ. എന്നിരുന്നാലും, ആറ്റത്തിന്റെ മാസിന്റെ സിംഹഭാഗവും (99%ത്തിലധികം) ന്യൂക്ലിയസ്സിലാണ് എന്നത് വിസ്മയകരമായ കാര്യമാണ്.

ആറ്റത്തെപ്പോലെ, ന്യൂക്ലിയസിന് ഒരു ഘടനയുണ്ടോ? ഉണ്ടെങ്കിൽ, ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ഘടകവസ്തുക്കൾ എന്തെല്ലാമാണ്? ഇവയെ എങ്ങനെ ഒന്നിച്ചു നിർത്തുന്നു? ഈ അധ്യായത്തിൽ, നമുക്ക് ഇത്തരം ചോദ്യങ്ങൾക്കുള്ള ഉത്തരങ്ങൾ അന്വേഷിക്കാം. ന്യൂക്ലിയസിന്റെ വിവിധ ഗുണങ്ങളായ വലുപ്പം, സാന്ദ്രത, ന്യൂക്ലിയാർ പ്രതിഭാസങ്ങളായ റേഡിയോആക്റ്റിവിറ്റി (Radioactivtiy), ഫിഷൻ (Fission), ഫ്യൂഷൻ (Fusion) തുടങ്ങിയവയെക്കുറിച്ചും നമുക്ക് ചർച്ച ചെയ്യാം.

132 ആറ്റോമിക മാസുകളും ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ഘടനയും (ATOMIC MASSES AND COMPOSITION OF NUCLEUS)

ഒരു കിലോഗ്രാമുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തുമ്പോൾ, ആറ്റത്തിന്റെ മാസ് വളരെ ചെറുതാണ്. ഉദാഹരണമായി, ഒരു കാർബൺ (^{12}C) ആറ്റത്തിന്റെ മാസ് 1.992647×10^{-26}kg ആണ്. ഇതുപോലുള്ള ചെറിയ അളവുകൾക്ക് ഉചിതമായ യൂണിറ്റല്ല കിലോഗ്രാം. അതിനാൽ, ആറ്റോമിക മാസിനെ ആവിഷ്കരിക്കാൻ വ്യത്യസ്തമായ ഒരു മാസ് യൂണിറ്റാണ് ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ഇതാണ് ആറ്റോമിക് മാസ് യൂണിറ്റ് (atomic mass unit - u). കാർബൺ ആറ്റത്തിന്റെ (^{12}C) മാസിന്റെ 1/12 ഭാഗമെന്ന് ആറ്റോമിക് മാസ് യൂണിറ്റിനെ നിർവചിച്ചിരിക്കുന്നു. ഈ നിർവചനമനുസരിച്ച്,

$$1\ u = \frac{\text{ഒരു } ^{12}C \text{ ആറ്റത്തിന്റെ മാസ്}}{12}$$

$$= \frac{1.992647 \times 10^{-26}\ kg}{12}$$

$$= 1.660539 \times 10^{-27}\ kg \qquad (13.1)$$

ആറ്റോമിക മാസ് യൂണിറ്റിൽ (u) പ്രകടിപ്പിക്കപ്പെട്ട വിവിധ മൂലകങ്ങളുടെ ആറ്റോമിക മാസ്, ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ മാസിന്റെ പൂർണ ഗുണിതങ്ങളോട് അടുത്ത് നിൽക്കുന്നതാണ്. എങ്കിലും, ഈ നിയമത്തിന് ശ്രദ്ധേയമായ നിരവധി അപവാദങ്ങൾ ഉണ്ട്. ഉദാഹരണമായി, ക്ലോറിന്റെ ആറ്റോമിക മാസ് 35.46 u ആണ്.

ആറ്റോമിക മാസുകൾ കൃത്യമായി അളക്കുന്നത് മാസ് സ്പെക്ട്രോമീറ്റർ ഉപയോഗിച്ചാണ്. ആറ്റോമിക മാസുകളുടെ അളക്കൽ, സമാന രാസഗുണങ്ങൾ പ്രകടിപ്പിക്കുന്നതും എന്നാൽ വ്യത്യസ്ത മാസുകളുള്ളതുമായ, ഒരേ മൂലകത്തിന്റെ വ്യത്യസ്ത തരം ആറ്റങ്ങളുടെ അസ്തിത്വം വെളിപ്പെടുത്തുന്നു. മാസുകൾ വ്യത്യസ്തങ്ങളായ ഒരേ മൂലകത്തിന്റെ ഇത്തരം ആറ്റോമിക ഇനങ്ങളെ ഐസോടോപ്പുകൾ (isotopes) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഗ്രീക്ക് ഭാഷയിൽ, ഐസോട്ടോപ്പിന് ഒരേ സ്ഥലം എന്നാണർഥം. അതായത് മൂലകങ്ങളുടെ ആവർത്തന പട്ടികയിൽ അവ ഒരേ സ്ഥലത്ത് നിലകൊള്ളുന്നു. പ്രായോഗികമായി ഓരോ മൂലകവും പല ഐസോടോപ്പുകളുടെ മിശ്രിതങ്ങൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്നതായി കണ്ടെത്തിയിട്ടുണ്ട്. വിവിധ ഐസോടോപ്പുകളുടെ ആപേക്ഷിക ലഭ്യത ഓരോ മൂലകത്തിനും വ്യത്യസ്തമാണ്. ഉദാഹരണത്തിന്, ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ മാസിന്റെ ഏറെക്കുറെ സമഗ്ര ഗുണിതങ്ങളായ 34.98 u, 36.98 u മാസുകളുള്ള രണ്ട് ഐസോടോപ്പുകൾ ക്ലോറിനുണ്ട്. ഈ ഐസോടോപ്പുകളുടെ ആപേക്ഷികസമൃദ്ധി (relative abundance) യഥാക്രമം 75.4%, 24.6% എന്നിങ്ങനെയാണ്. ഇപ്രകാരം, ഈ രണ്ട് ഐസോടോപ്പുകളുടെ മാസുകളുടെ വെയ്റ്റഡ് ശരാശരി (weighted average) യായിട്ടാണ് ക്ലോറിന്റെ ശരാശരി മാസ് ലഭിക്കുന്നത്, താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന രീതിയിൽ ചെയ്ത് നോക്കുമ്പോൾ,

$$= \frac{75.4 \times 34.98 + 24.6 \times 36.98}{100}$$

$$= 35.47\ u$$

ഇത് ക്ലോറിന്റെ ആറ്റോമിക മാസ് തന്നെയാണെന്ന് കാണാം.

ഏറ്റവും ഭാരം കുറഞ്ഞ മൂലകമായ ഹൈഡ്രജനു പോലും 1.0078 u, 2.0141 u,

3.0160 u എന്നിങ്ങനെ മാസുകളുള്ള മൂന്ന് ഐസോടോപ്പുകൾ ഉണ്ട്. ആപേക്ഷിക സമൃദ്ധി 99.985% ഉള്ള, ഏറ്റവും ഭാരം കുറഞ്ഞതായ ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ ന്യൂക്ലിയസിനെ പ്രോട്ടോൺ എന്ന് വിളിക്കുന്നു. പ്രോട്ടോണിന്റെ മാസ്

$$m_p = 1.00727\,\text{u} = 1.67262 \times 10^{-27}\,\text{kg} \qquad (13.2)$$

ഇത് ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ മാസിൽ (= 1.00783u) നിന്ന് ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ മാസ് (m_e = 0.00055u) കുറച്ചതിനു തുല്യമാണ്. ഹൈഡ്രജന്റെ മറ്റു രണ്ട് ഐസോടോപ്പുകളാണ് ഡ്യൂട്ടീരിയവും ട്രിഷിയവും (deuterium and tritium). അസ്ഥിരമായതിനാൽ, ട്രിഷിയം ന്യൂക്ലിയസുകൾ സ്വാഭാവികമായി ഉണ്ടാകുന്നില്ല, പരീക്ഷണശാലകളിൽ കൃത്രിമമായി നിർമിക്കപ്പെടുകയാണ് ചെയ്യുന്നത്.

ന്യൂക്ലിയസിലെ പോസിറ്റീവ് ചാർജ് പ്രോട്ടോണുകളുടേതാണ്. ഒരു പ്രോട്ടോൺ അടിസ്ഥാന ചാർജിന്റെ ഒരു യൂണിറ്റ് വഹിക്കുന്നതും, സ്ഥിരതയുള്ളതുമാണ്. ന്യൂക്ലിയസിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ അടങ്ങിയിരിക്കാമെന്ന് നേരത്തെ കരുതിയിരുന്നു, എന്നാൽ ക്വാണ്ടം സിദ്ധാന്തത്തെ അടിസ്ഥാനമാക്കിയുള്ള പിൽക്കാല വാദങ്ങൾ ഇതിനെ നിരാകരിച്ചു. ഒരു ആറ്റത്തിലെ എല്ലാ ഇലക്ട്രോണുകളും ന്യൂക്ലിയസിന് പുറത്താണ് കാണപ്പെടുന്നത്. ആറ്റത്തിലെ ന്യൂക്ലിയസിന് പുറത്തുള്ള ഈ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം ആറ്റോമിക നമ്പർ (Z), ആണെന്ന് നമുക്കറിയാം. ആറ്റോമിക ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ആകെ ചാർജ് (-Ze) ആണ്, ആറ്റം ചാർജു രഹിതമായതിനാൽ, ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ചാർജ് +Ze യും ആയിരിക്കും. അതിനാൽ, ന്യൂക്ലിയസിലെ പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം കൃത്യമായും ആറ്റോമിക നമ്പർ (Z) തന്നെയാണ്.

ന്യൂട്രോണിന്റെ കണ്ടുപിടിത്തം (Discovery of Neturon)

ഡ്യൂട്ടീരിയത്തിന്റെയും ട്രിഷിയത്തിന്റെയും ന്യൂക്ലിയസുകൾ ഹൈഡ്രജന്റെ ഐസോടോപ്പുകളായതിനാൽ, അവയിൽ ഒരു പ്രോട്ടോൺ മാത്രമേ ഉണ്ടാകാവൂ. എന്നാൽ ഹൈഡ്രജൻ, ഡ്യൂട്ടീരിയം, ട്രിഷിയം എന്നിവയുടെ ന്യൂക്ലിയസ്സുകളുടെ മാസുകൾ 1 : 2 : 3 എന്ന അനുപാതത്തിലാണ്. അതിനാൽ, ഡ്യൂട്ടീരിയത്തിന്റെയും ട്രിഷിയത്തിന്റെയും ന്യൂക്ലിയസ്സുകളിൽ, പ്രോട്ടോണിനെക്കൂടാതെ ചില ചാർജ് രഹിത ദ്രവ്യവും കൂടി അടങ്ങിയിരിക്കണം. ഒരു പ്രോട്ടോൺ മാസിന്റെ യൂണിറ്റുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ചാൽ, ഈ ഐസോടോപ്പുകളുടെ ന്യൂക്ലിയസ്സുകളിൽ കാണപ്പെടുന്ന ചാർജ് രഹിത ദ്രവ്യത്തിന്റെ അളവ് യഥാക്രമം ഒരു പ്രോട്ടോൺമാസ്, രണ്ട് പ്രോട്ടോൺമാസ്എന്നിവയ്ക്ക് ഏറെക്കുറെ തുല്യമാണ്. ഈ വസ്തുത സൂചിപ്പിക്കുന്നത്, ഒരു ആറ്റത്തിന്റെ ന്യൂക്ലിയസിൽ പ്രോട്ടോണുകളുടെ കൂടെ ഒരു അടിസ്ഥാന യൂണിറ്റിന്റെ ഗുണിതങ്ങളായി ചാർജ് രഹിത ദ്രവ്യവും അടങ്ങിയിരിക്കുന്നുവെന്നാണ്. ആൽഫ കണങ്ങൾ കൊണ്ട് ബെറിലിയം ന്യൂക്ലിയസുകളെ കൂട്ടിയിടിപ്പിച്ചപ്പോൾ ഉണ്ടായ ന്യൂട്രൽ റേഡിയേഷന്റെ ഉൽസർജനം നിരീക്ഷിച്ച ജെയിംസ് ചാഡ്‌വിക് (James Chadwick) 1932ൽ ഈ പരികൽപന ശരിയാണെന്നു തെളിയിച്ചു. (α കണങ്ങൾ ഹീലിയം ന്യൂക്ലിയസുകളാണ്, പിന്നീടുള്ള ഭാഗത്ത് ഇത് ചർച്ച ചെയ്യപ്പെടുന്നതാണ്). ഹീലിയം, കാർബൺ, നൈട്രജൻ തുടങ്ങിയ ഭാരം കുറഞ്ഞ ന്യൂക്ലിയസുകളിൽ നിന്ന് പ്രോട്ടോണുകളെ പുറന്തള്ളാൻ ഈ ന്യൂട്രൽ വികിരണങ്ങൾക്കാവുമെന്ന് പിന്നീട് കണ്ടെത്തി. അക്കാലത്ത് അറിയപ്പെട്ടിരുന്ന ഏക ന്യൂട്രൽ വികിരണം ഫോട്ടോണുകൾ (വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണം) മാത്രമായിരുന്നു. ഈ ന്യൂട്രൽ റേഡിയേഷൻ ഫോട്ടോണുകളാലുള്ളതായിരുന്നെങ്കിൽ, ബെറിലിയം ന്യൂക്ലിയസുകളിൽ നിന്നും α- കണങ്ങളുപയോഗിച്ച് ലഭ്യമാകുന്നതി

നേക്കാൾ വളരെ ഉയർന്നതാകണം ഫോട്ടോണുകളുടെ ഊർജമെന്നാണ് ഊർജത്തിന്റെയും ആക്കത്തിന്റെയും സംരക്ഷണ നിയമങ്ങളുടെ പ്രയോഗം തെളിയിക്കുന്നത്. എന്നാൽ അങ്ങനെ കാണപ്പെടുന്നില്ല. ചാഡ്‌വിക് തൃപ്തികരമായ പരിഹാരം കണ്ടെത്തിയ ഈ പ്രഹേളികയിലെ സൂചന, ഈ ന്യൂട്രൽ റേഡിയേഷൻ ന്യൂട്രോണുകൾ (neutrons) എന്ന പുതിയ തരം ചാർജുരഹിത (ന്യൂട്രൽ) കണികകളാലാണെന്നുള്ള അനുമാനമാണ്. ഊർജ, ആക്ക സംരക്ഷണങ്ങളിൽ നിന്നും, പ്രോട്ടോണിന്റെ മാസിന് ഏതാണ്ട് സമാനമാണ് പുതിയ കണത്തിന്റെ മാസ് എന്നു നിർണ്ണയിക്കാനും അദ്ദേഹത്തിന് കഴിഞ്ഞു.

ന്യൂട്രോണുകളുടെ മാസ് വളരെ കൃത്യമായിത്തന്നെ ഇന്ന് നമുക്ക് അറിയാം.

$$m_n = 1.00866\ u = 1.6749\times10^{-27}\ kg \qquad (13.3)$$

ന്യൂട്രോണിന്റെ കണ്ടെത്തലിന് 1935 ലെ ഭൗതികശാസ്ത്ര നോബെൽ പുരസ്കാരം അദ്ദേഹത്തിനു ലഭിച്ചു. സ്വതന്ത്ര ന്യൂട്രോൺ, സ്വതന്ത്ര പ്രോട്ടോണിനെപ്പോലെയല്ല, അസ്ഥിരമാണ്. ഒരു പ്രോട്ടോൺ, ഒരു ഇലക്ട്രോൺ, ഒരു ആന്റിന്യൂട്രിനോ (മറ്റൊരു പ്രാഥമിക കണം) എന്നിവയായി അത് മാറുന്നു. അതിന്റെ ശരാശരി ആയുസ്സ് ഏകദേശം 1000s ആണ്. എന്നാൽ ന്യൂക്ലിയസിനുള്ളിൽ അത് സുസ്ഥിരവുമാണ്.

ഒരു ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ഘടന ഇനിപ്പറയുന്ന പദങ്ങളും പ്രതീകങ്ങളും ഉപയോഗിച്ച് വിവരിക്കാനാകും:

Z - *ആറ്റോമിക സംഖ്യ = പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം* [13.4(a)]

N - *ന്യൂട്രോൺ സംഖ്യ = ന്യൂട്രോണുകളുടെ എണ്ണം* [13.4(b)]

A - *മാസ്സ് സംഖ്യ* $= Z + N$

= പ്രോട്ടോണുകളുടെയും ന്യൂട്രോണുകളുടെയും ആകെ എണ്ണം [13.4(c)]

ഒരു പ്രോട്ടോണിനെയോ ന്യൂട്രോണിനെയോ സൂചിപ്പിക്കാൻ വേണ്ടി ന്യൂക്ലിയോൺ (nucleon) എന്ന പദം ഉപയോഗിക്കുന്നു. അതിനാൽ, ഒരു ആറ്റത്തിലെ ന്യൂക്ലിയോണുകളുടെ എണ്ണം അതിന്റെ മാസ് സംഖ്യ A ആണ്.

ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ ഇനങ്ങളെ അഥവാ ന്യൂക്ലൈഡുകളെ $^{A}_{Z}X$ എന്നാണ് കാണിക്കുന്നത്, ഇവിടെ X എന്നത് ഒരു ഇനത്തിന്റെ രാസപ്രതീകമാണ്. ഉദാഹരണമായി, സ്വർണത്തിന്റെ ന്യൂക്ലിയസിനെ $^{197}_{79}Au$ എന്നാണ് സൂചിപ്പിക്കുന്നത്. ഇതിൽ, 197 ന്യൂക്ലിയോണുകളുണ്ട്. അവയിൽ 79 എണ്ണം പ്രോട്ടോണുകളും ബാക്കി 118 എണ്ണം ന്യൂട്രോണുകളുമാണ്.

ഒരു മൂലകത്തിന്റെ ഐസോടോപ്പുകളുടെ ഘടന വ്യക്തമായി വിശദീകരിക്കാൻ നമുക്ക് കഴിയും. ഒരു നിശ്ചിത മൂലകത്തിന്റെ ഐസോട്ടോപ്പുകളുടെ ന്യൂക്ലിയസുകളിൽ ഒരേ എണ്ണം പ്രോട്ടോണുകളും, എന്നാൽ വ്യത്യസ്ത എണ്ണം ന്യൂട്രോണുകളുമായിരിക്കും ഉണ്ടാവുക. ഹൈഡ്രജന്റെ ഒരു ഐസോടോപ്പായ ഡ്യൂട്ടീരിയത്തിൽ ($^{2}_{1}H$), ഒരു പ്രോട്ടോണും ഒരു ന്യൂട്രോണും അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു. മറ്റൊരു ഐസോടോപ്പായ ട്രിഷിയത്തിൽ ($^{3}_{1}H$), ഒരു പ്രോട്ടോണും രണ്ട് ന്യൂട്രോണുകളും അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു. സ്വർണത്തിന് A = 173 മുതൽ A = 204 വരെയുള്ള 32 ഐസോടോപ്പുകളുണ്ട്. മൂലകങ്ങളുടെ രാസഗുണങ്ങൾ അവയുടെ ഇലക്ട്രോണിക ഘടനയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു എന്ന് നമ്മൾ ഇതിനകം സൂചിപ്പിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഐസോടോപ്പുകളുടെ ആറ്റങ്ങൾ ഒരേ ഇലക്ട്രോൺ ഘടനയുള്ളതിനാൽ അവയ്ക്ക് സമാനമായ രാസ സ്വഭാവങ്ങളാണുള്ളത്, ആവർത്തന പട്ടികയിൽ അവ ഒരേ സ്ഥാനത്ത് സ്ഥിതിചെയ്യുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഒരേ മാസ് നമ്പറുള്ള എല്ലാ ന്യൂക്ലൈഡുകളെയും ഐസോബാറുകൾ (isobars) എന്ന് വിളിക്കുന്നു. ഉദാഹരണമായി, $^{3}_{1}H$, $^{3}_{2}He$ എന്നീ ന്യൂക്ലൈഡുകൾ ഐസോബാറുകളാണ്. ഒരേ ന്യൂട്രോൺ എണ്ണവും എന്നാൽ വ്യത്യസ്ത ആറ്റോമിക നമ്പറുമുള്ള ന്യൂക്ലൈഡുകളാണ് ഐസോടോണുകൾ (isotones). ഉദാഹരണം: $^{198}_{80}Hg$, $^{197}_{79}Au$.

13.3 ന്യൂക്ലിയസിന്റെ വ്യാപ്തി (SIZE OF THE NUCLEUS)

12-ാം അധ്യായത്തിൽ നാം കണ്ടതുപോലെ, ആറ്റോമിക ന്യൂക്ലിയസിന്റെ അസ്തിത്വത്തെക്കുറിച്ച് പരികൽപന നടത്തുകയും അത് സ്ഥാപിക്കുകയും ചെയ്ത മാർഗദർശി ആയിരുന്നു റദർഫോർഡ് (Rutherford). റദർഫോർഡ് നിർദ്ദേശിച്ച രീതിയിൽ, ഗെയ്ഗറും, മാർസ്ഡെനും (Geiger and Marsden) ആറ്റോമിക ഘടന കണ്ടെത്തുവാനുള്ള പരീക്ഷണം നടത്തിയ കാര്യം നാം പഠിച്ചുവല്ലോ. കനം കുറഞ്ഞ സ്വർണത്തകിടിലൂടെയുള്ള α കണങ്ങളുടെ വിസരണത്തിൽ 5.5 MeV ഗതികോർജമുള്ള α കണത്തിന് സ്വർണ ന്യൂക്ലിയസിനോട് ഏറ്റവും അടുത്തെത്താവുന്ന ദൂരം, 4.0×10^{-14} മീറ്റർ ആണെന്ന് അവരുടെ പരീക്ഷണങ്ങൾ വ്യക്തമാക്കുന്നു. സ്വർണത്തകിടിൽ നിന്നുള്ള α കണത്തിന്റെ വിസരണം റദർഫോർഡ് മനസ്സിലാക്കിയത് കൂളോം വികർഷണബലമാണ് വിസരണത്തിന്റെ ഏക കാരണമെന്ന് അനുമാനിച്ചുകൊണ്ടാണ്. പോസിറ്റീവ് ചാർജ് ന്യൂക്ലിയസിൽ മാത്രം ഒതുങ്ങുന്നതിനാൽ, ന്യൂക്ലിയസിന്റെ യഥാർത്ഥ വലുപ്പം 4.0×10^{-14} മീറ്ററിൽ കുറവായിരിക്കണം.

5.5 MeV നേക്കാൾ ഉയർന്ന ഊർജമുള്ള α- കണങ്ങളാണ് ഉപയോഗിക്കുന്നതെങ്കിൽ, സ്വർണ ന്യൂക്ലിയസിനോട് ഏറ്റവും അടുത്തെത്താവുന്ന ദൂരം കുറയുകയും, ഇത്തരം സാഹചര്യങ്ങളിൽ ഹ്രസ്വ ദൂരപരിധിയുള്ള ന്യൂക്ലിയാർ ബലത്തിന്റെ സ്വാധീനത്താൽ വിസരണം ആരംഭിക്കുകയും, റദർഫോർഡ് കണക്കുകൂട്ടിയ പാത വ്യത്യാസപ്പെടുകയും ചെയ്യും. α- കണത്തിന്റെയും സ്വർണ ന്യൂക്ലിയസിന്റെയും പോസിറ്റീവ് ചാർജുകൾക്കിടയിലുള്ള കൂളോം വികർഷണബലത്തിന്റെ മാത്രം അടിസ്ഥാനത്തിലാണ് റദർഫോർഡിന്റെ കണക്കുകൂട്ടലുകൾ. പാത വ്യതിയാനങ്ങൾ അനുഭവപ്പെടുന്ന അകലത്തിൽ നിന്ന് ന്യൂക്ലിയസിന്റെ വലുപ്പം അനുമാനിക്കാം.

വിസരണ പരീക്ഷണത്തിൽ α- കണങ്ങൾക്ക് പകരം വേഗമേറിയ ഇലക്ട്രോണുകൾ വിവിധ മൂലകങ്ങളുടെ ന്യൂക്ലിയസുകൾ ലക്ഷ്യങ്ങളാക്കി പായിച്ചു കൊണ്ട്, വ്യത്യസ്ത മൂലകങ്ങളുടെ ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ വ്യാപ്തി കൃത്യമായി കണക്കാക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്.

ഇത്തരം പരീക്ഷണങ്ങൾ A മാസ് നമ്പറുള്ള ഒരു ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ആരം,

$$R = R_0 A^{1/3} \qquad (13.5)$$

എന്ന ബന്ധം നിലനിർത്തുന്നുവെന്ന് സ്ഥാപിച്ചു. ഇതിൽ $R_0 = 1.2\times10^{-15}$ m ആണ്. ഇത് സൂചിപ്പിക്കുന്നത് R^3ന് ആനുപാതികമായ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ വ്യാപ്തം, A യുമായി നേർഅനുപാതത്തിലായിരിക്കുമെന്നാണ്. അതിനാൽ, ന്യൂക്ലിയസിന്റെ സാന്ദ്രത എല്ലാ ന്യൂക്ലിയസുകൾക്കും A ൽ നിന്നും സ്വതന്ത്രമായ ഒരു സ്ഥിരസംഖ്യയായി നിലനിൽക്കുന്നു. വ്യത്യസ്ത ന്യൂക്ലിയസുകൾ സ്ഥിരമായ സാന്ദ്രതയുള്ള ദ്രാവകതുള്ളികൾ പോലെയാണ്. ന്യൂക്ലിയാർ ദ്രവ്യത്തിന്റെ സാന്ദ്രത ഏകദേശം 2.3×10^{17} kg m^{-3} ആണ്. സാധാരണ പദാർഥങ്ങളുടെ സാന്ദ്രതയെക്കാൾ വളരെ

വളരെ കൂടുതലാണിത്. (വെള്ളത്തിന്റേത് 10^3 kg m $^{-3}$). ആറ്റത്തിന്റെ അധികഭാഗവും ശൂന്യമാണെന്ന് നാം കണ്ടുകഴിഞ്ഞതിനാൽ, ഇത് എളുപ്പത്തിൽ മനസ്സിലാക്കാവുന്നതേയുള്ളൂ. ആറ്റങ്ങൾ കൊണ്ട് നിർമിക്കപ്പെട്ട എല്ലാ വസ്തുക്കളിലും വലിയ തോതിൽ ശൂന്യതയാണുള്ളത്.

ഉദാഹരണം 13.1

ഉദാഹരണം 13.1: ഇരുമ്പ് ന്യൂക്ലിയസിന്റെ മാസ് 55.85u വും A=56 ഉം ആയാൽ അതിന്റെ ന്യൂക്ലിയാർ സാന്ദ്രത കാണുക

ഉത്തരം: $m_{Fe} = 55.85\,u = 9.27 \times 10^{-26}$ kg

$$\text{ന്യൂക്ലിയാർ സാന്ദ്രത} = \frac{\text{മാസ്}}{\text{ഉള്ളളവ്}} = \frac{9.27 \times 10^{-26}}{(4\pi/3)\left(1.2 \times 10^{-15}\right)^3} \times \frac{1}{56} = 2.29 \times 10^{17}\ \text{kg m}^{-3}$$

ഈ സാന്ദ്രതയോട് താരതമ്യം ചെയ്യാവുന്നത് ന്യൂട്രോൺ നക്ഷത്രങ്ങളുടെ ദ്രവ്യത്തിന്റെ സാന്ദ്രതയാണ്.

ഒരു വലിയ ന്യൂക്ലിയസിനോട് താരതമ്യപ്പെടുത്താവുന്ന തരത്തിലാണ് ഇത്തരം വസ്തുക്കളിൽ ദ്രവ്യം ഞെരുങ്ങിയിരിക്കുന്നത്.

13.4 മാസ്സ് – ഊർജവും ന്യൂക്ലിയാർ ബന്ധന ഊർജവും (MASS-ENERGY AND NUCLEAR BINDING ENERGY)

13.4.1 മാസ് - ഊർജം (Mass – Energy)

ഊർജത്തിന്റെ മറ്റൊരു രൂപമായി മാസിനെ പരിഗണിക്കേണ്ടതുണ്ടെന്ന് വിശിഷ്ട ആപേക്ഷിക സിദ്ധാന്തത്തിലൂടെ ഐൻസ്റ്റൈൻ വിശദീകരിക്കുകയുണ്ടായി. വിശിഷ്ട ആപേക്ഷികതാ സിദ്ധാന്തം ഉണ്ടാകുന്നതിനുമുമ്പ്, വിവിധ പ്രക്രിയകളിൽ മാസും ഊർജവും പ്രത്യേകമായി സംരക്ഷിക്കപ്പെടുന്നു എന്ന് അനുമാനിക്കപ്പെട്ടു. എന്നാൽ, ഊർജത്തിന്റെ മറ്റൊരു രൂപമാണ് മാസെന്നും, മാസ് ഊർജത്തെ മറ്റ് ഊർജരൂപങ്ങളിലേക്കും തിരിച്ചും (ഉദാ: ഗതികോർജത്തിലേക്കും തിരികെയും) മാറ്റാവുന്നതാണെന്നും ഐൻസ്റ്റൈൻ തെളിയിച്ചു. അദ്ദേഹം പ്രസിദ്ധമായ മാസ് ഊർജ തുല്യതയ്ക്ക് താഴെ കൊടുത്ത തരത്തിലുള്ള ബന്ധം നൽകി.

$$E = mc^2 \qquad (13.6)$$

ഇവിടെ m മാസിനെ തത്തുല്യമായ ഊർജ *(E)* വുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. c എന്നത് ശൂന്യതയിലെ പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രവേഗം (ഏകദേശം 3×10^8 ms^{-1}) ആണ്.

ഉദാഹരണം 13.2

ഉദാഹരണം 13.2: 1 g പദാർഥത്തിന് സമാനമായ ഊർജം കണക്കാക്കുക.

ഉത്തരം:

ഊർജം, $E = 10^{-3} \times (3 \times 10^8)^2$ J

$E = 10^{-3} \times 9 \times 10^{16} = 9 \times 10^{13}$ J

അതായത്, ഒരു ഗ്രാം പദാർഥം ഊർജമായി മാറുമ്പോൾ, വളരെ വലിയ അളവിലുള്ള ഊർജമാണ് സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്നത്.

ന്യൂക്ലിയോണുകൾ, ന്യൂക്ലിയസുകൾ, ഇലക്ട്രോണുകൾ, അടുത്തകാലത്ത് കണ്ടെത്തിയ കണികകൾ എന്നിവയിലെ ന്യൂക്ലിയാർ പ്രതിപ്രവർത്തനങ്ങളെക്കുറിച്ചുള്ള

പഠനത്തിലാണ് ഐൻസ്റ്റൈന്റെ മാസ് ഊർജ ബന്ധം പരീക്ഷിച്ചറിഞ്ഞത്. മാസുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഊർജവും കൂടി ഉൾപ്പെടുത്തുമ്പോൾ, ഒരു പ്രവർത്തനത്തിലെ ആദ്യ ഊർജവും അവസാന ഊർജവും തുല്യമാണെന്ന് ഊർജസംരക്ഷണ നിയമം പ്രസ്താവിക്കുന്നു. ന്യൂക്ലിയാർ മാസുകളെയും ന്യൂക്ലിയസ്സുകളുടെ പരസ്പര പ്രവർത്തനങ്ങളെയും കുറിച്ച് മനസ്സിലാക്കുന്നതിന് ഈ ആശയം വളരെ പ്രധാനമാണ്. അടുത്ത ഏതാനും ഭാഗങ്ങളിൽ ഇതിനെക്കുറിച്ചാണ് പ്രതിപാദിക്കുന്നത്.

13.4.2 ന്യൂക്ലിയാർ ബന്ധന ഊർജം (Nuclear binding energy)

ന്യൂക്ലിയസ് നിർമിക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ളത് ന്യൂട്രോണുകളും പ്രോട്ടോണുകളും ചേർന്നാണെന്ന് സെക്ഷൻ 13.2 ൽ നമ്മൾ കണ്ടതാണ്. അതുകൊണ്ട് ന്യൂക്ലിയസിന്റെ മാസ് അത് നിർമിക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ള പ്രോട്ടോണുകളുടെയും ന്യൂട്രോണുകളുടെയും ആകെ മാസിന് തുല്യമാണെന്നു കരുതാവുന്നതാണ്. എന്നിരുന്നാലും, ന്യൂക്ലിയാർ മാസ് M ഇതിനെക്കാൾ കുറവായി കാണപ്പെടുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന്, 8 പ്രോട്ടോണുകളും 8 ന്യൂട്രോണുകളുമുള്ള $^{16}_{8}O$ പരിഗണിക്കുകയാണെങ്കിൽ,

നമുക്കറിയാം,

8 ന്യൂട്രോണുകളുടെ മാസ് = 8 × 1.00866 u

8 പ്രോട്ടോണുകളുടെ മാസ് = 8 × 1.00727 u

8 ഇലക്ട്രോണുകളുടെ മാസ് = 8 × 0.00055 u

അതിനാൽ, $^{16}_{8}O$ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ പ്രതീക്ഷിത മാസ് = 8 × 2.01593 u = 16.12744 u.

മാസ് സ്പെക്ട്രോസ്കോപ്പി പരീക്ഷണം വഴി കണ്ടുപിടിച്ച $^{16}_{8}O$ ന്റെ ആറ്റോമിക മാസ് 15.99493 u ആണ്. മാസ് 8 ഇലക്ട്രോണുകളുടെ മാസ് (8 × 0.00055 u) ഇതിൽ നിന്ന് കുറച്ചാൽ, ന്യൂക്ലിയസിന്റെ പരീക്ഷണാത്മക മാസ് നമുക്ക് ലഭിക്കുക 15.99053 u ആണ്.

അതായത്, $^{16}_{8}O$ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ മാസ് അതിന്റെ ഘടകങ്ങളുടെ ആകെ മാസിൽ നിന്ന് 0.13691u കുറവാണെന്ന് നമുക്കു കാണാനാകും. ന്യൂക്ലിയസിന്റെയും അതിന്റെ ഘടകങ്ങളുടെയും മാസുകൾ തമ്മിലുള്ള ഈ വ്യത്യാസത്തെ ΔM, മാസ് ന്യൂനത (Mass defect) എന്ന് വിളിക്കുന്നു. അത് ഇപ്രകാരമായിരിക്കും,

$$\Delta M = [Zm_p + (A - Z)m_n] - M \qquad (13.7)$$

മാസ് ന്യൂനതയെന്നതുകൊണ്ട് എന്താണ് അർഥമാക്കുന്നത്? ഇത് മനസ്സിലാക്കുന്നതിന് ഐൻസ്റ്റൈന്റെ മാസ് ഊർജ തുല്യതയാണ് പ്രധാന പങ്കു വഹിക്കുന്നത്. ഓക്സിജൻ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ മാസ് അതിന്റെ ഘടകങ്ങളുടെ മാസുകളുടെ തുക (8 പ്രോട്ടോണുകളും 8 ന്യൂട്രോണുകളും, ബന്ധിതമല്ലാത്ത അവസ്ഥയിൽ) യേക്കാൾ കുറവാണെങ്കിൽ, ഓക്സിജൻ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ സമാന ഊർജം അതിന്റെ ഘടകങ്ങളുടെ സമാനമായ ഊർജങ്ങളുടെ തുകയേക്കാൾ കുറവായിരിക്കും. ഓക്സിജൻ ന്യൂക്ലിയസ് 8 പ്രോട്ടോണുകളും 8 ന്യൂട്രോണുകളുമായി വിഭജിക്കണമെങ്കിൽ ഈ അധിക ഊർജം $\Delta M c^2$ നൽകേണ്ടിവരും. ആവശ്യമായി വരുന്ന ഈ ഊർജം E_b മാസ് ന്യൂനതയുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചാൽ,

$$E_b = \Delta M c^2 \qquad (13.8)$$

ഉദാഹരണം 13.3

ഉദാഹരണം 13.3: ഒരു ആറ്റോമിക് മാസ് യൂണിറ്റിന് സമാനമായ ഊർജം ജൂളിലും MeV യിലും കണക്കാക്കുക. ഇത് ഉപയോഗിച്ച് $^{16}_{8}O$ ന്റെ മാസ് ന്യൂനത MeV/c^2 ൽ പ്രസ്താവിക്കുക.

ഉത്തരം:

$$1u = 1.6605 \times 10^{-27}\ kg$$

ഇതിനെ ഊർജത്തിന്റെ യൂണിറ്റിലേക്ക് മാറ്റാൻ, അതിനെ c^2 കൊണ്ട് ഗുണിക്കുന്നു.

തത്തുല്യ ഊർജം $= 1.6605 \times 10^{-27} \times (2.9979 \times 10^8)^2\ kg\ m^2/s^2$

$$= 1.4924 \times 10^{-10}\ J$$

$$= \frac{1.4924 \times 10^{-10}}{1.602 \times 10^{-19}}\ eV$$

$$= 0.9315 \times 10^9\ eV$$

$$= 931.5\ MeV$$

$$1u = 931.5\ MeV/c^2$$

അഥവാ, $1u = 931.5\ MeV/c^2$

$^{16}_{8}O$ ന്, $\Delta M = 0.13691\ u = 0.13691 \times 931.5\ MeV/c^2$

$$= 127.5\ MeV/c^2$$

$^{16}_{8}O$ നെ അതിന്റെ ഘടകങ്ങളാക്കി വേർതിരിക്കാൻ ആവശ്യമായ ഊർജം $127.5\ MeV/c^2$.

നിശ്ചിത ചാർജും മാസുമുള്ള ഒരു ന്യൂക്ലിയസ്സായി രൂപപ്പെടുന്നതിന് നിശ്ചിത എണ്ണം ന്യൂട്രോണുകളെയും പ്രോട്ടോണുകളെയും ഒരുമിച്ചു ചേർത്തിട്ടുണ്ടെങ്കിൽ, നിശ്ചിത ഊർജം F_b ഈ പ്രക്രിയയിൽ നഷ്ടപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടാകും. ഈ ഊർജം ന്യൂക്ലിയാർ കണങ്ങളെ ഒരുമിച്ചു നിർത്തുവാൻ ഉപയോഗിക്കുന്നതിനാൽ E_b യെ ആ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ബന്ധന ഊർജം (Binding Energy) എന്ന് പറയുന്നു. ഒരു ന്യൂക്ലിയസിനെ അതിന്റെ ന്യൂക്ലിയോണുകളായി വേർതിരിക്കാൻ, ആ കണികകൾക്ക് F_b യ്ക്ക് തുല്യമായ ഊർജം നൽകണം. ഈ രീതിയിൽ ഒരു ന്യൂക്ലിയസിനെ അതിന്റെ ഘടകങ്ങളായി വേർപെടുത്താൻ കഴിയില്ലെങ്കിലും, എത്രമാത്രം ഒരു ന്യൂക്ലിയസിന് ദൃഢതയുണ്ട് എന്നതിന്റെ യുക്തമായ അളവാണ് ന്യൂക്ലിയാർ ബന്ധന ഊർജം. ന്യൂക്ലിയസിലെ ഘടകങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള ബന്ധനത്തിന്റെ കൂടുതൽ ഫലപ്രദമായ അളവുകോലാണ് പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധന ഊർജം (binding energy per nucleon, E_{bn}). അത് ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ബന്ധന ഊർജവും ന്യൂക്ലിയോണുകളുടെ എണ്ണം A യും തമ്മിലുള്ള അനുപാതമാണ്.

$$E_{bn} = E_b / A \qquad (13.9)$$

ചിത്രം 13.1

ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് ന്യൂക്ലിയോണുകളെ വേർതിരിക്കുന്നതിനാവശ്യമായ ശരാശരി ഊർജം എന്ന നിലയിലാണ് പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധന ഊർജം പ്രസക്തമാകുന്നത്.

പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധന ഊർജവും (F_{bn}) വിവിധ ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ മാസ് നമ്പറും (A) തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫാണ് ചിത്രം 13.1. ഈ ഗ്രാഫിന്റെ പ്രധാന സവിശേഷതകളായി നമുക്കു കാണാനാവുന്നത് ഇവയാണ്.

(i) ഇടത്തരം മാസ് നമ്പറുള്ള ($30 < A < 170$) ന്യൂക്ലിയസ്സുകൾക്ക് പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധന ഊർജം (F_{bn}) പ്രായോഗികമായി സ്ഥിരമായ ഒന്നാണ്, അതായത് F_{bn} ആറ്റോമിക സംഖ്യയെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല.

$A = 56$ നാണ് ഗ്രാഫിന്റെ പരമാവധി മൂല്യം (ഏകദേശം 8.75 MeV) ലഭിക്കുന്നത്. $A = 238$ നുള്ള മൂല്യം 7.6 MeV യാണ്.

(ii) ഭാരം കുറഞ്ഞ ന്യൂക്ലിയസുകൾക്കും ($A<30$) ഭാരം കൂടിയ ന്യൂക്ലിയസുകൾക്കും ($A>170$) F_{bn} കുറവാണ്.

ഈ രണ്ട് നിരീക്ഷണങ്ങളിൽ നിന്നും നമുക്ക് ചില നിഗമനങ്ങളിലെത്തിച്ചേരാൻ കഴിയും:

(i) പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധന ഊർജം ഏതാനും MeV ലഭിക്കത്തക്കവിധം ബലം ആകർഷണസ്വഭാവമുള്ളതും ശക്തവുമാണ്.

(ii) $30<A<170$ എന്ന പരിധിയിൽ ബന്ധന ഊർജത്തിന്റെ സ്ഥിരത ന്യൂക്ലിയാർ ബലം ഹ്രസ്വദൂര സ്വഭാവമുള്ളതാണെന്നതിന്റെ അനന്തരഫലമാണ്. സാമാന്യം വലുപ്പമുള്ള ഒരു ന്യൂക്ലിയസിലെ ഒരു പ്രത്യേക ന്യൂക്ലിയോണിനെ പരിഗണിക്കുക. അത് ന്യൂക്ലിയാർ ബലത്തിന്റെ പരിധിയിൽ അതിനു ചുറ്റുമുള്ള ചില ന്യൂക്ലിയോണുകളുടെ സ്വാധീനത്തിലായിരിക്കും. ഈ ദൂരപരിധിക്കപ്പുറത്തുള്ള ഏതെങ്കിലും ന്യൂക്ലിയോണിന് നമ്മൾ പരിഗണിക്കുന്ന ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധന ഊർജത്തിന്മേൽ യാതൊരുവിധ സ്വാധീനവും ഉണ്ടാവുകയുമില്ല. ഒരു ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ന്യൂക്ലിയാർ ബലത്തിന്റെ പരിധിയിൽ പരമാവധി p ന്യൂക്ലിയോണുകൾ ഉണ്ടെങ്കിൽ, അതിന്റെ ബന്ധന ഊർജം p യ്ക്ക് ആനുപാതികമായിരിക്കും. ഈ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ബന്ധന ഊർജം pk ആണെന്നിരിക്കട്ടെ, ഇതിൽ k എന്നത് ഊർജത്തിന്റെ ഡയമെൻഷൻ ഉള്ള സ്ഥിരസംഖ്യ ആണ്. ന്യൂക്ലിയോണുകളെ കൂട്ടിച്ചേർത്ത് നമ്മൾ A വർധിപ്പിക്കുകയാണെങ്കിൽ, അവ ഉള്ളിലുള്ള പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധന ഊർജത്തിന് മാറ്റം വരുത്തുന്നില്ല. ഒരു വലിയ ന്യൂക്ലിയസിലെ ഏതാണ്ട് എല്ലാ ന്യൂക്ലിയോണുകളും അതിന്റെ ഉൾഭാഗത്തായതിനാൽ, പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധന ഊർജത്തിലെ മാറ്റം കുറവായിരിക്കും. പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധന ഊർജം ഒരു സ്ഥിരസംഖ്യയായിരിക്കും, ഏകദേശം pk യ്ക്ക് തുല്യവും. നമ്മൾ പരിഗണിക്കുന്ന ന്യൂക്ലിയോൺ അതിന്റെ സമീപമുള്ള ന്യൂക്ലിയോണുകളാൽ മാത്രം സ്വാധീനിക്കപ്പെടുന്നു, ഇതിനെ ന്യൂക്ലിയാർ ബലത്തിന്റെ സാച്ചുറേഷൻ സ്വഭാവം (saturation propetry of the nuclear force) എന്നറിയപ്പെടുന്നു.

(iii) വളരെ ഭാരമുള്ള ഒരു ന്യൂക്ലിയസിന്റെ, ഉദാഹരണമായി A = 240, പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധന ഊർജം A = 120 ഉള്ള ന്യൂക്ലിയസുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തിയാൽ വളരെ കുറവാണ്. അതായത് A = 240 ആയ ഒരു ന്യൂക്ലിയസ് A = 120 ആയ രണ്ട് ന്യൂക്ലിയസുകളായി മാറുന്നുണ്ടെങ്കിൽ, അതിലെ ന്യൂക്ലിയോണുകൾ കൂടുതൽ ദൃഢമായി ബന്ധിക്കപ്പെടുന്നുവെന്നിത് സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഈ പ്രക്രിയയിൽ ഊർജം പുറത്തുവിടുന്നുവെന്നാണ് ഇത് കാണിക്കുന്നത്. ഭാഗം 13.7.1 ൽ നാം ചർച്ച ചെയ്യാനിരിക്കുന്ന ന്യൂക്ലിയാർ ഫിഷനിലെ ഊർജ ഉൽപാദന പ്രക്രിയയിൽ ഇതിന് വലിയ സ്വാധീനമാണുള്ളത്.

(iv) രണ്ടു ഭാരം കുറഞ്ഞ ന്യൂക്ലിയസുകൾ (A < 10) കൂടിച്ചേർന്ന് കൂടുതൽ ഭാരമുള്ള ഒരു ന്യൂക്ലിയസ് രൂപം കൊള്ളുന്നത് പരിഗണിക്കുക. അങ്ങനെ ലഭിക്കുന്ന ഭാരമേറിയ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ പ്രതി ന്യൂക്ലിയോൺ ബന്ധന ഊർജം ഭാരം കുറഞ്ഞ ന്യൂക്ലിയസുകളുടേതിനേക്കാൾ കൂടുതലായിരിക്കും. അവസാനത്തെ ഘടന ആദ്യത്തേതിനേക്കാൾ കൂടുതൽ ദൃഢമായ ബന്ധനത്തിലാണെന്നാണിതർഥമാക്കുന്നത്. ഇത്തരം ഫ്യൂഷൻ (Fusion) പ്രവർത്തനങ്ങളിലും ഊർജം പുറത്തുവിടുന്നു. 13.7.3 ൽ നാം ചർച്ച ചെയ്യാനിരിക്കുന്ന സൂര്യന്റെ ഊർജ ഉറവിടമിതാണ്.

13.5 ന്യൂക്ലിയാർ ബലം (NUCLEAR FORCE)

നമുക്ക് സുപരിചിതമായ കൂളോം ബലമാണ് (Coulomb Force) ആറ്റോമിക ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ചലനത്തെ നിർണയിക്കുന്നത്. ശരാശരി മാസുള്ള ന്യൂക്ലിയസുകൾക്ക് പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധന ഊർജം ഏകദേശം 8 MeV ആണെന്ന് സെക്ഷൻ 13.4 ൽ നമ്മൾ കണ്ടിട്ടുണ്ട്, അത് ആറ്റങ്ങളിലെ ബന്ധന ഊർജത്തെക്കാൾ വളരെ കൂടുതലുമാണ്. അതിനാൽ, ഒരു ന്യൂക്ലിയസിനെ ബന്ധിപ്പിക്കുന്നതിന് തികച്ചും വ്യത്യസ്തമായ തരത്തിലുള്ള ശക്തമായ ആകർഷണബലം ഉണ്ടായിരിക്കണം. പ്രോട്ടോണുകൾ (പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള) തമ്മിലുള്ള വികർഷണബലത്തെ മറികടക്കുന്ന തരത്തിലും, പ്രോട്ടോണുകളെയും ന്യൂട്രോണുകളെയും വളരെ ചെറിയ ന്യൂക്ലിയാർ ഉള്ളളവിൽ കൂട്ടിച്ചേർത്തു നിർത്താൻ തക്കവിധവും ശക്തമായിരിക്കണമിത്. പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധന ഊർജത്തിന്റെ സ്ഥിരത അതിന്റെ ഹ്രസ്വദൂര പരിധി ഉപയോഗിച്ച് മനസ്സിലാക്കാനാകുമെന്ന് ഇതിനകം നാം കണ്ടു കഴിഞ്ഞു. ന്യൂക്ലിയാർ ബന്ധന ബലത്തിന്റെ നിരവധി സവിശേഷതകൾ ചുവടെ സംഗ്രഹിച്ചിരിക്കുന്നു. 1930 മുതൽ 1950 വരെ നടത്തപ്പെട്ട വ്യത്യസ്തങ്ങളായ പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ ലഭിച്ചവയാണിവ.

ചിത്രം 13.2: ഒരു ജോഡി ന്യൂക്ലിയോണുകളുടെ സ്ഥിതികോർജം ന്യൂക്ലിയോണുകൾ തമ്മിലുള്ള അകലിച്ചയുടെ ഫലനമായി കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. അകലിച്ച r_0 നേക്കാൾ കൂടുമ്പോൾ ന്യൂക്ലിയോണുകൾക്കിടയിൽ ആകർഷണബലവും, 'r_0' നേക്കാൾ കുറയുമ്പോൾ ശക്തമായ വികർഷണ ബലവും ആയിരിക്കും.

(i) ചാർജുകൾ തമ്മിലുള്ള കൂളോം ബലം, മാസുകൾ തമ്മിലുള്ള ഗുരുത്വബലം എന്നിവയേക്കാൾ വളരെയേറെ ശക്തമാണ് ന്യൂക്ലിയാർ ബലം. ന്യൂക്ലിയസിലെ പ്രോട്ടോണുകൾ തമ്മിലുള്ള കൂളോം വികർഷണ ബലത്തിൻമേൽ ന്യൂക്ലിയാർ ബലത്തിന് ആധിപത്യം ഉണ്ടാവേണ്ടതുണ്ട്. ന്യൂക്ലിയാർ ബലം കൂളോം ബലത്തേക്കാൾ വളരെ ശക്തമാണെങ്കിൽ മാത്രമേ ഇതു സംഭവിക്കുകയുള്ളൂ. ഗുരുത്വബലം കൂളോം ബലത്തെക്കാൾ വളരെ ശക്തി കുറഞ്ഞതാണ്.

(ii) രണ്ട് ന്യൂക്ലിയോണുകൾ തമ്മിലുള്ള അകലം ഏതാനും ഫെംറ്റോമീറ്ററുകളേക്കാൾ (femtometers) അധികമാകുമ്പോൾ അവ തമ്മിലുള്ള ന്യൂക്ലിയാർ ബലം

പെട്ടെന്ന് പൂജ്യമായി കുറയുന്നു. ഇത് ഒരു ഇടത്തരമോ നല്ല വലുപ്പത്തിലുള്ളതോ ആയ ന്യൂക്ലിയസിൽ ബലത്തിന്റെ പുരിതാവസ്ഥയിലേക്ക് നയിക്കുന്നു. ഇത് പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധന ഊർജത്തിന്റെ സ്ഥിരതയ്ക്ക് കാരണമാകുന്നു.

രണ്ട് ന്യൂക്ലിയോണുകളുടെ സ്ഥിതികോർജത്തിന്റെ ഏകദേശ ഗ്രാഫ് അവയുടെ അകലത്തിന്റെ ഒരു ഫലനമായി ചിത്രം 13.2 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. അകലം r_0 ഏതാണ്ട് 0.8 fm യിൽ സ്ഥിതികോർജം ഏറ്റവും കുറവാണ്. 0.8 fm ൽ കൂടുതലാണ് അകലമെങ്കിൽ ന്യൂക്ലിയാർ ബലം ആകർഷണസ്വഭാവമുള്ളതും 0.8 fm ൽ കുറവാണകലമെങ്കിൽ വികർഷണവുമാണ് എന്നാണ് ഇതിനർത്ഥം.

(iii) ന്യൂട്രോൺ-ന്യൂട്രോൺ, പ്രോട്ടോൺ-ന്യൂട്രോൺ, പ്രോട്ടോൺ-പ്രോട്ടോൺ എന്നിവ തമ്മിലുള്ള ന്യൂക്ലിയാർ ബലം ഏതാണ്ട് ഒരുപോലെയാണ്. ന്യൂക്ലിയാർ ബലത്തിന് ഇലക്ട്രിക് ചാർജുമായി ബന്ധമില്ല.

കൂളോം നിയമം പോലെയോ ന്യൂട്ടന്റെ ഗുരുത്വാകർഷണനിയമം പോലെയോ ന്യൂക്ലിയാർ ബലത്തിന് ലളിതമായ ഗണിതരൂപമില്ല.

13.6 റേഡിയോആക്റ്റിവിറ്റി (RADIOACTIVITY)

എ.എച്ച്. ബെക്വറെൽ 1896 ൽ ആകസ്മികമായി റേഡിയോആക്റ്റിവിറ്റി കണ്ടുപിടിച്ചു. ദൃശ്യപ്രകാശം പതിപ്പിക്കുമ്പോഴുള്ള സംയുക്തങ്ങളുടെ ഫ്ളൂറസെൻസും ഫോസ്ഫോറസെൻസും (fluorescence and phosphorescence) പഠിക്കുമ്പോൾ, ബെക്വറെൽ രസകരമായ ഒരു പ്രതിഭാസം നിരീക്ഷിച്ചു. ഏതാനും യുറേനിയം-പൊട്ടാസ്യം സൾഫേറ്റ് കഷണങ്ങളിൽ ദൃശ്യപ്രകാശം പതിപ്പിച്ചതിനു ശേഷം, അവയെ കറുത്ത കടലാസിൽ പൊതിയുകയും ഒരു സിൽവർ പ്ലേറ്റു കൊണ്ട് ഈ പൊതിയെ ഫോട്ടോഗ്രാഫി പ്ലേറ്റിൽ നിന്ന് വേർതിരിക്കുകയും ചെയ്തു. ഏതാനും മണിക്കൂറുകൾക്കു ശേഷമുള്ള പരിശോധനയിൽ, ഫോട്ടോഗ്രാഫി പ്ലേറ്റിൽ പ്രതിബിംബം രൂപം കൊണ്ടതായി കാണപ്പെട്ടു. കറുത്ത കടലാസിലും സിൽവർ പ്ലേറ്റിലും തുളച്ചുകയറാൻ സാധിക്കുന്ന എന്തോ ഒന്ന് ആ സംയുക്തം പുറപ്പെടുവിച്ചതായിരിക്കണം അതിനു കാരണമെന്ന് അദ്ദേഹം അനുമാനിച്ചു. ഒരു അസ്ഥിര ന്യൂക്ലിയസ് ശോഷണത്തിനു (decay) വിധേയമാകുന്ന ഒരു ന്യൂക്ലിയാർ പ്രതിഭാസമാണ് റേഡിയോആക്റ്റിവിറ്റി എന്ന് തുടർന്ന് നടത്തിയ പരീക്ഷണങ്ങൾ തെളിയിച്ചു. റേഡിയോആക്റ്റീവ് ശോഷണം സ്വാഭാവികമായി സംഭവിക്കുന്നത് മൂന്ന് തരത്തിലാണ്.

(i) α– ശോഷണം (Alpha Decay): ഇതിൽ ഹീലിയം (^4_2He) ന്യൂക്ലിയസ് ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്നു.

(ii) β- ശോഷണം (Beta Decay): ഇതിൽ ഇലക്ട്രോണിനെയോ പോസിട്രോണിനെയോ (ഇലക്ട്രോണിന്റെ അതേ മാസും, എന്നാൽ അതിനു നേരെ വിപരീതമായ ചാർജുമുള്ളത്) പുറത്തുവിടുന്നു.

(iii) γ- ശോഷണം (Gamma Decay): ഇതിൽ ഉന്നത ഊർജമുള്ള (നൂറുകണക്കിന് keV ഓ അതിൽ കൂടുതലോ) ഫോട്ടോണുകളെ പുറപ്പെടുവിക്കുന്നു.

തുടർന്നുള്ള ഭാഗങ്ങളിൽ മേൽ പറഞ്ഞ ഓരോ ശോഷണവും പരിഗണിക്കാം.

13.6.1 റേഡിയോ ആക്റ്റീവ് ശോഷണ നിയമം (Law of radioactive decay)

α, β അല്ലെങ്കിൽ γ ശോഷണത്തിന് വിധേയമായ ഏതെങ്കിലും റേഡിയോ ആക്ടീവ് സാമ്പിളിൽ, യൂണിറ്റ് സമയത്തിൽ ശോഷണം സംഭവിക്കുന്ന ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ

എണ്ണം സാമ്പിളിലുള്ള ആകെ ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ എണ്ണത്തിന് ആനുപാതിക മാണെന്ന് കണ്ടെത്തിയിട്ടുണ്ട്. N എന്നത് സാമ്പിളിലുള്ള ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ എണ്ണ വും ΔN എന്നത് Δt സമയത്ത് ശോഷണത്തിന് വിധേയമായവയുടെ എണ്ണവുമാ ണെങ്കിൽ,

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} \propto N$$

അഥവാ, $\Delta N/\Delta t = \lambda N$, (13.10)

ഇതിൽ, λ യെ റേഡിയോആക്റ്റീവ് ശോഷണ സ്ഥിരാങ്കം (radioactive decay constant or disintegration constant) എന്നു പറയുന്നു. Δt സമയത്തുള്ള സാമ്പിളിലെ * ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ എണ്ണത്തിലെ വ്യത്യാസം $dN = -\Delta N$. അതുകൊണ്ട് N ന്റെ മാറ്റത്തിന്റെ നിരക്ക് ($\Delta t \to 0$ എന്ന പരിധിയിൽ)

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

അഥവാ, $\frac{dN}{N} = -\lambda dt$

സമവാക്യത്തിന്റെ ഇരുവശവും സമാകലനം (integrate) ചെയ്താൽ, നമുക്കു ലഭിക്കുക

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t_0}^{t} dt \qquad (13.11)$$

അഥവാ, $\ln N - \ln N_0 = -\lambda (t - t_0)$ (13.12)

ഇവിടെ, N_0 എന്നത് t_0 സമയത്ത് സാമ്പിളിൽ ഉണ്ടായ റേഡിയോആക്റ്റീവ് ന്യൂക്ലിയസുകളും, N എന്നത് കുറച്ച് കഴിഞ്ഞ് t സമയത്ത് ഉള്ള റേഡിയോആക്റ്റീവ് ന്യൂക്ലിയസുകളുമാണ്. സമവാക്യം (13.2)ൽ $t_0 = 0$ കൊടുത്ത് പുനഃക്രമീകരിച്ചാൽ ലഭിക്കുന്നത്,

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \qquad (13.13)$$

ഈ സമവാക്യത്തെ

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$ എന്നെഴുതാം. (13.14)

ഇങ്ങനെയുള്ള ശോഷണത്തിനുദാഹരണമായി പരിഗണിക്കുന്നത് പ്രകാശ സ്രോതസുകളായി ഉപയോഗിക്കുന്ന ബൾബുകളാണെങ്കിൽ അവ ഇത്തരത്തി ലുള്ള എക്സ്പൊണൻഷ്യൽ ശോഷണ നിയമങ്ങളൊന്നും അനുസരിക്കുന്നില്ലാ യെന്നു കാണുവാൻ കഴിയും. 1000 ബൾബുകൾ അവയുടെ ആയുസ് കണ്ടെത്താൻ പരിശോധിക്കുമ്പോൾ (അവയ്ക്ക് കത്തിത്തീരുവാനോ അല്ലെങ്കിൽ ഫ്യൂസാകു വാനോ ഉള്ള സമയം), അവ ഏതാണ്ട് ഒരേ സമയം കൊണ്ട് ശോഷണം ചെയ്യപ്പെ ടുന്നു (അതായത്, കത്തിത്തീരുന്നു) എന്ന് നമുക്ക് അറിയാം. അതേസമയം റേഡി യോആക്റ്റീവ് ന്യൂക്ലൈഡുകളുടെ ശോഷണം തികച്ചും വ്യത്യസ്തമായ ഒരു നിയമത്തിനനുസൃതമായാണ്. സമവാക്യം (13.14) പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്ന റേഡി യോആക്ടീവ് ശോഷണ നിയമമാണിത്.

N നു പകരം ശോഷണ നിരക്കായ R പരിഗണിക്കാവുന്നതാണ്. R (= –dN/dt) എന്നത് യൂണിറ്റ് സമയത്തിൽ ശോഷണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ

* ΔN എന്നത് ശോഷണത്തിന് വിധേയമാകുന്ന ന്യൂക്ലിയസുകളാണ്, അതുകൊണ്ട് എപ്പോഴും പോസിറ്റീവാണ്. dN എന്നത് N ലെ മാറ്റമാണ് അഥവ എന്ത് വിചാരിക്കുമ്പോൾ ഇവിടെ അഥവ ഡെസ്റ്റിനേഷൻ, ഒരുദാഹരണം യെടുത്താൽ ന്യൂക്ലിയസുകളിൽ പിന്നീട് ΔN ശോഷണം സംഭവിച്ചാൽ, $(N-\Delta N)$ ന്യൂക്ലിയസുകൾ അവശേഷിക്കുന്നു.

എണ്ണം നൽകുന്നു. ΔN ന്യൂക്ലിയോണുകൾ dt സമയം ഇടവേളയിൽ ശോഷണത്തിനു വിധേയമായെന്നു കരുതുക. അപ്പോൾ dN = - ΔN. അതുകൊണ്ട് ഇവിടെ ശോഷണ നിരക്ക് R എന്നത്

$$R = -\frac{dN}{dt}$$

സമവാക്യം (13.14) നെ അവകലനം (differentiation) ചെയ്താൽ

$$R = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

അഥവാ, $R = R_0 e^{-\lambda t}$ (13.15)

ഇത് റേഡിയോആക്റ്റീവ് ശോഷണ നിയമത്തിന്റെ [സമവാക്യം (13.14)] മറ്റൊരു രൂപമാണ്. R_0 എന്നത് t = 0 സമയത്തുള്ള റേഡിയോആക്റ്റീവ് ശോഷണ നിരക്കാണ്, R എന്നത് t സമയത്തിനു ശേഷമുള്ളതും. സമവാക്യം (13.10), ശോഷണനിരക്ക് R ന്റെ പദങ്ങളിൽ എഴുതാം

$$R = \lambda N \qquad (13.16)$$

ചിത്രം 13.3: ഒരു റേഡിയോആക്ടീവ് പദാർഥത്തിന്റെ എക്സ്പോണൻഷ്യൽ ശോഷണം $T_{1/2}$ സമയത്തിനു ശേഷം പദാർഥ കണികകളുടെ എണ്ണം പകുതിയായി കുറയുന്നു.

ഒരു സാമ്പിളിലെ റേഡിയോആക്ടീവ് ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ എണ്ണത്തേക്കാൾ അതിന്റെ റേഡിയോആക്ടീവ് ശോഷണ നിരക്കാണ് കണക്കാക്കുവാനെളുപ്പം. ന്യൂക്ലൈഡുകളുടെ ശോഷണ നിരക്ക് Rനെ ആക്റ്റിവിറ്റി (Activtiy) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ആക്റ്റിവിറ്റിയുടെ SI യൂണിറ്റ് ബെക്വറൽ ആണ് (റേഡിയോ ആക്റ്റിവിറ്റി കണ്ടെത്തിയ ഹെൻറി ബെക്വറലിന്റെ ബഹുമാനാർഥമാണ് യൂണിറ്റിന് ഈ പേര് നൽകിയത്).

അതിനെ നിർവചിച്ചിരിക്കുന്നത്,

1 ബെക്വറൽ = 1Bq = 1 ശോഷണം പ്രതി സെക്കന്റ്

സാധാരണയായി ഉപയോഗിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നതും പഴയതുമായ ഒരു യൂണിറ്റാണ് ക്യൂറി:

1 ക്യൂറി = 1 Ci = 3.7×10^{10} Bq (ശോഷണം പ്രതി സെക്കന്റ്)

റേഡിയോ ന്യൂക്ലൈഡുകളുടെ ശോഷണ നിരക്ക് വ്യത്യസ്തങ്ങളായിരിക്കും. റേഡിയോ ന്യൂക്ലൈഡിന്റെ അർധായുസ്സ് (Half life - $T_{1/2}$) എന്ന സവിശേഷതയാണ്, ഈ വ്യത്യസ്തതയെ സൂചിപ്പിക്കുന്നതിനായി പൊതുവേ ഉപയോഗിക്കുന്നത്. അർധായുസ്സെന്നത് ഒരു റേഡിയോ ആക്റ്റീവ് പദാർഥത്തിലെ ന്യൂക്ലൈഡുകളുടെ എണ്ണം തുടക്കത്തിലുള്ള ന്യൂക്ലൈഡുകളുടെ എണ്ണത്തിന്റെ പകുതിയായി ശോഷണം വഴി കുറയാനുള്ള സമയമാണ്. തുടക്കത്തിൽ റേഡിയോ ആക്ടീവ് സാമ്പിളിന്റെ N_0 ന്യൂക്ലിയസ്സുകളുണ്ടായിരുന്നുവെന്നിരിക്കട്ടെ. $T_{1/2}$ സമയം കഴിയുമ്പോഴേക്കും ഇത് $N_0/2$ ആയി കുറഞ്ഞിട്ടുണ്ടാവും. $N = N_0/2$ എന്നും $t = T_{1/2}$ എന്നും സമവാക്യം (13.14) ൽ ആരോപിക്കുമ്പോൾ

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \text{ എന്നു ലഭിക്കും} \qquad (13.17)$$

$T_{1/2}$ സമയം കൊണ്ട് N_0, $N_0/2$ ആയി കുറഞ്ഞാൽ സമവാക്യം (13.16) പ്രകാരം ഇതേ സമയം കൊണ്ട് R_0 യുടെ വില അതിന്റെ പകുതിയായി കുറഞ്ഞിരിക്കും. ഈ പ്രതിഭാസവുമായി ബന്ധപ്പെട്ടു വരുന്ന മറ്റൊരു പ്രധാനപ്പെട്ട അളവാണ് ശരാശരി ആയുസ്സ് (*average* or *mean life* τ). ശരാശരി ആയുസ്സ് τ, സമവാക്യം

(13.14) ൽ നിന്നും ലഭിക്കും. t മുതൽ $t + \Delta t$ വരെയുള്ള ഇടവേളകളിൽ ശോഷണത്തിനു വിധേയമാകുന്ന ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ എണ്ണം $R(t)\Delta t$ $(= \lambda N_0 e^{-\lambda t}\Delta t)$ ആണ്. ഈ ന്യൂക്ലിയസുകളിൽ ഓരോന്നും t സമയം നിലനിന്നിട്ടുണ്ട്. അതിനാൽ, എല്ലാ ന്യൂക്ലിയസുകളുടെയും ആകെ ആയുസ് $t\,\lambda N_0 e^{-\lambda t}\,\Delta t$ ആയിരിക്കും. ഇവയിൽ ചില ന്യൂക്ലിയസുകൾക്ക് ചുരുങ്ങിയ ആയുർദൈർഘ്യവും മറ്റുള്ളവയ്ക്ക് കൂടുതൽ ആയുർദൈർഘ്യവുമുണ്ടായിരിക്കുമെന്നത് വ്യക്തമാണ്. അതുകൊണ്ടു തന്നെ ശരാശരി ആയുസ് ലഭിക്കുന്നതിന്, സമയം 0 മുതൽ ∞ വരെ ഈ സമവാക്യത്തെ സമാകലനം ചെയ്യുകയും, ഒപ്പം $t = 0$ യിലെ മൊത്തം ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ എണ്ണം കൊണ്ട് ഹരിക്കുകയും ചെയ്യേണ്ടതുണ്ട്. അങ്ങനെ,

$$\tau = \frac{\lambda N_0 \int_0^\infty t e^{-\lambda t}\,dt}{N_0} = \lambda \int_0^\infty t e^{-\lambda t}\,dt$$

ഈ സമാകലനത്തിലൂടെ $\tau = 1/\lambda$ എന്നു ലഭിക്കും

ഈ ഫലങ്ങൾ ഇങ്ങനെ ചുരുക്കാം

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2 \qquad (13.18)$$

അല്പായുസ്സുള്ള റേഡിയോആക്ടീവ് മൂലകങ്ങളുടെ (പ്ലൂട്ടോണിയം. ട്രീഷിയം മുതലായവ) അർധായുസ്സ് പ്രപഞ്ചത്തിന്റെ പ്രായവുമായി (~15 ബില്ല്യൺ വർഷങ്ങൾ) താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ വളരെ ചെറുതായതിനാൽ കുറച്ചു കാലം കൊണ്ടു തന്നെ അവയ്ക്ക് ശോഷണം സംഭവിച്ചിട്ടുണ്ടാവും. അതിനാൽ അവയെ പ്രപഞ്ചത്തിൽ നിരീക്ഷണ യോഗ്യമായ അളവിൽ കണ്ടെത്തുവാൻ കഴിയില്ല. എന്നാൽ, ലബോറട്ടറികളിൽ നടത്തിയ ന്യൂക്ലിയാർ പരീക്ഷണങ്ങളിൽ അവയെ കണ്ടെത്തുവാൻ കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ട്. ട്രിഷിയവും പ്ലൂട്ടോണിയവും ഈ വിഭാഗത്തിൽപ്പെടുന്നവയാണ്.

മേരി സ്ക്ലൊഡോവ്സ്ക ക്യൂറി (1867-1934)

മേരി സ്ക്ലൊഡോവ്സ്ക ക്യൂറി
[Marie Sklodowska Curie (1867-1934]

പോളണ്ടിൽ ജനനം. ഫിസിക്സിലും കെമിസ്ട്രിയിലും ഒരുപോലെ വ്യക്തിമുദ്ര പതിപ്പിച്ചയാൾ. 1896ൽ ഹെൻറി ബെക്വറൽ റേഡിയോആക്റ്റിവിറ്റി കണ്ടെത്തിയത് മേരിയുടെയും ഭർത്താവ് പിയറി ക്യൂറിയുടെയും ഗവേഷണപ്രവർത്തനങ്ങൾക്ക് വലിയ പ്രചോദനമായിത്തീരുകയും ഇത് റേഡിയം, പൊളോണിയം എന്നീ മൂലകങ്ങൾ വേർതിരിക്കുന്നതിലേക്ക് നയിക്കുകയും ചെയ്തു. രണ്ട് നൊബേൽ സമ്മാനങ്ങൾ നല്കി ആദരിക്കപ്പെട്ട ആദ്യ വ്യക്തിയും ഇവർ തന്നെയാണ് 1903 ൽ ഫിസിക്സിനും 1911 ൽ കെമിസ്ട്രിയ്ക്കും.

ഉദാഹരണം 13.4

ഉദാഹരണം 13. 4: α-ശോഷണത്തിന് വിധേയമാകുന്ന $^{238}_{92}U$ ന്റെ അർധായുസ്സ് 4.5×10^9 വർഷങ്ങളാണ്. 1g $^{238}_{92}U$ ന്റെ ആക്റ്റിവിറ്റി എന്ത്?

ഉത്തരം:

$T_{1/2} = 4.5 \times 10^9 y$
$= 4.5 \times 10^9 y \times 3.16 \times 10^7 s/y$
$= 1.42 \times 10^{17} s$

ഏത് ഐസോടോപ്പിന്റെയും 1 ഗ്രാം മോളിൽ അവോഗാഡ്രോ സംഖ്യയുടെ അത്രയും എണ്ണം ആറ്റങ്ങളുണ്ടായിരിക്കും.

അതിനാൽ, 1g $^{238}_{92}U$ ൽ ഉണ്ടാവുക,

$\frac{1}{238 \times 10^{-3}}$ kmol $\times 6.025 \times 10^{26}$ ആറ്റങ്ങൾ/kmol

$= 25.3 \times 10^{20}$ ആറ്റങ്ങൾ.

ശോഷണ നിരക്ക് R എന്നത് ചുവടെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന രീതിയിൽ എഴുതാം.

ഉദാഹരണം 13.4

$$R = \lambda N$$

$$= \frac{0.693}{T_{1/2}} N = \frac{0.693 \times 25.3 \times 10^{20}}{1.42 \times 10^{17}} s^{-1}$$

$$= 1.23 \times 10^{4}\ s^{-1}$$

$$= 1.23 \times 10^{4}\ Bq$$

ഉദാഹരണം 13.5

ഉദാഹരണം 13.5: 12.5 വർഷം അർധായുസുള്ള ട്രിഷിയം ശോഷണത്തിന് വിധേയമാകുന്നുവെന്ന് കരുതുക. 25 വർഷത്തിനുശേഷം ട്രിഷിയത്തിന്റെ എത്ര ഭാഗം ശോഷണം സംഭവിക്കാതെ അവശേഷിക്കും?

ഉത്തരം: അർധായുസ്സിന്റെ നിർവചനമനുസരിച്ച്, 12.5 വർഷത്തിന് ശേഷം തുടക്കത്തിലുള്ളതിന്റെ പകുതി ശോഷണം സംഭവിക്കാതെ അവശേഷിക്കും. അടുത്ത 12.5 വർഷത്തിൽ അതിന്റെ പകുതി ശോഷണത്തിന് വിധേയമാകും. അതിനാൽ, 25 വർഷത്തിനുശേഷം തുടക്കത്തിലുള്ളതിന്റെ നാലിലൊന്ന് ട്രിഷിയം ശോഷണം സംഭവിക്കാതെ അവശേഷിക്കും.

13.6.2 ആൽഫാ ശോഷണം (Alpha decay)

ഒരു ന്യൂക്ലിയസ് ആൽഫാശോഷണത്തിനു വിധേയമാകുമ്പോൾ, അത് ആൽഫാ കണങ്ങളെ (ഹീലിയം ന്യൂക്ലിയസ്, $^{4}_{2}He$) ഉൽസർജിച്ചുകൊണ്ട് മറ്റൊരു ന്യൂക്ലിയസായി മാറുന്നു. ഉദാഹരണമായി, ഒരു $^{238}_{92}U$ ന്യൂക്ലിയസ് ആൽഫാശോഷണത്തിനു വിധേയമാകുമ്പോൾ, അത് $^{234}_{90}Th$ ന്യൂക്ലിയസായി മാറുന്നു.

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He \qquad (\alpha\text{-decay}) \qquad (13.19)$$

$^{4}_{2}He$ രണ്ട് പ്രോട്ടോണുകളും രണ്ട് ന്യൂട്രോണുകളും ഉൾക്കൊള്ളുന്നതിനാൽ, ഈ പ്രക്രിയയിൽ, വ്യുൽപന്ന ന്യൂക്ലിയസിന്റെ (daughter nucleus) മാസ് നമ്പറും ആറ്റോമിക നമ്പറും യഥാക്രമം നാലും രണ്ടും കുറയുന്നു. അതിനാൽ $^{A}_{Z}X$ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ $^{A}_{Z}\,^{4}_{2}Y$ ആയുള്ള പരിവർത്തനം ഇങ്ങനെ ആവിഷ്കരിക്കാം.

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He \qquad (13.20)$$

ഇതിൽ $^{A}_{Z}X$ മാതൃ ന്യൂക്ലിയസും (parent nucleus) $^{A-4}_{Z-2}Y$ വ്യുൽപന്ന ന്യൂക്ലിയസും (daughter nucleus) ആണ്.

$^{238}_{92}U$ ന്റെ ആൽഫാ ശോഷണം നൈസർഗികമായി (ഒരു ബാഹ്യഊർജസ്രോതസ്സിന്റെ സഹായം ഇല്ലാതെ) സംഭവിക്കുന്നതാണ്, കാരണം ശോഷണ ഉല്പന്നങ്ങളായ $^{234}_{90}Th$, $^{4}_{2}He$ എന്നിവയുടെ മാസ് $^{238}_{92}U$ ന്റേതിനേക്കാൾ കുറവാണ്. അതിനാൽ ശോഷണ ഉൽപന്നങ്ങളുടെ ആകെ മാസ്ഊർജം ആദ്യ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ മാസ് ഊർജത്തെക്കാൾ കുറവാണ്. ആദ്യ മാസ്ഊർജവും ശോഷണ വസ്തുക്കളുടെ അന്തിമ മാസ്ഊർജവും തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസത്തെ പ്രക്രിയയുടെ Q മൂല്യം (Q value) അല്ലെങ്കിൽ ശിഥിലീകരണ ഊർജം (disintegration energy) എന്ന് വിളിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെ, ഒരു ആൽഫാ കണത്തിന്റെ Q മൂല്യം കണ്ടെത്തുന്നത് താഴെപറയും പ്രകാരമാണ്,

$$Q = (m_X - m_Y - m_{He})\, c^2 \qquad (13.21)$$

ഈ ഊർജം വ്യുൽപന്ന ന്യൂക്ലിയസുകളും $^{A-4}_{Z-2}Y$ ആൽഫാകണവും $^{A}_{Z}X$ അവയുടെ ഗതികോർജത്തിന്റെ രൂപത്തിൽ പങ്കുവെയ്ക്കുന്നു. ആൽഫാ ശോഷണം സമവാക്യങ്ങൾ (13.14), (13.15) എന്നിവ നൽകുന്ന റേഡിയോ ആക്റ്റീവ് നിയമങ്ങൾ അനുസരിക്കുന്നു.

ഉദാഹരണം 13.6: താഴെ കൊടുത്ത ആറ്റോമിക മാസുകൾ ശ്രദ്ധിക്കുക.

$^{238}_{92}U = 238.05079\,u$ $\quad$ $^{4}_{2}He = 4.00260\,u$

$^{234}_{90}Th = 234.04363\,u$ $\quad$ $^{1}_{1}H = 1.00783\,u$

$^{237}_{91}Pa = 237.05121\,u$

Pa എന്ന പ്രതീകം പ്രൊട്ടാക്ടീനിയം ($Z = 91$) എന്ന മൂലകത്തെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു.

(a) $^{238}_{92}U$ യുടെ ന്യൂക്ലിയസ് ആൽഫാ ശോഷണത്തിനിടയിൽ പുറത്തുവിടുന്ന ഊർജം എത്ര?

(b) $^{238}_{92}U$ ന് ആകസ്മികമായി പ്രോട്ടോൺ ഉൽസർജനം സാധ്യമല്ലെന്ന് തെളിയിക്കുക.

ഉത്തരം:

(a) സമവാക്യം (13.20) $^{238}_{92}U$ ന്റെ ആൽഫാ ശോഷണത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഈ പ്രവർത്തനത്തിൽ പുറത്തുവിടുന്ന ഊർജം

$$Q = (M_U - M_{Th} - M_{He})\,c^2$$

മുകളിൽ തന്നിട്ടുള്ള ആറ്റോമിക മാസ് ഉപയോഗിച്ചാൽ, നമുക്ക് ലഭിക്കുക

$$Q = (238.05079 - 234.04363 - 4.00260)\,u \times c^2$$

$$= (0.00456\,u)\,c^2$$

$$= (0.00456\,u)\,(931.5\,MeV/u)$$

$$= 4.25\,MeV.$$

(b) $^{238}_{92}U$ സ്വമേധയാ പ്രോട്ടോൺ പുറത്തുവിടുകയാണെങ്കിൽ, ആ ശോഷണ പ്രവർത്തനം ഇപ്രകാരമായിരിക്കും

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{237}_{91}Pa + {}^{1}_{1}H$$

ഈ പ്രവർത്തനം നടക്കാൻ ആവശ്യമായ Q മൂല്യം

$$= (M_U - M_{Pa} - M_H)\,c^2$$

$$= (238.05079 - 237.05121 - 1.00783)\,u \times c^2$$

$$= (-0.00825\,u)\,c^2$$

$$= -(0.00825\,u)(931.5\,MeV/u)$$

$$= -7.68\,MeV$$

ഇതിൽ, Q മൂല്യം നെഗറ്റീവ് ആയതിനാൽ ഈ പ്രവർത്തനം നൈസർഗികമായി നടക്കുന്നില്ല. $^{238}_{92}U$ ന്യൂക്ലിയസിന് 7.68 MeV ഊർജം കൊടുത്തെങ്കിലേ അതിന് പ്രോട്ടോണിനെ പുറപ്പെടുവിക്കാനാകൂ.

ഉദാഹരണം 13.6

13.6.3 ബീറ്റാ ശോഷണം (Beta decay)

ഒരു ന്യൂക്ലിയസ് ഇലക്ട്രോണോ പോസിട്രോണോ ഉൽസർജിച്ചുകൊണ്ട് നൈസർഗികമായി ശോഷണത്തിന് വിധേയമാകുന്ന പ്രക്രിയയാണ് ബീറ്റാ ശോഷണം. ആൽഫാശോഷണം പോലെ ഇതും നിയതമായ ശിഥിലീകരണ ഊർജവും അർധായുസ്സുമുള്ള ഒരു നൈസർഗിക പ്രക്രിയ തന്നെയാണ്. ആൽഫാ ശോഷണത്തെപ്പോലെ, സമവാക്യങ്ങൾ (13.14) ഉം (13.15) ഉം നിയന്ത്രിക്കുന്ന ഒരു സ്റ്റാറ്റിസ്റ്റിക്കൽ പ്രക്രിയയാണ് ബീറ്റാ ശോഷണം. ബീറ്റാ (β^{-1}) മൈനസ് ശോഷണത്തിൽ, (beta minus decay) താഴെ കൊടുത്ത $^{32}_{15}P$ ലേതുപോലെ ന്യൂക്ലിയസ് ഒരു ഇലക്ട്രോണിനെ ഉൽസർജിക്കുന്നു.

$$^{32}_{15}P \rightarrow {}^{32}_{16}S + e^- + \bar{\nu} \quad (T_{1/2} = 14.3\,d) \qquad (13.22)$$

ബീറ്റാപ്ലസ് (β^+) ശോഷണത്തിൽ (beta plus decay), താഴെ കൊടുത്ത $^{22}_{11}$Naലേതു പോലെ ന്യൂക്ലിയസ് ഒരു പോസിട്രോണിനെ ഉൽസർജിക്കുന്നു.

$$^{22}_{11}\text{Na} \rightarrow {}^{22}_{10}\text{Ne} + e^+ + \nu \quad (T_{1/2} = 2.6\ \text{y}) \tag{13.23}$$

സമവാക്യങ്ങൾക്ക് (13.14), (13.15) നിയതമായി β ശോഷണം നടക്കുന്നതിനാൽ ഏതെങ്കിലും ഒരു പ്രത്യേക ന്യൂക്ലിയസ്സ് ഏതെങ്കിലും ഒരു പ്രത്യേക സമയത്ത് β ശോഷണത്തിനു വിധേയമാകുമോ ഇല്ലയോ എന്നു കൃത്യമായി തിട്ടപ്പെടുത്തുവാനാകില്ല. പക്ഷേ അതിന്റെ അർധായുസ് $T_{1/2}$ കൊണ്ട് β ശോഷണത്തിന്റെ പ്രത്യേകതകൾ മനസ്സിലാക്കാനാകും. ഉദാഹരണത്തിന് മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന ശോഷണങ്ങളുടെ അർധായുസുകൾ യഥാക്രമം 14.3 ദിവസങ്ങളും 2.6 വർഷങ്ങളുമാണ്. ഒരു β ശോഷണത്തോടൊപ്പം ഒരു ν കണം പുറത്തു വരും. അതേ സമയം ഒരു β ശോഷണത്തിൽ ഒരു $\bar{\nu}$ കണം ഉണ്ടാകും. ഇവിടെ പ്രതീകങ്ങൾ യഥാക്രമം ന്യൂട്രിനോ, ആന്റിന്യൂട്രിനോ എന്നിവയെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഇവ രണ്ടും വളരെ കുറഞ്ഞ മാസുള്ളതോ ഒരു പക്ഷെ തീരെ മാസില്ലാത്തതോ ആയ ചാർജുരഹിത കണങ്ങളാണ്.

ന്യൂട്രിനോകൾ ദ്രവ്യവുമായി വളരെ ദുർബലമായി മാത്രമേ പ്രതിപ്രവർത്തിക്കുന്നുള്ളൂ; ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടാതെ അവയ്ക്ക് ഭൂമിയ്ക്കുള്ളിലേക്കു തുളച്ചുകടക്കാൻ പോലും കഴിയുന്നു. ഈ കാരണത്താൽ അവയുടെ കണ്ടെത്തൽ വളരെ ബുദ്ധിമുട്ടുള്ളതാവുകയും അവയുടെ സാന്നിദ്ധ്യം ദീർഘകാലം ശ്രദ്ധിക്കപ്പെടാതെ പോവുകയും ചെയ്തു. ഒരു β^- ശോഷണത്തിൽ, ഒരു ന്യൂട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസിനുള്ളിൽ ഇനി പറയുന്നത് പോലെ ഒരു പ്രോട്ടോൺ ആയി രൂപാന്തരപ്പെടുന്നു

$$n \rightarrow p + e + \bar{\nu} \tag{13.24}$$

എന്നാൽ, β^+ ശോഷണത്തിൽ, ഒരു പ്രോട്ടോൺ ഒരു ന്യൂട്രോണായാണ് മാറുന്നത്. ഈ മാറ്റം താഴെ സൂചിപ്പിക്കുന്നവിധമാണ്.

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu \tag{13.25}$$

ബീറ്റ ശോഷണത്തിനു വിധേയമാകുന്ന ഒരു ന്യൂക്ലൈഡിന്റെ മാസ്നമ്പർ A മാറാത്തതെന്തുകൊണ്ടെന്ന് ഈ പ്രക്രിയകൾ കാണിച്ചുതരുന്നു. സമവാക്യം (13.24) അല്ലെങ്കിൽ (13.25) അനുസരിച്ച് ബീറ്റാ ശോഷണം നടക്കുമ്പോൾ ഘടക ന്യൂക്ലിയോണുകളിൽ ഒന്നിന്റെ സ്വഭാവം മാറുക മാത്രമാണ് സംഭവിക്കുക.

13.6.4 ഗാമാ ശോഷണം (Gamma decay)

ആറ്റങ്ങളിലേതു പോലെ തന്നെ ന്യൂക്ലിയസിലും വിവിധ ഊർജനിലകളുണ്ട്. ഒരു ന്യൂക്ലിയസ് ഒരു ഉത്തേജിത നിലയിലാണെങ്കിൽ, വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണം പുറത്തുവിട്ടുകൊണ്ട് അതിന് താഴ്ന്ന ഊർജനിലയിലേക്കു മാറാൻ കഴിയും. ഒരു ന്യൂക്ലിയസിലെ ഊർജനിലകളിലുള്ള വ്യത്യാസങ്ങൾ MeV യുടെ തോതിലായിരിക്കുന്നതിനാൽ, ന്യൂക്ലിയസുകൾ പുറത്തുവിടുന്ന ഫോട്ടോണുകൾ MeV ഊർജങ്ങൾ ഉള്ളവയായിരിക്കും, അവയെ ഗാമാ കിരണങ്ങൾ (gamma rays) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇത്തരം കിരണങ്ങൾ ഉന്നത ഊർജവാഹകരായതു കൊണ്ട് അവയുടെ തരംഗദൈർഘ്യം വളരെ ചെറുതും ആവൃത്തി വളരെ കൂടിയതുമാണ്. (X കിരണ മേഖലയേക്കാൾ കുറഞ്ഞ തരംഗദൈർഘ്യം)

ഒരു ആൽഫാ അല്ലെങ്കിൽ ബീറ്റാ ശോഷണത്തിനുശേഷം മിക്ക റേഡിയോന്യൂക്ലൈഡുകളിൽ നിന്നും ഉണ്ടാകുന്ന വ്യുൽപന്ന ന്യൂക്ലിയസ് ഉത്തേജിത അവസ്ഥയിൽ

ആയിരിക്കും. ഒന്നോ അതിലധികമോ ഗാമാ കിരണങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിച്ചുകൊണ്ട് ഒരൊറ്റ പരിവർത്തനത്തിലൂടെയോ ചിലപ്പോൾ തുടർച്ചയായ പരിവർത്തനങ്ങളിലൂടെയോ ഇത്തരം വ്യുൽപന്ന (daughter nucleus) ന്യൂക്ലിയസുകൾ ഗ്രൗണ്ട് സ്റ്റേറ്റിലെത്തുന്നു. അത്തരമൊരു പ്രക്രിയയ്ക്ക് ഒരു നല്ല ഉദാഹരണമാണ് $^{60}_{27}Co$ ബീറ്റാ ഉൽസർജനം. $^{60}_{27}Co$ ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്നും ഉണ്ടാകുന്ന $^{60}_{28}Ni$ അതിന്റെ ഉത്തേജിത അവസ്ഥയിൽ കാണപ്പെടുന്നു. ഈ ഉത്തേജിത $^{60}_{28}Ni$ ന്യൂക്ലിയസ് 1.17 MeV യും 1.33 MeV യും ഊർജങ്ങളുള്ള ഗാമാകിരണങ്ങൾ തുടർച്ചയായി ഉൽസർജിച്ചുകൊണ്ട് അതിന്റെ ഗ്രൗണ്ട് സ്റ്റേറ്റിലേക്ക് ഡീ എക്സൈറ്റ് ചെയ്യപ്പെടുന്നു. ഈ പ്രക്രിയ ഒരു ഊർജനിലയുടെ ചിത്രം വഴി ചിത്രം 13.4 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 13.4: $^{60}_{28}Ni$ ൽ നിന്നും രൂപം കൊള്ളുന്ന $^{60}_{28}Ni$ അതിന്റെ ഉത്തേജിതാവസ്ഥയിലാണ്. തുടർച്ചയായ γ വികിരണ ഉൽസർജനങ്ങളിലൂടെ അത് അതിന്റെ സാധാരണ ഊർജ നിലയിലേക്ക് മാറ്റപ്പെടുന്നു.

13.7 ന്യൂക്ലിയാർ ഊർജം (NUCLEAR ENERGY)

ചിത്രം 13.1 ൽ തന്നിരിക്കുന്ന പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധന ഊർജത്തിന്റെ (E_{bn}) ഗ്രാഫിൽ, A = 30 നും A = 170 നും ഇടയിലുള്ള ഒരു പരന്ന മധ്യ മേഖലയുണ്ട്. ഈ മേഖലയിൽ പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധനഊർജം ഏകദേശം സ്ഥിരമാണ് (8.0 MeV). ഭാരം കുറഞ്ഞ ന്യൂക്ലിയസുകൾക്കും (A<30), ഭാരം കൂടിയ ന്യൂക്ലിയസുകൾക്കും (A>170), പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധന ഊർജം, നാം കരുതിയ പോലെ, 8.0 MeVനേക്കാൾ കുറവാണ്. ബന്ധന ഊർജത്തിന്റെ ഈ സവിശേഷത അർഥമാക്കുന്നത്, $30 < A < 170$ ആയ മധ്യമേഖലയിലെ ന്യൂക്ലിയസുകൾ $A < 30$ ഉം $A > 170$ ഉം ആയ ന്യൂക്ലിയസ്സുകളേക്കാൾ കൂടുതൽ ദൃഢമായി ബന്ധിപ്പിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു എന്നാണ്. ദൃഢത കുറഞ്ഞ ബന്ധനത്തിലുള്ള ന്യൂക്ലിയസുകൾ കൂടുതൽ ദൃഢബന്ധിതമായ ന്യൂക്ലിയസുകളായി മാറ്റിയാൽ ഊർജം പുറത്തുവിടാനാകും. നാം ഇതിനകം പരാമർശിച്ചിട്ടുള്ള അത്തരം രണ്ട് പ്രക്രിയകൾ ന്യൂക്ലിയാർ ഫിഷനും ഫ്യൂഷനുമാണ്.

കൽക്കരി, പെട്രോളിയം തുടങ്ങിയ പരമ്പരാഗത ഊർജസ്രോതസ്സുകളിൽ രാസപ്രവർത്തനങ്ങളിലൂടെയാണ് ഊർജം പുറത്തുവരുന്നത്. പ്രതി ആറ്റത്തിൽ ഈ ഊർജങ്ങൾ ഇലക്ട്രോൺവോൾട്ടുകളുടെ തോതിലാണ്. നാം കണ്ടുകഴിഞ്ഞതുപോലെ, ആണവ പ്രക്രിയകളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഊർജം ദശലക്ഷം ഇരട്ടി (MeV പ്രതിന്യൂക്ലിയോൺ) അധികമാണ്. ഇതിനർഥം അതേ അളവിലുള്ള പരമ്പരാഗത സ്രോതസ്സുകളേക്കാൾ ആണവ സ്രോതസ്സുകൾ ദശലക്ഷം ഇരട്ടി ഊർജമാണ് നൽകുന്നതെന്നാണ്. ഒരു കിലോഗ്രാം കൽക്കരി കത്തുമ്പോൾ 10^7 ജൂൾ ഊർജം ലഭിക്കും, അതേസമയം 1 കിലോഗ്രാം യുറേനിയം ന്യൂക്ലിയാർ ഫിഷനു വിധേയമാകുമ്പോൾ 10^{14} J ഊർജം ഉൽപ്പാദിപ്പിക്കുകയും ചെയ്യും.

13.7.1 ന്യൂക്ലിയാർ ഫിഷൻ (Fission)

ചാഡ്‌വിക് ന്യൂട്രോൺ കണ്ടുപിടിച്ചതിനു തൊട്ടുപിന്നാലെ, ന്യൂട്രോണുകൾ വിവിധ മൂലകങ്ങളിൽ വന്നിടിക്കുമ്പോഴാണ് പുതിയ റേഡിയോആക്ടീവ് മൂലകങ്ങൾ ഉണ്ടാകുന്നതെന്ന് എൻറിക്കോ ഫെർമി കണ്ടെത്തി. ന്യൂട്രോൺ മാത്രമല്ല പ്രോട്ടോൺ, α- കണങ്ങൾ മുതലായ കണങ്ങൾക്കും ഇത്തരം മാറ്റങ്ങൾ വരുത്തുവാൻ ശേഷിയുണ്ടെന്നു പിന്നീട് നിരീക്ഷിച്ചു. ഒരു ന്യൂട്രോണിനെ ഒരു യുറേനിയത്തിലിടിപ്പിക്കുമ്പോൾ യുറേനിയം ന്യൂക്ലിയസ് വളരെ കൂടിയ അളവി

ലുള്ള ഊർജം പുറത്തുവിട്ട് രണ്ട് തുല്യ ഭാഗങ്ങളായി മാറുന്നു. ന്യൂട്രോൺ പോലുള്ള കണങ്ങളുപയോഗിച്ച് ന്യൂക്ലിയസ്സുകളെ വിഭജിക്കുന്ന ഇത്തരം പ്രവർത്തനങ്ങളെ ന്യൂക്ലിയർഫിഷനെന്നു പറയുന്നു. അത്തരം പ്രവർത്തനങ്ങൾക്ക് ഒരു ഉദാഹരണമാണ്.

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{236}_{92}U \rightarrow ^{144}_{56}Ba + ^{89}_{36}Kr + 3\,^{1}_{0}n \qquad (13.26)$$

ഫിഷൻ എല്ലായ്പ്പോഴും ബേരിയത്തെയും ക്രിപ്റ്റോണിനെയും ഉല്പാദിപ്പിക്കണമെന്നില്ല. അതിന് മറ്റ് പദാർഥ ജോഡികളും നിർമിക്കാൻ കഴിയും, ഉദാഹരണത്തിന്

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{236}_{92}U \rightarrow ^{133}_{51}Sb + ^{99}_{41}Nb + 4\,^{1}_{0}n \qquad (13.27)$$

മറ്റൊരു ഉദാഹരണമെടുത്താൽ,

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{140}_{54}Xe + ^{94}_{38}Sr + 2\,^{1}_{0}n \qquad (13.28)$$

ഫിഷനിലൂടെ ഉൽപാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്ന വിഘടിത ന്യൂക്ലിയസ് ന്യൂട്രോൺ സമ്പന്നവും അസ്ഥിരവുമാണ്. അവ റേഡിയോആക്ടീവ് ആണ്, ഓരോന്നും സുസ്ഥിര അന്തിമ ഉൽപന്നങ്ങളാവുന്നത് വരെ, തുടർച്ചയായി ബീറ്റ കണങ്ങൾ ഉൽസർജിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കുന്നു.

യുറേനിയം പോലെയുള്ള ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ ന്യൂക്ലിയാർ വിഭജനപ്രക്രിയയിൽ പുറത്തുവിടുന്ന ഊർജം (Q മൂല്യം) പ്രതി വിഘടിത ന്യൂക്ലിയസിനു 200 MeV എന്ന ക്രമത്തിലാണ്. അത് ചുവടെ കൊടുത്ത രീതിയിൽ കണ്ടെത്താം:

A = 240 ആയ ഒരു ന്യൂക്ലിയസ് A = 120 ആയ രണ്ട് ചെറു ന്യൂക്ലിയസ്സുകളായി മാറുന്നുവെന്ന് കരുതുക.

A = 240 ആയ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ E_{bn} ഏകദേശം 7.6 MeV ആണ്,

A = 120 ആയ രണ്ട് വിഘടിത ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ E_{bn} ഏകദേശം 8.5 MeV.

∴ ന്യൂക്ലിയോണിനുണ്ടാകുന്ന ബന്ധന ഊർജത്തിലെ ലാഭം ഏകദേശം 0.9 MeV ആയതിനാൽ, ആകെ ബന്ധന ഊർജത്തിലെ ലാഭം 240×0.9 അഥവാ 216 MeV

ന്യൂക്ലിയാർ വിഘടനങ്ങളിൽ ഉണ്ടാകുന്ന ശിഥിലീകരണ ഊർജം ആദ്യം വിഘടിത ന്യൂക്ലിയസുകളുടെയും ന്യൂട്രോണുകളുടെയും ഗതികോർജമായി കാണപ്പെടുന്നു. ഒടുവിൽ അത് ചുറ്റുപാടുകളിലേക്ക് ചൂടായി പകർന്നു കിട്ടുന്നു. വൈദ്യുതി ഉൽപാദിപ്പിക്കുന്ന ആണവ റിയാക്ടറുകളിലെ ഊർജത്തിന്റെ ഉറവിടം ന്യൂക്ലിയാർ വിഘടനമാണ്. ആറ്റംബോംബിൽ നിന്ന് പുറത്തുവരുന്ന ഭീമമായ ഊർജം അനിയന്ത്രിതമായ ന്യൂക്ലിയാർ വിഘടനത്തിൽ നിന്നുമാണ്. ന്യൂക്ലിയർ റിയാക്ടർ എങ്ങനെ പ്രവർത്തിക്കുന്നു എന്ന് തുടർന്നുള്ള ഭാഗത്തിൽ വിശദമായി ചർച്ച ചെയ്യുന്നുണ്ട്.

13.7.2 ന്യൂക്ലിയാർ റിയാക്ടർ (Nuclear reactor)

ഒരു ന്യൂട്രോണുമായി കൂട്ടിയിടിച്ച് $^{235}_{92}U$ ഒരു ന്യൂക്ലിയാർ വിഘടനത്തിന് വിധേയമാകുമ്പോൾ, അത് ഒരു അധിക ന്യൂട്രോൺ പുറത്തു വിടുന്നു. ഇങ്ങനെ ലഭ്യമാകുന്ന അധിക ന്യൂട്രോൺ മറ്റൊരു $^{235}_{92}U$ ന്യൂക്ലിയാർ വിഘടനത്തിനു തുടക്കമിടുന്നു. വാസ്തവത്തിൽ, ഓരോ $^{235}_{92}U$ ന്യൂക്ലിയാർ വിഘടനത്തിലും ശരാശരി $2\frac{1}{2}$ ന്യൂട്രോണുകൾ പുറത്തുവിടുന്നു. ഉപയോഗിക്കപ്പെടുന്നതിനേക്കാൾ കൂടുതൽ ന്യൂട്രോണുകൾ ന്യൂക്ലിയാർ വിഘടനത്തിലൂടെ ഉൽപാദിപ്പിക്കപ്പെടുമ്പോൾ ഓരോ

ഇന്ത്യയുടെ ആണവോർജ പദ്ധതികൾ (INDIA'S ATOMIC ENERGY PROGRAMME)

ഇന്ത്യയ്ക്ക് സ്വാതന്ത്ര്യം ലഭിച്ച കാലഘട്ടത്തോടടുപ്പിച്ചാണ് ഹോമി ജെ. ഭാഭ (1909-1966)യുടെ നേതൃത്വത്തിൽ നമ്മുടെ ആറ്റോമികോർജ പദ്ധതികൾ ആരംഭിക്കുന്നത്. ആദ്യത്തെ ഐതിഹാസികനേട്ടം എന്ന് വിശേഷിപ്പിക്കാവുന്നത് ഇന്ത്യയുടെ ആദ്യ റിയാക്ടർ ആയ അപ്സരയുടെ നിർമാണമാണ് (അത് 1956 ആഗസ്റ്റ് 4ന് ക്രാന്തീകൃത (criticality) കൈവരിക്കുകയുണ്ടായി). ഇതിൽ ഇന്ധനമായി സമ്പുഷ്ട യുറേനിയവും മോഡറേറ്ററായി ജലവുമാണ് ഉപയോഗിച്ചത്. 1960 ലെ സൈറസ് (CIRUS - Canada India Research U.S.) റിയാക്ടറിന്റെ നിർമാണമായിരുന്നു 2റ്റൊരു നാഴികക്കല്ല്. ഈ 40 MW റിയാക്ടറിൽ സ്വാഭാവിക യുറേനിയം ഇന്ധനമായും ഘനജലം മോഡറേറ്ററായും ഉപയോഗിച്ചു. ന്യൂക്ലിയാർ സയൻസിന്റെ വിവിധ മേഖലകളിലെ ഗവേഷണങ്ങൾക്ക് പ്രോത്സാഹനം നൽകാൻ അപ്സരയ്ക്കും സൈറസിനും സാധിച്ചു. ഈ പ്രവർത്തനങ്ങളുടെ ആദ്യ രണ്ടു ദശകങ്ങളിലുണ്ടായ ഒരു പ്രധാന നാഴികക്കല്ല് ട്രോംബെയിലെ പ്ലൂട്ടോണിയം പ്ലാന്റിന്റെ അടിസ്ഥാന രൂപരേഖ തയ്യാറാക്കലും നിർമാണവുമായിരുന്നു. ഇത് ഇന്ത്യയിലെ ഇന്ധന പുനരുൽപാദന (റിയാക്ടറിൽ ഉപയോഗിക്കുന്ന ഇന്ധനത്തിൽ നിന്ന് ഫിഷന് ഉപയോഗപ്പെടുത്താവുന്ന ന്യൂക്ലിയാർ പദാർഥങ്ങൾ വേർതിരിക്കുന്ന) സാങ്കേതികവിദ്യയ്ക്ക് കളമൊരുക്കി. തുടർന്ന് ഗവേഷണ റിയാക്ടറുകളായ സെർലിന (ZERLINA), പൂർണിമ (PURNIMA - I, II, III), ധ്രുവ (DHRUVA), കാമിനി (KAMINI) എന്നിവ പ്രവർത്തനം തുടങ്ങി. U-233 ഇന്ധനമായി ഉപയോഗിക്കുന്ന രാജ്യത്തെ ആദ്യ വലിയ ഗവേഷണ റിയാക്ടറാണ് കാമിനി.

പേര് സൂചിപ്പിക്കുന്നതുപോലെ, ഗവേഷണ റിയാക്ടറിന്റെ പ്രാഥമികലക്ഷ്യം പവർ ഉൽപാദനമല്ല മറിച്ച് ന്യൂക്ലിയാർ സയൻസിലെയും സാങ്കേതികവിദ്യയിലെയും വ്യത്യസ്ത മേഖലകളിൽ ഗവേഷണ സൗകര്യമൊരുക്കുകയെന്നതാണ്. ഗവേഷണറിയാക്ടറുകൾ വൈവിധ്യമേറിയ റേഡിയോ ഐസോടോപ്പുകളുടെ ഉൽപാദന ഉറവിടങ്ങൾ കൂടിയാണ്. വ്യവസായം, ചികിത്സ, കൃഷി തുടങ്ങിയ മേഖലകളിൽ ഇവയ്ക്ക് വളരെയേറെ പ്രാധാന്യമുണ്ട്.

രാജ്യത്തിന്റെ സാമൂഹികസാമ്പത്തിക വളർച്ചയ്ക്ക് ഉതകുന്ന തരത്തിൽ സുരക്ഷിതവും വിശ്വസിക്കാവുന്നതുമായ വൈദ്യുതോർജം ലഭ്യമാക്കുകയും ന്യൂക്ലിയാർ സാങ്കേതികവിദ്യയുടെ എല്ലാ മേഖലയിലും സ്വയം പര്യാപ്തമാവുകയും ചെയ്യുകയെന്നതാണ്ഇന്ത്യൻ ആറ്റോമിക ഊർജപദ്ധതിയുടെ പ്രധാനലക്ഷ്യങ്ങൾ. അമ്പതുകളുടെ ആദ്യത്തിൽ ഏറ്റെടുത്ത ആറ്റോമികധാതുക്കളുടെ പര്യവേക്ഷണം സൂചിപ്പിച്ചത് ഇന്ത്യയിൽ പരിമിതമായ തോതിലുള്ള യുറേനിയം നിക്ഷേപമേയുള്ളൂവെന്നും എന്നാൽ സാമാന്യം സമൃദ്ധമായ തോതിൽ തോറിയം നിക്ഷേപമുണ്ടെന്നുമാണ്. അതുകൊണ്ട്, ഒരു ത്രിതല തന്ത്രമാണ് ന്യൂക്ലിയാർ പവർ ഉൽപാദനത്തിന്റെ കാര്യത്തിൽ നമ്മുടെ രാജ്യം സ്വീകരിച്ചത്. ഒന്നാമത്തെ ഘട്ടം സ്വാഭാവികയുറേനിയം ഇന്ധനമായും ഘനജലം മോഡറേറ്ററായും ഉപയോഗിക്കുന്നതായിരുന്നു. റിയാക്ടറിൽ നിന്നു പുറത്തുവിടുന്ന ഇന്ധനത്തിന്റെ പുനരുപയോഗത്തിലൂടെ ലഭിക്കുന്ന പ്ലൂട്ടോണിയം239 രണ്ടാമത്തെ ഘട്ടത്തിനുള്ള ഇന്ധനമായി പ്രവർത്തിക്കുന്നു. ഇത്തരം റിയാക്ടറുകൾ ഫാസ്റ്റ് ബ്രീഡർ റിയാക്ടറുകൾ എന്ന പേരിലറിയപ്പെടുന്നു. അവയെ അങ്ങനെ വിളിക്കാൻ കാരണം അവ ശൃംഖലാപ്രവർത്തനം നിലനിർത്താൻ അതിവേഗ ന്യൂട്രോണുകളെ ഉപയോഗിക്കുന്നതാണ് (അതിനാൽ മോഡറേറ്ററുകൾ ആവശ്യം വരുന്നില്ല), കൂടാതെ, അവ പവർ ഉൽപാദിപ്പിക്കുകയും ഉപയോഗിക്കുന്നതിനേക്കാൾ കൂടുതൽ ഫിഷൻ ഇന്ധനം(പ്ലൂട്ടോണിയം) ഉണ്ടാക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. മൂന്നാമത്തെ ഘട്ടം, ദീർഘകാലാടിസ്ഥാനത്തിൽ ഏറ്റവും പ്രാധാന്യമുള്ള, തോറിയം 232ൽ നിന്ന് ഫിഷൻ നടത്താൻ കഴിയുന്ന ഇന്ധനമായ യുറേനിയം 233 ഉൽപാദിപ്പിക്കുന്ന ഫാസ്റ്റ് ബ്രീഡർ റിയാക്ടർ ഉപയോഗിക്കുകയും അതുപയോഗിച്ച് പവർ ഉൽപാദിപ്പിക്കുന്നതുമാണ്.

ഇന്ത്യ ഇപ്പോൾ ഈ പരിപാടിയുടെ രണ്ടാം ഘട്ടത്തിലാണ്. മാത്രമല്ല, മൂന്നാം ഘട്ടത്തിന്റെ ഭാഗമായ തോറിയം ഉപയോഗത്തിൽ കൊണ്ടുവരുന്ന കാര്യത്തിൽ ഗണ്യമായ പുരോഗതി നേടിയിട്ടുമുണ്ട്. ധാതു പര്യവേക്ഷണം, ഖനനം, ഇന്ധന നിർമിതി, ഘനജല ഉൽപാദനം, റിയാക്ടർ രൂപകൽപന, നിർമാണവും പ്രയോഗവും, ഇന്ധന പുനരുൽപാദനം തുടങ്ങിയ സങ്കീർണ സാങ്കേതികവിദ്യകളിൽ രാജ്യം വൈദഗ്ധ്യം നേടിക്കഴിഞ്ഞു. രാജ്യത്തിന്റെ വിവിധ കേന്ദ്രങ്ങളിൽ നിർമിച്ച സമ്മർദിത ഘനജല റിയാക്ടറുകൾ (PHWRs) പദ്ധതിയുടെ ഒന്നാം ഘട്ടത്തിന്റെ പൂർത്തീകരണം അടയാളപ്പെടുത്തുന്നു. ഘനജല ഉൽപാദനത്തിൽ ഇന്ത്യ ഇപ്പോൾ സ്വയം പര്യാപ്തത കൈവരിച്ചുകഴിഞ്ഞിരിക്കുകയാണ്. രൂപകൽപനയിലും പ്രവർത്തനത്തിലും വിപുലമായ സുരക്ഷാമാർഗങ്ങൾ, കൂടാതെ റേഡിയോളജിക്കൽ സംരക്ഷണത്തിന്റെ കർശനമായ നിലവാരങ്ങളും ഇന്ത്യൻ ആണവോർജ പരിപാടിയുടെ മുഖമുദ്രയാണ്.

ന്യൂട്രോണും മറ്റൊരു ന്യൂക്ലിയാർ വിഘടനം തുടങ്ങിവെയ്ക്കുന്ന തരത്തിൽ ഒരു ശൃംഖലാ പ്രതിപ്രവർത്തനത്തിനുള്ള (chain reaction) സാധ്യത ഉണ്ടാകുന്നു. 1939ൽ എൻറിക്കോ ഫെർമി (Enrico Fermi) യാണ് അത്തരത്തിലുള്ള ഒരു സാധ്യത ആദ്യമായി മുന്നോട്ടുവെച്ചത്. ശൃംഖലാ പ്രതിപ്രവർത്തനം ഒന്നുകിൽ അനിയന്ത്രിതവും ദ്രുതഗതിയിലുള്ളതുമാവാം (ഒരു ആണവ ബോംബ് പോലെ), അല്ലെ

ങ്കിൽ നിയന്ത്രിതവും സ്ഥിരമായതുമാകാം. (ഒരു ന്യൂക്ലിയാർ റിയാക്ടറിലേതു പോലെ). ആദ്യത്തേത് നശീകരണത്തിലേക്ക് നയിക്കുമെങ്കിൽ രണ്ടാമത്തേത് വൈദ്യുതി ഉൽപ്പാദിപ്പിക്കുന്നതിലേക്കായി ഉപയോഗപ്പെടുത്താനാകും.

എന്നാൽ യുറേനിയം ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് വിമുക്തമായ ന്യൂട്രോണുകൾ വളരെ ഊർജമുള്ളവയായതിനാൽ, മറ്റൊരു ന്യൂക്ലിയാർ വിഭജനത്തിന് തുടക്കമിടുന്നതിനു പകരം അവ പദാർഥങ്ങളിൽ നിന്ന് പുറത്തേക്ക് എത്താമെന്നും കണ്ടെത്തുകയുണ്ടായി. കൂടാതെ വേഗം കൂടിയ ന്യൂട്രോണുകളേക്കാൾ $^{235}_{92}U$ നെ ന്യൂക്ലിയാർ വിഘടനത്തിനു സ്വാധീനം ഉളവാക്കുന്നതിനുള്ള ഉയർന്ന സഹജ സംഭാവ്യത (intrinsic probability) വേഗം കുറഞ്ഞ ന്യൂട്രോണുകൾക്കുണ്ടെന്ന വസ്തുതയും കണ്ടെത്തി.

$^{235}_{92}U$ന്റെ ന്യൂക്ലിയാർ വിഘടനത്തിലുണ്ടാവുന്ന ഒരു ന്യൂട്രോണിന്റെ ശരാശരി ഊർജം 2 MeV ആണ്. വേഗം കുറയ്ക്കപ്പെടാത്ത പക്ഷം ഈ ന്യൂട്രോണുകൾ യുറേനിയം ന്യൂക്ലിയസുകളുമായി പ്രതിപ്രവർത്തിക്കാതെ റിയാക്ടറിൽ നിന്ന് രക്ഷപ്പെടാൻ ഇടയാകും, ഇത്തരം ന്യൂട്രോണുകൾ ഉപയോഗിച്ച് ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവർത്തനം നിലനിർത്താൻ വളരെ വലിയ അളവിലുള്ള അണുവിഘടനക്ഷമമായ വസ്തുക്കൾ ഉപയോഗിക്കേണ്ടി വരുന്നു. ഭാരം കുറഞ്ഞ ന്യൂക്ലിയസുകളുമായുള്ള ഇലാസ്തിക വിസരണം വഴി വേഗമേറിയ ന്യൂട്രോണുകളെ കുറഞ്ഞ വേഗത്തിലാക്കുവാൻ കഴിയും. ഹൈഡ്രജനുമായുള്ള ഇത്തരം ഇലാസ്റ്റിക് കൂട്ടിമുട്ടലിൽ ന്യൂട്രോൺ ഏതാണ്ട് നിശ്ചലാവസ്ഥയിലേക്കു വരികയും പ്രോട്ടോൺ ന്യൂട്രോണിന്റെ ഊർജത്തെ വഹിക്കുകയും ചെയ്യുന്നതായി ചാഡ്‌വിക്കിന്റെ പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ തെളിയിച്ചു. ഒരു ഗോലി നിശ്ചലാവസ്ഥയിലുള്ള സമാനമായ മറ്റൊരു ഗോലിയുമായി നേർക്കുനേർ കൂട്ടിയിടി ഉണ്ടാകുമ്പോൾ ഇതേ സാഹചര്യമാണ് ഉണ്ടാകുന്നത്. അതിനാൽ, റിയാക്ടറുകളിൽ, വേഗമേറിയ ന്യൂട്രോണുകളെ മന്ദഗതിയിലാക്കാൻ ന്യൂക്ലിയാർ വിഘടനക്ഷമമായ ന്യൂക്ലിയസുകളോടൊപ്പം മോഡറേറ്ററുകൾ (moderators) എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഭാരം കുറഞ്ഞ ന്യൂക്ലിയസുകൾ കൂടി നൽകുന്നു. സാധാരണയായി ഉപയോഗിക്കുന്ന മോഡറേറ്ററുകളാണ് ജലം, ഘനജലം (D_2O), ഗ്രാഫൈറ്റ് എന്നിവ. മുംബൈയിലെ ഭാഭാ ആറ്റോമിക് റിസർച്ച് സെന്ററിലെ (BARC) അപ്സര റിയാക്ടറിൽ ജലമാണ് മോഡറേറ്ററായി ഉപയോഗിക്കുന്നത്.

ഇന്ത്യയിലെ വൈദ്യുത ഉൽപാദനത്തിനുപയോഗിക്കുന്ന മറ്റു റിയാക്ടറുകളിൽ മോഡറേറ്ററായി ഘനജലം ഉപയോഗിക്കുന്നു.

മോഡറേറ്ററുടെ ഉപയോഗം കാരണം, ഒരു പ്രത്യേക സമയത്തുണ്ടാകുന്ന ന്യൂട്രോണുകൾ ഉൽപാദിപ്പിക്കുന്ന അണുവിഭജനങ്ങളുടെ എണ്ണവും അതിനു മുമ്പായി നടന്ന അണുവിഭജനത്തിന്റെ എണ്ണവും തമ്മിലുള്ള അനുപാതം, K യുടെ മൂല്യം ഒന്നിലധികമാകാൻ സാധ്യതയുണ്ട്. ഈ അനുപാതത്തെ ഗുണനഘടകം (multiplication factor) എന്നു വിളിക്കുന്നു; അത് റിയാക്ടറിലെ ന്യൂട്രോണുകളുടെ വളർച്ചാ നിരക്കിന്റെ അളവാണ്. K = 1 ആണെങ്കിൽ റിയാക്റ്ററിന്റെ പ്രവർത്തനം ക്രിറ്റിക്കൽ (critical) ആണെന്ന് പറയപ്പെടുന്നു, അത് സ്ഥിരമായ പവർ ഉൽപാദനത്തിനായി നമ്മെ സഹായിക്കും. K ഒന്നിനേക്കാൾ കൂടുതലാണെങ്കിൽ, പ്രവർത്തന നിരക്കും റിയാക്റ്റർ പവറും ക്രമാതീതമായി വർധിക്കുന്നു. K യെ 1 നോട് വളരെ അടുത്തേക്ക് കുറച്ചില്ലെങ്കിൽ റിയാക്റ്റർ സൂപ്പർ ക്രിറ്റിക്കൽ (supercritical) അവസ്ഥയിലെത്തുകയും പൊട്ടിത്തെറി പോലും ഉണ്ടാവുകയും ചെയ്യും. 1986 ൽ ഉക്രെയ്നിലെ ചെർണോബിൽ റിയാക്ടറിലുണ്ടായ സ്ഫോടനം ഒരു ആണവ റിയാക്ടറിലെ അപകടങ്ങൾ കൊടും ദുരന്തങ്ങൾക്ക് കാരണമായേക്കാമെന്ന ഓർമ്മപ്പെടുത്തൽ ആണ്.

കാഡ്മിയം പോലുള്ള, ന്യൂട്രോൺ ആഗിരണം ചെയ്യുന്ന പദാർഥങ്ങൾ കൊണ്ട് നിർമിച്ച നിയന്ത്രണദണ്ഡുകൾ ഉപയോഗിച്ചാണ് (controlrods) പ്രതിപ്രവർത്തന നിരക്ക് നിയന്ത്രിക്കുന്നത്. നിയന്ത്രണദണ്ഡുകൾക്കു പുറമേ, K ഒന്നിനു താഴെയായി അതിവേഗം കുറയ്ക്കാവുന്ന തരത്തിൽ ആവശ്യമുള്ളപ്പോൾ റിയാക്ടറിലേക്ക് കടത്തിവെയ്ക്കാവുന്ന സുരക്ഷാദണ്ഡുകൾ (safety rods) റിയാക്ടറുകളിൽ ഉപയോഗിക്കുന്നുണ്ട്.

ആണവ റിയാക്ടറുകളിൽ പ്രകൃതിദത്തമായ യുറേനിയത്തിൽ ഫിഷൻ പ്രവർത്തനത്തിനുശേഷിയില്ലാത്ത $^{238}_{92}U$ ഐസോട്ടോപ്പുകളാണ് മുഖ്യമായും കാണപ്പെടുന്നത്. ഇത്തരം ഐസോട്ടോപ്പിന്റെ ($^{238}_{92}U$) ന്യൂക്ലിയസ് ഒരു ന്യൂട്രോണിനെ ആഗീരണം ചെയ്യുക വഴി റേഡിയോആക്ടീവ് ശേഷി വളരെ കൂടുതലുള്ള പ്ലൂട്ടോണിയമായി മാറുന്നു. ഇതിലുൾപ്പെടുന്ന പ്രതിപ്രവർത്തനങ്ങളുടെ പരമ്പര ഇങ്ങനെയാണ്,

$$^{238}_{92}U + n \rightarrow ^{239}_{92}U \rightarrow ^{239}_{93}Np + e^- + \bar{\nu}$$

$$^{239}_{93}Np \rightarrow ^{239}_{94}Pu + e^- + \bar{\nu} \qquad (13.29)$$

ഇങ്ങനെയുണ്ടാകുന്ന പ്ലൂട്ടോണിയം സ്ലോ ന്യൂട്രോണുകളാൽ (slow neutrons) അണുവിഘടനത്തിന് വിധേയമാവുകയും ചെയ്യുന്നു.

തെർമൽ ന്യൂട്രോണുകളെ ആധാരമാക്കി പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഒരു ആണവ റിയാക്ടറിന്റെ രൂപരേഖയാണ് ചിത്രം (13.5) ൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നത്. ഈ റിയാക്ടറിന്റെ കോറിലാണ് ഫിഷൻ പ്രവർത്തനം നടക്കുന്നത്. ഫിഷൻ പ്രവർത്തനത്തിനു അനുയോജ്യമായ രീതിയിൽ ക്രമീകരിച്ചിട്ടുള്ള ന്യൂക്ലിയാർ ഇന്ധനമാണ് ഇവിടെ ശേഖരിച്ചിരിക്കുന്നത്. മിക്ക റിയാക്ടറുകളിലും ഇന്ധനമായി ഉപയോഗിക്കുന്നത് സമ്പുഷ്ടയുറേനിയമാണ്. (പ്രകൃതിദത്തമായ യുറേനിയത്തിൽ ഉള്ളതിനേക്കാൾ (0.7%) $^{235}_{92}U$ ഐസോട്ടുപ്പുകളുടെ അനുപാതം വർധിപ്പിച്ച പദാർഥമാണ് സമ്പുഷ്ടയുറേനിയം). ഇന്ധനത്തോടൊപ്പം ന്യൂട്രോണുകളുടെ വേഗം കുറയ്ക്കുവാനുപയോഗിക്കുന്ന ഒരു മോഡറേറ്ററും കോർ ഉൾക്കൊള്ളുന്നു. കോറിൽ നിന്നും പദാർഥങ്ങളോ കിരണങ്ങളോ വെളിയിലേക്ക് ചോരാതെ സൂക്ഷിക്കുവാനായി ഒരു കവചം (പ്രതിപതനി) കൊണ്ട് കോറിനെ പൊതിഞ്ഞിട്ടുണ്ടാകും. ഫിഷൻ പ്രവർത്തനം വഴി ഉയർന്ന തോതിലുണ്ടാകുന്ന താപോർജത്തെ അനുയോജ്യമായ ഒരു ശീതീകാരി (coolant) ഉപയോഗിച്ച് കോറിൽ നിന്നും തുടർച്ചയായി നീക്കം ചെയ്തു കൊണ്ടിരിക്കും. റേഡിയോ വികിരണങ്ങൾ വെളിയിലേക്കു വരാതിരിക്കുവാൻ പര്യാപ്തമായ ഒരാവരണം കൊണ്ട് റിയാക്ടറിനെ പൊതിഞ്ഞിട്ടുണ്ടാകും. അപ

ചിത്രം 13.5 : തെർമൽ ന്യൂട്രോൺ ഫിഷൻ അടിസ്ഥാനമാക്കി പ്രവർത്തിക്കുന്ന ന്യൂക്ലിയാർ റിയാക്ടറിന്റെ ഘടനാചിത്രം

കടകരമായ ഏതെങ്കിലും തരത്തിലുള്ള ചോർച്ചയുണ്ടോ എന്നറിയുന്നതിനായുള്ള പ്രത്യേക സംവിധാനങ്ങളും റിയാക്ടറിലുണ്ടാകും. കൂടാതെ ന്യൂട്രോൺ ആഗീരണശേഷി വളരെ കൂടുതലായുള്ള കാഡ്മിയം പോലുള്ള പദാർഥം കൊണ്ടു നിർമിച്ചിട്ടുള്ള ദണ്ഡുകൾ ഫിഷൻ പ്രവർത്തനം നിർത്തുന്നതിനും നിയന്ത്രിക്കുന്നതിനും വേണ്ടി ഇവിടെ ഉപയോഗിക്കുന്നുണ്ട്. കോറിൽ നിന്നും കൂളന്റ് വഴി നീക്കം ചെയ്യപ്പെടുന്ന താപോർജം ഉപയോഗിച്ച് ഉന്നത മർദ്ദത്തിലുള്ള നീരാവിയുണ്ടാക്കുന്നതിനുള്ള സംവിധാനവും ഇതിൽ ക്രമീകരിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഈ നീരാവിയുപയോഗിച്ച ജനറേറ്ററുകളുടെ ടർബൈൻ കറക്കിയാണ് വൈദ്യുതി ഉണ്ടാക്കുന്നത്.

ഏത് പവർ ഉൽപാദന സംവിധാനങ്ങളും ഉണ്ടാക്കുന്നതു പോലെ ആണവ റിയാക്ടറുകളും മാലിന്യങ്ങൾ ഉണ്ടാക്കുന്നുണ്ട്. ആണവ മാലിന്യങ്ങൾ അതീവ റേഡിയോ ആക്ടീവും അത്യന്തം അപകടകാരികളുമായതിനാൽ അവ കൈകാര്യം ചെയ്യേണ്ടത് വിപുലമായ സുരക്ഷാക്രമീകരണങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് വളരെ സൂക്ഷ്മതയോടെ ആയിരിക്കണം. അതിനാൽ ആണവ മാലിന്യ നിർമാർജനത്തിനും, ഇന്ധനാവശിഷ്ടങ്ങൾ കൈകാര്യം ചെയ്യുന്നതിനും വളരെ വിപുലമായ സുരക്ഷാ സജ്ജീകരണങ്ങൾ ആവശ്യമായി വരുന്നു. ഈ സുരക്ഷാക്രമീകരണങ്ങളാണ് ഇന്ത്യൻ ആണവോർജപദ്ധതിയുടെ സവിശേഷത.

13.7.3 ന്യൂക്ലിയാർ ഫ്യൂഷൻ – നക്ഷത്രങ്ങളിലെ ഊർജോൽപാദനം (Nuclear fusion – energy generation in stars)

രണ്ട് ലഘു ന്യൂക്ലിയസുകൾ കൂടിച്ചേർന്ന് ഒരു വലിയ ന്യൂക്ലിയസാകുന്ന ന്യൂക്ലിയാർ ഫ്യൂഷൻ പ്രക്രിയയിൽ ഊർജം പുറത്തേക്കു വിടുന്നുവെന്ന് ചിത്രം 13.1ൽ കാണുന്ന ബന്ധനഊർജ ഗ്രാഫിൽ നിന്ന് വ്യക്തമാകുന്നുണ്ട്. ഇത്തരം ഊർജോത്സർജന പ്രക്രിയകളിൽ ചിലത് ഇവയാണ്.

$$^{1}_{1}H + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{2}_{1}H + e^{+} + \nu + 0.42\ \text{MeV} \qquad [13.29(a)]$$

$$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{3}_{2}He + n + 3.27\ \text{MeV} \qquad [13.29(b)]$$

$$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{3}_{1}H + ^{1}_{1}H + 4.03\ \text{MeV} \qquad [13.29(c)]$$

പ്രവർത്തനം [13.29(a)] യിൽ, രണ്ട് പ്രോട്ടോണുകൾ കൂടിച്ചേർന്ന് ഒരു ന്യൂട്രോണും ഒരു പോസിട്രോണും ഉണ്ടാവുകയും 0.42 MeV ഊർജം പുറത്തുവിടുകയും ചെയ്യുന്നു. പ്രവർത്തനം [13.29(b)]യിൽ, രണ്ട് ഡ്യൂട്രോണുകൾ യോജിച്ച് ഹീലിയത്തിന്റെ ഭാരംകുറഞ്ഞ ഐസോടോപ്പ് രൂപം കൊള്ളുന്നു. പ്രവർത്തനം [13.29(c)] യിൽ, രണ്ട് ഡ്യൂട്ടറോണുകൾ യോജിച്ച് ഒരു ട്രിഷിയവും ഒരു പ്രോട്ടോണുമാണ് ഉണ്ടാകുന്നത്. ഈ പ്രവർത്തനങ്ങളിലെല്ലാം, പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള രണ്ട് കണങ്ങൾ കൂടിച്ചേർന്ന് ഒരു വലിയ ന്യൂക്ലിയസുണ്ടാവുകയാണ് ചെയ്യുന്നത്. ഫ്യൂഷൻ ഉണ്ടാകണമെങ്കിൽ ആകർഷണ സ്വഭാവം പ്രദർശിപ്പിക്കുന്നതും പ്രവർത്തന ദൂരപരിധി വളരെ കുറവായിട്ടുള്ളതുമായ ന്യൂക്ലിയാർ ബലത്തിനു വിധേയമാകത്തക്കവിധത്തിൽ രണ്ടു ന്യൂക്ലിയസുകൾ വളരെ അടുത്തു വരേണ്ടതുണ്ട്. എന്നാൽ ഇവ രണ്ടും പോസിറ്റീവ് ചാർജുകൾ ഉള്ളവയായതിനാൽ അവയ്ക്കിടയിൽ കുളോം വികർഷണ ബലമുണ്ടാകും. ഈ വികർഷണബലത്തെ അതിജീവിച്ച് ഇതു സാധ്യമാകണമെങ്കിൽ അവയ്ക്ക് വളരെ ഉയർന്ന ഊർജം ഉണ്ടാവണം.

കുളോം ബാരിയറിന്റെ ഉയരം പ്രതിപ്രവർത്തനത്തിലേർപ്പെടുന്ന ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ ചാർജുകളെയും ആരങ്ങളെയും ആശ്രയിക്കുന്നു. ഉദാഹരണമായി, രണ്ട്

പ്രോട്ടോണുകളുടെ ബാരിയർ ഉയരം ഏകദേശം 400 keV ആണ്. കൂടുതൽ ചാർജുള്ള ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ ബാരിയർ ഉയരവും കൂടുതലായിരിക്കും. പ്രോട്ടോൺ വാതകത്തിലെ പ്രോട്ടോണുകൾക്ക് കൂളോം ബാരിയർ മറികടക്കുന്നതിന് ആവശ്യമായ താപനില $(3/2)k\,T = 400$ keV എന്ന രീതിയിൽ ഏകദേശം 3×10^9 K ആയിരിക്കും.

കൂളോം ബാരിയർ മറികടക്കാവുന്ന അത്രയും ഊർജം അവയുടെ തെർമൽ ചലനത്തിലൂടെ മാത്രം കണികകൾക്ക് ലഭിക്കുന്ന തരത്തിൽ പദാർഥത്തിന്റെ താപനില ഉയർത്തേണ്ടി വരും. ഈ താപനില ഉയർത്തൽ പ്രക്രിയ മൂലം ഇത്തരം പ്രവർത്തനത്തെ തെർമോന്യൂക്ലിയാർ ഫ്യൂഷൻ (thermonuclear fusion) എന്നു പറയുന്നു.

സൂര്യന്റെ അകക്കാമ്പിലെ താപനില ഏകദേശം 1.5×10^7 K ആണ്. അതിനാൽ, പ്രോട്ടോണുകളുടെ ശരാശരി ഊർജത്തേക്കാൾ വളരെ ഉയർന്ന ഊർജമുള്ള പ്രോട്ടോണുകൾ ഉൾപ്പെട്ടാൽ മാത്രമേ സൂര്യനിൽപ്പോലും ഫ്യൂഷൻ നടക്കുകയുള്ളൂ.

അതായത്, തെർമോന്യൂക്ലിയാർ പ്രവർത്തനം നടക്കണമെങ്കിൽ, സൂര്യനുൾപ്പെടെയുള്ള നക്ഷത്രങ്ങളുടെ ഉൾഭാഗത്ത് ലഭ്യമായ അത്രയും ഉയർന്ന താപനിലയും മർദ്ദവും ആവശ്യമാണ്. നക്ഷത്രങ്ങളിൽ ഊർജോൽപാദനം നടക്കുന്നത് തെർമോന്യൂക്ലിയാർ ഫ്യൂഷൻ മൂലമാണ്.

സൂര്യനിലെ ഫ്യൂഷൻ പ്രവർത്തനം ഒന്നിലധികം ഘട്ടങ്ങളുള്ള ഒരു പ്രക്രിയയാണ്. ഈ പ്രക്രിയയിൽ ഹൈഡ്രജൻ ജ്വലിച്ച് ഹീലിയമായിത്തീരുന്നു. അതുകൊണ്ട് സൂര്യനിലെ 'ഇന്ധനം' ഹൈഡ്രജനാണെന്നു പറയാം.

താഴെ കൊടുത്ത ഘട്ടങ്ങൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന പ്രവർത്തനങ്ങളിലൂടെയുള്ള പ്രോട്ടോൺ പ്രോട്ടോൺ സൈക്കിളിലൂടെയാണിത് സംഭവിക്കുന്നത്.

$$ {}^1_1\mathrm{H} + {}^1_1\mathrm{H} \rightarrow {}^2_1\mathrm{H} + e^+ + \nu + 0.42\ \mathrm{MeV} \qquad \text{(i)} $$

$$ e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma + 1.02\ \mathrm{MeV} \qquad \text{(ii)} $$

$$ {}^2_1\mathrm{H} + {}^1_1\mathrm{H} \rightarrow {}^3_2\mathrm{He} + \gamma + 5.49\ \mathrm{MeV} \qquad \text{(iii)} $$

$$ {}^3_2\mathrm{He} + {}^3_2\mathrm{He} \rightarrow {}^4_2\mathrm{He} + {}^1_1\mathrm{H} + {}^1_1\mathrm{H} + 12.86\ \mathrm{MeV} \qquad \text{(iv)} \qquad (13.30) $$

നാലാമത്തെ പ്രവർത്തനം നടക്കാൻ ആദ്യ മൂന്നു പ്രവർത്തനങ്ങൾ രണ്ടു തവണ നടക്കേണ്ടതുണ്ട്. 2(i)+2(ii)+2(iii)+(iv) എന്ന സംയോജനം പരിഗണിക്കുകയാണെങ്കിൽ, ആകെ ഫലം ഇതാണ്

$$ 4\,{}^1_1\mathrm{H} + 2e^- \rightarrow {}^4_2\mathrm{He} + 2\nu + 6\gamma + 26.7\ \mathrm{MeV} $$

അല്ലെങ്കിൽ $$ (4\,{}^1_1\mathrm{H} + 4e^-) \rightarrow ({}^4_2\mathrm{He} + 2e^-) + 2\nu + 6\gamma + 26.7\ \mathrm{MeV} \qquad (13.31) $$

അതായത്, നാല് ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റങ്ങൾ കൂടിച്ചേർന്ന് ഒരു ഹീലിയം ആറ്റം ഉണ്ടാവുകയും 26.7 MeV ഊർജം പുറത്തുവിടുകയും ചെയ്യുന്നു.

സൂര്യന്റെ അകക്കാമ്പിലെ ഹൈഡ്രജന്റെ ജ്വലനം, വിശാല അർഥത്തിൽ ഒരു മൂലകത്തെ മറ്റൊന്നാക്കി മാറ്റുന്ന രാസവിദ്യയാണ്. ഇത് 5×10^9 വർഷങ്ങളായി തുടർന്നുകൊണ്ടിരിക്കുന്നുവെന്നും, ഭാവിയിൽ ഏതാണ്ട് ഇത്രയും കാലം സൂര്യനെ ജ്വലിപ്പിക്കാനാവശ്യമായ ഹൈഡ്രജൻ അവിടെയുണ്ടെന്നും കണക്കുകൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. 5 ബില്യൺ വർഷങ്ങൾക്കകം, സൂര്യന്റെ അകക്കാമ്പ് ഹീലിയത്താൽ നിറയുകയും, തണുക്കാൻ തുടങ്ങുകയും, സൂര്യൻ അതിന്റെ ഗുരുത്വബലത്താൽ ചുരുങ്ങാൻ തുടങ്ങുകയും ചെയ്യും. ഇത് അകക്കാമ്പിന്റെ താപനില വർധിക്കുന്നതിനും അതിന്റെ

പുറം വലയം വികസിക്കുന്നതിനും, സൂര്യനെ ചുവപ്പുഭീമൻ (Red giant) എന്ന അവസ്ഥയിലെത്തിക്കുന്നതിനും കാരണമാകുന്നു.

അകക്കാമ്പിന്റെ താപനില 10^8K നിലേക്ക് വീണ്ടും വർധിക്കുമ്പോൾ, ഒരിക്കൽ കൂടി ഫ്യൂഷനിലൂടെ ഊർജോൽപാദനം സാധ്യമാകുന്നു ഇത്തവണ ഹീലിയം ജ്വലനത്തിലൂടെ കാർബണായി മാറുന്നതുകൊണ്ടാണെന്നു മാത്രം. ഒരു നക്ഷത്രം അതിന്റെ പരിണാമപ്രക്രിയകളിലൂടെ കടന്നുപോകുകയും അതോടൊപ്പം കൂടുതൽ ചൂടുള്ളതാവുകയും ചെയ്യുമ്പോൾ മറ്റു ഫ്യൂഷൻ പ്രവർത്തനങ്ങളിലൂടെ കൂടുതൽ മൂലകങ്ങൾ ഉണ്ടാകുന്നു. എങ്കിലും, ചിത്രം 13.1 ൽ കാണുന്ന ബന്ധന ഊർജ ഗ്രാഫിലെ ഉയർന്ന ഭാഗത്തോടു ചേർന്നുള്ള മൂലകങ്ങളെക്കാൾ മാസുള്ളവ പിന്നീടുള്ള ഫ്യൂഷൻ മുഖേന നിർമിക്കാൻ സാധിക്കില്ല.

ന്യൂക്ലിയാർ സർവനാശം (NUCLEAR HOLOCAUST)

ഒരൊറ്റ യുറേനിയം ഫിഷനിൽ ഏകദേശം 0.9×235 MeV (≈200 MeV) ഊർജം പുറത്തുവിടുന്നുണ്ട്.

50 kg യുറേനിയം 235 ന്റെ ഓരോ ന്യൂക്ലിയസും ഫിഷനു വിധേയമാകുമ്പോൾ അതിൽ ഉൾപ്പെടുന്ന ഊർജം ഏകദേശം 4 10^{15}J ആണ്. 20,000 ടൺ TNT യ്ക്ക് സമാനമായ ഈ ഊർജം ഒരു അതിശക്തസ്ഫോടനത്തിന് പര്യാപ്തമാണ്. വലിയ അളവിലുള്ള ന്യൂക്ലിയാർ ഊർജത്തിന്റെ അനിയന്ത്രിതമായ ഉത്സർജനത്തെയാണ് ആറ്റോമികസ്ഫോടനമെന്നു പറയുന്നത്. 1945 ആഗസ്റ്റ് 6ന് യുദ്ധമുഖത്ത് ഒരു ആറ്റോമിക ഉപകരണം ആദ്യമായി ഉപയോഗിക്കപ്പെട്ടു. ജപ്പാനിലെ ഹിരോഷിമയിൽ അമേരിക്ക ആറ്റംബോംബ് ഇട്ടു. ഈ സ്ഫോടനം 20.000 ടൺ TNTയ്ക്ക് സമാനമായതായിരുന്നു. ഉടൻ തന്നെ 3,43.000 നിവാസികൾ ഉണ്ടായിരുന്ന നഗരത്തിന്റെ 10 sq km പ്രദേശം റേഡിയോക്ലീവ് ഉൽപന്നങ്ങളാൽ നശിപ്പിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്തു. ഇതിൽ 66,000 പേർ കൊല്ലപ്പെടുകയും 69,000 പേർക്ക് പരിക്കേൽക്കുകയും, നഗരത്തിന്റെ 67% ഭാഗം നശിപ്പിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്തു.

ഫ്യൂഷൻ പ്രവർത്തനത്തിനാവശ്യമായ ഉന്നത താപനില സൃഷ്ടിക്കുന്നത് ഒരു ഫിഷൻബോംബ് പൊട്ടിച്ചുകൊണ്ടാണ്. 1954ൽ 10 മെഗാടൺ TNT യുടെ സ്ഫോടനപവറിന് സമാനമായ വൻസ്ഫോടനങ്ങൾ പരീക്ഷിക്കപ്പെട്ടു. ഇത്തരം ബോംബുകളിൽ ഹൈഡ്രജന്റെ ഐസോടോപ്പുകളായ ഡ്യൂട്ടീരിയം,ട്രിഷിയം എന്നിവയുടെ ഫ്യൂഷനാണുള്ളത്, ഇവയെ ഹൈഡ്രജൻ ബോംബ് എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഈ ഗ്രഹത്തിലെ ജീവന്റെ എല്ലാ രൂപങ്ങളെയും പലതവണ നശിപ്പിക്കുന്നതിന് ഒരു ആണവ ആയുധപ്പുര മതിയാകുമെന്നു കണക്കാക്കുന്നു. ഇത്തരം ഒരു ആണവനശീകരണം ഇപ്പോഴുള്ള ജീവവർഗങ്ങളെ നശിപ്പിക്കുമെന്ന് മാത്രമല്ല, അതിന്റെ റേഡിയോആക്ടീവ് അണുപ്രസരം ഈ ഗ്രഹത്തെ ജീവന് എക്കാലത്തും നിരുപയോഗപ്രദമാക്കുകയും ചെയ്യും. സൈദ്ധാന്തികമായ കണക്കുകൂട്ടലുകളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ഇത്തരം സ്ഫോടനങ്ങൾ ഒരു ദീർഘ ഹേമന്തം ഉണ്ടാകുവാനുള്ള സാഹചര്യങ്ങൾ പ്രവചിക്കുന്നു, റേഡിയോആക്ടീവ് അവശിഷ്ടങ്ങൾ ഒരു മേഘം പോലെ ഭൂമിയുടെ അന്തരീക്ഷത്തിൽ തങ്ങിനിൽക്കുകയും സൂര്യവികിരണങ്ങളെ ആഗിരണം നടത്തുകയും ചെയ്യുന്നതാണ് ഈ സാഹചര്യം ഉണ്ടാക്കുന്നത്.

13.7.4 നിയന്ത്രിത തെർമോന്യൂക്ലിയാർ ഫ്യൂഷൻ (Controlled thermonuclear fusion)

ഒരു തെർമോ ന്യൂക്ലിയാർഫ്യൂഷൻ റിയാക്ടർ (ഉപകരണം) പ്രവർത്തിക്കണമെങ്കിൽ തെർമോ ന്യൂക്ലിയാർ പ്രവർത്തനം നടക്കുന്ന നക്ഷത്രാന്തരഭാഗങ്ങളിലെ സാഹചര്യം സൃഷ്ടിക്കേണ്ടിവരും. നിയന്ത്രിത ഫ്യൂഷൻ റിയാക്ടറുകളിൽ 10^8 K എന്ന തോതിലുള്ള ഉയർന്ന താപനില കൈവരിച്ചിട്ടുള്ള ന്യൂക്ലിയാർ ഇന്ധനം ഉപയോഗിച്ച് തുടർച്ചയായി വൈദ്യുത ഉൽപാദനമാണ് ലക്ഷ്യമിടുന്നത്. ഇത്രയും ഉയർന്ന താപനിലയിൽ ഇന്ധനം പോസിറ്റീവ് അയോണുകളും ഇലക്ട്രോണുകളും നിറഞ്ഞ പ്ലാസ്മ അവസ്ഥയിലായിരിക്കും. ഈ ഉന്നത താപനിലയെ അതിജീവിക്കാനും പ്ലാസ്മയെ ഉൾക്കൊള്ളാനും പര്യാപ്തമായ അറകളോ കവചങ്ങളോ ഇതേവരെ ശാസ്ത്രലോകത്തിനു കണ്ടെത്തുവാൻ കഴിഞ്ഞിട്ടില്ല. അതുകൊണ്ട് പ്ലാസ്മയുടെ ശേഖരണം ഇന്നും ഒരു വലിയ കടമ്പയായി നിൽക്കുന്നു. ഭാരത മുൾപ്പെടെയുള്ള ധാരാളം രാജ്യങ്ങൾ ഈ രംഗത്ത് ധാരാളം ഗവേഷണങ്ങൾ നടത്തി വരുന്നു. ഗവേഷണം ഫലപ്രാപ്തിയിലെത്തിയാൽ അത് മാനവരാശിക്ക് ഊർജസ്രോതസ്സിന്റെ അനന്തമായ ഉറവിടം സമ്മാനിക്കും.

ഉദാഹരണം 13.7: താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന ചോദ്യങ്ങൾക്ക് ഉത്തരം കണ്ടെത്തുക

(a) രാസ സമവാക്യങ്ങൾ പോലെ (ഉദാ: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2\ H_2O$) ന്യൂക്ലിയാർ പ്രവർത്തനങ്ങളുടെ [സമവാക്യം (13.7) ലേതുപോലെ] സമവാക്യങ്ങളും സമീകൃതമാണോ? അല്ലെങ്കിൽ, എന്ത് അർത്ഥത്തിലാണ് അവ ഇരുവശത്തും സമീകൃതമാകുന്നത്?

(b) ഓരോ ന്യൂക്ലിയാർ പ്രവർത്തനത്തിലും പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണവും ന്യൂട്രോണുകളുടെ എണ്ണവും സംരക്ഷിക്കപ്പെടുന്നുവെങ്കിൽ, ഒരു ന്യൂക്ലിയാർ പ്രവർത്തനത്തിൽ മാസിനെ ഏതു വിധത്തിലാണ് ഊർജമായി (തിരിച്ചും) മാറ്റുന്നത്?

(c) മാസ് ഊർജ പരസ്പരപരിവർത്തനം സംഭവിക്കുന്നത് ന്യൂക്ലിയാർ പ്രവർത്തനങ്ങളിലൂടെ മാത്രമാണെന്നും രാസപ്രവർത്തനങ്ങളിലൂടെ സാധ്യമല്ലെന്നുമുള്ളത് ഒരു പൊതു ധാരണയാണ്. കൃത്യമായി പറഞ്ഞാലിത് ശരിയല്ല. വിശദീകരിക്കുക.

ഉത്തരം:

(a) ഒരു രാസസമവാക്യം സമീകൃതമാകുന്നത്, ഓരോ മൂലകത്തിന്റെയും ആറ്റങ്ങളുടെ എണ്ണം സമവാക്യത്തിന്റെ ഇരുവശങ്ങളിലും തുല്യമാകുമ്പോഴാണ്. ഒരു രാസപ്രക്രിയ ആറ്റത്തിന്റെ യഥാർത്ഥ ചേരുവകളെ മാത്രം മാറ്റുന്നു. ഒരു ന്യൂക്ലിയാർ പ്രവർത്തനത്തിൽ മൂലകങ്ങൾ തന്നെ മാറ്റപ്പെടാം. അതിനാൽ, ന്യൂക്ലിയാർ പ്രവർത്തനങ്ങളിൽ ഓരോ മൂലകത്തിലെയും ആറ്റങ്ങളുടെ എണ്ണം സംരക്ഷിക്കപ്പെടണമെന്നില്ല. എന്നാൽ, ന്യൂക്ലിയാർ പ്രവർത്തനങ്ങളിൽ പ്രോട്ടോണുകളുടെയും ന്യൂട്രോണുകളുടെയും എണ്ണങ്ങൾ പ്രത്യേകം സംരക്ഷിക്കപ്പെടുന്നു.

(b) ബന്ധന ഊർജം ഒരു ന്യൂക്ലിയസിനെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം ഒരു മാസ് ശോഷക പ്രഭാവമാണ്. അതായത് മാസ്സിനെ കുറയ്ക്കുന്ന പ്രഭാവം (Mass Defect). ഒരു ന്യൂക്ലിയാർ പ്രതിപ്രവർത്തനത്തിൽ ന്യൂട്രോണുകളുടെയും പ്രോട്ടോണുകളുടെയും എണ്ണം സംരക്ഷിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതിനാൽ ന്യൂക്ലിയാർ സമവാക്യത്തിന്റെ വലതു ഭാഗത്തും ഇടതു ഭാഗത്തും കാണപ്പെടുന്ന ന്യൂട്രോണുകളുടെ മൊത്തം സ്ഥിതമാസ്സിനും, പ്രോട്ടോണുകളുടെ മൊത്തം സ്ഥിതമാസിനും വ്യതിയാനമുണ്ടാവുകയില്ല. അതേ സമയം സമവാക്യത്തിന്റെ ഇടതുവശത്തും വലതുവശത്തും കാണപ്പെടുന്ന ന്യൂക്ലിയസ്സുകളുടെ ബന്ധനഊർജം സമമായിരിക്കുകയില്ല. ബന്ധന ഊർജത്തിന്റെ വ്യത്യാസം ന്യൂക്ലിയാർ പ്രതിപ്രവർത്തനം നടക്കുമ്പോൾ പുറത്തുവിടുന്നതോ ആഗീകരണം ചെയ്യുന്നതോ ആയ ഊർജത്തിനു തുല്യമായിരിക്കും. ബന്ധനഊർജം മാസിന്റെ തന്നെ മറ്റൊരു രൂപമായതിനാൽ സമവാക്യത്തിന്റെ ഇരുവശങ്ങളിലുമുള്ള ന്യൂക്ലിയസ്സുകളുടെ മാസ്സിലെ വ്യതിയാനം മാസ്സ് ഊർജമായി മാറ്റപ്പെട്ടതോ അല്ലെങ്കിൽ ഊർജം മാസായി രൂപാന്തരപ്പെട്ടതോ കൊണ്ടാകാം എന്നു പറയാനാകും. അതുകൊണ്ട് ന്യൂക്ലിയാർ പ്രതിപ്രവർത്തനത്തെ മാസ്- ഊർജ പരസ്പര മാറ്റത്തിന്റെ ഒരുദാഹരണമായി കണക്കാക്കാൻ കഴിയും.

(c) മാസ്- ഊർജ പരസ്പരമാറ്റ പ്രക്രിയയുടെ വീക്ഷണകോണിൽ നിന്നും പരിശോധിക്കുമ്പോൾ രാസപ്രതിപ്രവർത്തനവും ന്യൂക്ലിയാർ പ്രതിപ്രവർത്തനവും താത്വികമായി സമാനമാണെന്നു പറയാം. ഒരു രാസപ്രവർത്തനം നടക്കുമ്പോൾ ഉൽപാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്നതോ ആഗീരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നതോ ആയ ഊർജത്തിന്റെ അളവ് രാസസമീകരണത്തിന്റെ ഇരുവശത്തുള്ള ആറ്റങ്ങളുടെയോ അല്ലെങ്കിൽ തന്മാത്രകളുടെയോ രാസബന്ധനോർജത്തിന്റെ വ്യത്യാസമാണ്. രാസബന്ധനോർജവും ആറ്റത്തിന്റെ/തന്മാത്രയുടെ മാസ്സിനെ കുറയ്ക്കുന്ന (മാസ്സ് ശോഷണ) സവിശേഷതയാണ്. അതിനാൽ രാസസമീകരണത്തിന്റെ ഇരുവശത്തുമുള്ള ആറ്റങ്ങളുടെയോ, തന്മാത്രകളുടെയോ മാസ്സിലുള്ള വ്യത്യാസമാണ് ഊർജമായി പരിണമിച്ചിട്ടുള്ളതെന്നു പറയുന്നതിൽ തെറ്റില്ല. പക്ഷേ രാസമാറ്റം മൂലം ഉണ്ടാകുന്ന മാസ്സ് ശോഷണം (mass defect) ന്യൂക്ലിയാർ പ്രതിപ്രവർത്തനത്തിലുണ്ടാകുന്ന മാസ് ശോഷണ (mass defect) ത്തിന്റെ ദശലക്ഷത്തിൽ ഏതാനും ഭാഗം മാത്രമേ വരൂ. അതുകൊണ്ടാണ് രാസമാറ്റത്തിൽ മാസ്- ഊർജ പരസ്പരമാറ്റം ഉണ്ടാകുന്നില്ല എന്ന ധാരണ (യഥാർഥത്തിൽ അങ്ങനെ അല്ലെങ്കിൽ കൂടി) വ്യാപകമായത്.

സംഗ്രഹം

1. ഒരു ആറ്റത്തിന് ഒരു ന്യൂക്ലിയസ് ഉണ്ട്. ആ ന്യൂക്ലിയസിന് പോസിറ്റീവ് ചാർജാണുള്ളത്. ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ആരം ആറ്റത്തിന്റേതിന്റെ 10^4 ഭാഗം മാത്രമാണ്. ആറ്റത്തിന്റെ മാസിന്റെ 99.9%വും കേന്ദ്രീകരിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത് ന്യൂക്ലിയസിലാണ്.

2. അറ്റോമിക ഏകകത്തിൽ, മാസ് അളക്കുന്നത് അറ്റോമിക് മാസ് യൂണിറ്റ് (u) ആയാണ്. നിർവചനപ്രകാരം, 1 അറ്റോമിക് മാസ് യൂണിറ്റ് (1u) എന്നത് ഒരു ^{12}C ആറ്റത്തിന്റെ മാസിന്റെ 1/12 ആണ്. $1u = 1.660563 \times 10^{-27}$ kg.

3. ന്യൂക്ലിയസിൽ ന്യൂട്രോൺ എന്നു പറയുന്ന ന്യൂട്രൽ കണമുണ്ട്. അതിന്റെ മാസ് ഏറെക്കുറെ പ്രോട്ടോണിന്റെ മാസിന് തുല്യമാണ്.

4. അറ്റോമികനമ്പർ Z എന്നത് ഒരു മൂലകത്തിന്റെ ആറ്റോമികന്യൂക്ലിയസിലുള്ള പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണമാണ്. മാസ് നമ്പർ A അറ്റോമികന്യൂക്ലിയസിലെ പ്രോട്ടോണുകളുടെയും ന്യൂട്രോണുകളുടെയും ആകെ എണ്ണമാണ്, $A = Z + N$; N എന്നത് ന്യൂട്രോണുകളുടെ എണ്ണത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഒരു ന്യൂക്ലൈഡിനെ അടയാളപ്പെടുത്തുന്നത് $^{A}_{Z}X$

   എന്നാണ്. ഇതിൽ X ന്യൂക്ലിയസിന് ആധാരമായ ആറ്റത്തിന്റെ രാസപ്രതീകമാണ്. ഒരേ അറ്റോമികനമ്പർ (Z) ഉള്ളതും വ്യത്യസ്ത ന്യൂട്രോൺ നമ്പർ (N) ഉള്ളതുമായ ന്യൂക്ലൈഡുകളെ ഐസോടോപ്പുകൾ എന്നു പറയുന്നു. ഒരേ A ഉള്ള ന്യൂക്ലൈഡുകളെ ഐസോബാറുകൾ എന്നും ഒരേ N ഉള്ളവയെ ഐസോടോണുകൾ എന്നും പറയുന്നു. മിക്ക മൂലകങ്ങളും രണ്ടോ അതിലധികമോ ഐസോടോപ്പുകളുടെ മിശ്രിതമാണ്. ഒരു മൂലകത്തിന്റെ അറ്റോമികമാസ് അതിന്റെ ഐസോടോപ്പുകളുടെ മാസുകളുടെ വെയ്റ്റഡ് ആവറേജ് ആണ്. ഐസോടോപ്പുകളുടെ ആപേക്ഷിക ലഭ്യതയാണ് ഈ മാസുകൾ.

5. ന്യൂക്ലിയസിനെ ഗോളാകൃതിയിലുള്ളതായി പരിഗണിക്കുക. ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ആരം കണ്ടെത്താൻ ഇലക്ട്രോൺ വിസരണപരീക്ഷണം ഉപയോഗിക്കാം; ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ ആരങ്ങൾക്ക് കൊടുക്കാവുന്ന സൂത്രവാക്യം $R = R_0 A^{1/3}$ എന്നാണ്. ഇതിൽ R_0 = ഒരു സ്ഥിരസംഖ്യ = 1.2 fm. ഇത് സൂചിപ്പിക്കുന്നത് ന്യൂക്ലിയാർ സാന്ദ്രത A യെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ലായെന്നാണ്. ന്യൂക്ലിയാർ സാന്ദ്രത 10^{17} kg/m³ എന്ന അളവിന്റെ തോതിലാണ് കാണപ്പെടുന്നത്.

6. ഹ്രസ്വദൂരപരിധിയുള്ള ന്യൂക്ലിയാർ ബലം കൊണ്ടാണ് ന്യൂട്രോണുകളും പ്രോട്ടോണുകളും ബന്ധിപ്പിക്കപ്പെടുന്നത്. ന്യൂക്ലിയാർ ബലം ന്യൂട്രോണിലും പ്രോട്ടോണിലും ഒരുപോലെ അനുഭവപ്പെടുന്നു.

7. ന്യൂക്ലിയാർ മാസ് M എപ്പോഴും അതിന്റെ ഘടകങ്ങളുടെ ആകെ മാസ് (Σm) നേക്കാൾ കുറവായിരിക്കും. ന്യൂക്ലിയസിന്റെയും അതിന്റെ ഘടകങ്ങളുടെയും മാസുകൾ തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസമാണ് മാസ് ന്യൂനത

   $$\Delta M = (Zm_p + (A - Z)m_n) - M$$

   ഐൻസ്റ്റൈന്റെ മാസ്ഊർജ ബന്ധം ഉപയോഗിച്ച്, ഈ മാസ് വ്യത്യാസത്തെ ഊർജമായി ഇങ്ങനെ എഴുതാം

   $$\Delta E_b = \Delta M c^2$$

   ΔE_b എന്നത് ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ബന്ധന ഊർജത്തെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു. മാസ് നമ്പർ A = 30 മുതൽ 170, വരെ പ്രതിന്യൂക്ലിയോണിന്റെ ബന്ധനഊർജം ഏറെക്കുറെ സ്ഥിരമായിരിക്കും, ഏകദേശം 8 MeV/ന്യൂക്ലിയോൺ ആയിരിക്കുമിത്.

8. ന്യൂക്ലിയാർ പ്രവർത്തനങ്ങളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഊർജങ്ങൾ രാസപ്രവർത്തനങ്ങളിലേതിനേക്കാൾ ദശലക്ഷം മടങ്ങ് കൂടുതലാണ്.

9. ഒരു ന്യൂക്ലിയാർ പ്രക്രിയയുടെ Q മൂല്യം, Q = അവസാന ഗതികോർജം - തുടക്ക ഗതികോർജം, എന്ന് ഊർജസംരക്ഷണനിയമപ്രകാരം എഴുതാം,

   Q = (തുടക്കമാസുകളുടെ തുക - അവസാന മാസുകളുടെ തുക) c^2

10. ചില പ്രത്യേക ന്യൂക്ലിയസുകൾ α, β, γ കിരണങ്ങൾ പുറത്തേക്കുവിട്ടുകൊണ്ട് മറ്റൊന്നായി മാറുന്ന പ്രതിഭാസമാണ് റേഡിയോആക്ടിവിറ്റി. α കിരണങ്ങൾ ഹീലിയം ന്യൂക്ലിയസുകളാണ്, β കിരണങ്ങൾ

ഇലക്ട്രോണുകളും. γ വികിരണങ്ങൾ X-കിരണങ്ങളേക്കാൾ തരംഗദൈർഘ്യം കുറഞ്ഞ വൈദ്യുത കാന്തികവികിരണങ്ങളാണ്.

11. റേഡിയോആക്ടീവ് ശോഷണനിയമം: $N(t) = N(0)\, e^{-\lambda t}$

ഇതിൽ λ ശോഷണസ്ഥിരാങ്കം എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഒരു റേഡിയോ ന്യൂക്ലൈഡിന്റെ അർധായുസ്സ് $T_{1/2}$ എന്നത് N അതിന്റെ തുടക്കമൂല്യത്തിന്റെ പകുതിയാകാൻ വേണ്ട സമയമാണ്. ശരാശരി ആയുസ്സ് τ എന്നത് N അതിന്റെ തുടക്കമൂല്യത്തിന്റെ $e^{-1}\left(=\frac{1}{e}\right)$ ആയി കുറയാനെടുക്കുന്ന സമയമാണ്.

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2$$

12. ദൃഢത കുറഞ്ഞ ബന്ധനാവസ്ഥയിലുള്ള ന്യൂക്ലിയസ് ദൃഢമായി ബന്ധിപ്പിക്കപ്പെട്ട ന്യൂക്ലിയസായി മാറുമ്പോൾ ഊർജം പുറത്തുവിടുന്നു. ഫിഷനിൽ, $^{235}_{92}U$ പോലുള്ള ഭാരമേറിയ ന്യൂക്ലിയസ് രണ്ട് ചെറിയ ന്യൂക്ലിയസുകളായി മാറുന്നു.

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{133}_{51}Sb + ^{99}_{41}Nb + 4\,^{1}_{0}n$$

13. ഉപയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ന്യൂട്രോണുകളേക്കാൾ കൂടുതൽ സ്വതന്ത്ര ന്യൂട്രോണുകൾ ഫിഷൻ പ്രക്രിയയിൽ ഉൽപാദിപ്പിക്കപ്പെടുകയാണെങ്കിൽ അത് ശൃംഖലാ പ്രതിപ്രവർത്തനത്തിനുള്ള സാധ്യത നൽകുന്നു. അതിൽ ഓരോ ന്യൂട്രോണും മറ്റൊരു ഫിഷൻ തുടങ്ങിവെയ്ക്കുന്നു.ന്യൂക്ലിയാർ സ്ഫോടനത്തിൽ ശൃംഖലാ പ്രതിപ്രവർത്തനം നിയന്ത്രണാതീതവും ദ്രുതഗതിയിലുള്ളതുമായിരിക്കും. എന്നാൽ ഒരു ന്യൂക്ലിയാർ റിയാക്ടറിൽ, അത് നിയന്ത്രണവിധേയവും സുസ്ഥിരവും ആയിരിക്കും. റിയാക്ടറിൽ ന്യൂട്രോൺ ഗുണനഘടകം Kയുടെ മൂല്യം 1 ആയി നിലനിർത്തുന്നു.

14. ഫ്യൂഷനിൽ, ഭാരം കുറഞ്ഞ ന്യൂക്ലിയസുകൾ കൂടിച്ചേർന്ന് വലിയ ന്യൂക്ലിയസായി മാറുന്നു. സൂര്യനുൾപ്പെടെ എല്ലാ നക്ഷത്രങ്ങളിലും ഊർജത്തിന്റെ ഉറവിടം ഹൈഡ്രജൻ ന്യൂക്ലിയസുകൾ ഹീലിയമായി മാറുന്ന ഫ്യൂഷൻ പ്രക്രിയയാണ്.

ഭൗതിക അളവ്	പ്രതീകം	ഡൈമെൻഷൻ	യൂണിറ്റ്	പരാമർശം
അറ്റോമിക് മാസ് യൂണിറ്റ്	u	[M]	u	ആറ്റത്തിന്റെയും ന്യൂക്ലിയസിന്റെയും മാസുകൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള യൂണിറ്റ്. ഒരു ^{12}C ആറ്റത്തിന്റെ മാസിന്റെ 1/12 ഭാഗമാണ് ഒരു അറ്റോമിക് മാസ് യൂണിറ്റ്.
ശോഷണസ്ഥിരാങ്കം	λ	$[T^{-1}]$	s^{-1}	
അർധായുസ്	$T_{1/2}$	[T]	s	ഒരു റേഡിയോ ആക്ടീവ് സാമ്പിളിൽ തുടക്കത്തിൽ ഉണ്ടായിരുന്ന ന്യൂക്ലിയസുകൾ അതിന്റെ പകുതിയായി ശോഷിക്കാനെടുക്കുന്ന സമയം
ശരാശരി ആയുസ്	τ	[T]	s	ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ എണ്ണം അതിന്റെ തുടക്കമൂല്യത്തിന്റെ e^{-1} ആയി കുറയാനെടുക്കുന്ന സമയമാണ്.
ഒരു റേഡിയോആക്ടീവ് സാമ്പിളിന്റെ ആക്ടിവിറ്റി	R	$[T^{-1}]$	Bq	ഒരു റേഡിയോആക്ടീവ് സ്രോതസ്സിന്റെ ആക്ടിവിറ്റിയുടെ അളവ്

വിചിന്തന വിഷയങ്ങൾ

1. ന്യൂക്ലിയാർ ദ്രവ്യത്തിന്റെ സാന്ദ്രത അതിന്റെ വലുപ്പത്തിനെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. എന്നാൽ ഒരു ആറ്റത്തിന്റെ മാസ് സാന്ദ്രത ഇങ്ങനെയല്ല

2. ഇലക്ട്രോൺ വിസരണത്തിലൂടെ കണ്ടെത്തിയ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ആരം, ആൽഫാ വിസരണ പരീക്ഷണത്തിലൂടെ കണ്ടെത്തിയതിൽ നിന്ന് നേരിയ തോതിൽ വ്യത്യസ്തമാണ്. ഇതിന് കാരണം ഇലക്ട്രോൺ വിസരണം ന്യൂക്ലിയസിലെ ചാർജിന്റെ വിതരണത്തെ ആശ്രയിക്കുമ്പോൾ ആൽഫയും അതുപോലെയുള്ള മറ്റ് കണങ്ങളും ന്യൂക്ലിയാർ ദ്രവ്യത്തെയാണ് ആശ്രയിക്കുന്നത് എന്നതാണ്.

3. ആൽബർട്ട് ഐൻസ്റ്റൈൻ മാസ്ഊർജ തുല്യത $E=mc^2$ തെളിയിച്ചു, മാസിന്റെയോ ഊർജത്തിന്റെയോ വെവ്വേറെ സംരക്ഷണ നിയമങ്ങളെക്കുറിച്ച് ഇനി നാം സംസാരിക്കുന്നതിൽ അർത്ഥമില്ല, മറിച്ച് മാസിന്റെയും ഊർജത്തിന്റെയും കൂടിച്ചേർന്ന സംരക്ഷണ നിയമത്തെക്കുറിച്ച് പറയേണ്ടതായുണ്ട്. ഈ നിയമത്തിന്റെ ഏറ്റവും ബോധ്യപ്പെടാവുന്ന തെളിവ് ന്യൂക്ലിയാർ ഫിസിക്സിലാണുള്ളത്. നമ്മുടെ ഊർജ ആവശ്യങ്ങൾക്കായി പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്ന ന്യൂക്ലിയാർ ഊർജത്തെക്കുറിച്ചുള്ള നമ്മുടെ അറിവിന്റെ കേന്ദ്ര ബിന്ദു ഇതാണ്. ഈ തത്വം ഉപയോഗിച്ച് ഒരു ന്യൂക്ലിയാർ പ്രക്രിയയുടെ (ശോഷണം അല്ലെങ്കിൽ പ്രതിപ്രവർത്തനം) Q മൂല്യം അതിലെ തുടക്കമാസിന്റെയും അവസാന മാസിന്റെയും പദങ്ങളിൽ രേഖപ്പെടുത്താവുന്നതാണ്.

4. ബന്ധന ഊർജ (പ്രതി ന്യൂക്ലിയോണിന്റെ) ഗ്രാഫ് കാണിക്കുന്നത് താപമോചക ന്യൂക്ലിയാർ പ്രവർത്തനങ്ങൾ സാധ്യമാണെന്നാണ്. ഇത് ഭാരം കുറഞ്ഞ ന്യൂക്ലിയസുകൾ കൂടിച്ചേർന്ന് ഒന്നാകുമ്പോഴോ, വലിയ ന്യൂക്ലിയസ് വിഭജിക്കപ്പെട്ട് ഇടത്തരം ന്യൂക്ലിയസുകൾ രൂപം കൊള്ളുമ്പോഴോ സംഭവിക്കാം.

5. ഫ്യൂഷൻ നടക്കണമെങ്കിൽ, കൂളോം പൊട്ടൻഷ്യൽ ബാരിയർ മറികടക്കാവുന്ന തരത്തിലുള്ള ആദ്യ ഊർജം ഭാരം കുറഞ്ഞ ന്യൂക്ലിയസുകൾക്ക് ഉണ്ടായിരിക്കണം. അതിനാലാണ് ഫ്യൂഷന് വളരെ ഉയർന്ന താപനില ആവശ്യമാണെന്നു പറയുന്നത്.

6. ബന്ധന ഊർജ (പ്രതി ന്യൂക്ലിയോൺ) ഗ്രാഫ് നിർബാധവും ക്രമേണ വ്യത്യാസപ്പെടുന്നതുമാണെങ്കിലും ^{4}He ^{16}O തുടങ്ങിയ ന്യൂക്ലൈഡുകളുടെ ഭാഗത്ത് ചില ഉച്ചസ്ഥാനങ്ങൾ കാണപ്പെടുന്നു. ന്യൂക്ലിയസിന് ആറ്റത്തെപ്പോലെയുള്ള ഷെൽ ഘടനയുണ്ടെന്നതിന്റെ തെളിവായി ഇത് പരിഗണിക്കപ്പെടുന്നു.

7. ഇലക്ട്രോണുകളും പോസിട്രോണുകളും ഒരു കണിക പ്രതി കണിക ജോടിയാണ്. മാസിന്റെ കാര്യത്തിൽ അവയൊരു പോലെയാണ്, ചാർജ് തുല്യവും വിപരീത സ്വഭാവമുള്ളതുമാണ്. (ഇലക്ട്രോണും പോസിട്രോണും ഒരുമിച്ച് വന്നാൽ അവ പരസ്പരം ഇല്ലാതാവുകയും പകരം ഗാമാ വികിരണ ഫോട്ടോണുകളുടെ രൂപത്തിൽ ഊർജം നിർമിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു.)

8. ഒരു β (ഇലക്ട്രോൺ ഉത്സർജനം) ശോഷണത്തിൽ, ഇലക്ട്രോണിനോടൊപ്പം പുറത്തു വരുന്ന കണിക ആന്റി ന്യൂട്രിനോ ($\bar{\nu}$)യാണ്. എന്നാൽ β^- ശോഷണത്തിൽ (പോസിട്രോൺ ഉത്സർജനം) പുറത്തു വരുന്ന കണിക ന്യൂട്രിനോ (ν)യാണ്. ന്യൂട്രിനോയും ആന്റി ന്യൂട്രിനോയും കണപ്രതികണ ജോടിയാണ്. ഓരോ കണികയുമായും ബന്ധപ്പെട്ട ഒരു പ്രതി കണികയുമുണ്ട്. പ്രോട്ടോണുമായി ബന്ധപ്പെട്ട പ്രതികണം എന്തായിരിക്കും?

9. ഒരു സ്വതന്ത്ര ന്യൂട്രോൺ അസ്ഥിരമാണ് ($n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$). എന്നാൽ ഇത്തരത്തിലുള്ള ഒരു സ്വതന്ത്ര പ്രോട്ടോൺ ശോഷണം സാധ്യമല്ല, കാരണം ന്യൂട്രോണിനേക്കാൾ നേരിയ തോതിൽ ഭാരം കുറഞ്ഞതാണ് പ്രോട്ടോൺ.

10. ഗാമാ ഉത്സർജനം സാധാരണ ഗതിയിൽ ആൽഫാ/ബീറ്റാ ഉത്സർജനത്തിനൊപ്പം സംഭവിക്കുന്നു. ഒരു ന്യൂക്ലിയസ് അതിന്റെ ഉത്തേജിതാവസ്ഥയിൽ നിന്ന് താഴ്ന്ന നിലയിലേക്കു വരുന്നത് ഒരു ഗാമാ ഫോട്ടോൺ പുറത്തുവിട്ടു കൊണ്ടാണ്. ആൽഫാ/ ബീറ്റാ ഉത്സർജന ശേഷം ഒരു ന്യൂക്ലിയസ് അതിന്റെ ഉത്തേജിതാവസ്ഥയിൽ തുടരാം.അതേ ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് തുടർന്നുണ്ടാകുന്ന ഗാമാ വികിരണ

ഉത്സർജനം (^{60}Ni, ചിത്രം 13.4 പോലെ) സൂചിപ്പിക്കുന്നത് ന്യൂക്ലിയസുകൾക്കും ആറ്റങ്ങളെപ്പോലെ വ്യതിരിക്തമായ ഊർജ നിലകളുണ്ട് എന്നാണ്.

11. ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ അസ്ഥിരാവസ്ഥയുടെ സൂചകമാണ് റേഡിയോ ആക്ടിവിറ്റി. സ്ഥിരത കൈവരിക്കാൻ, ഭാരം കുറഞ്ഞ ന്യൂക്ലിയസുകൾക്ക് ന്യൂട്രോൺ പ്രോട്ടോൺ അനുപാതം ഏകദേശം 1:1 ആയിരിക്കണം. ഭാരമുള്ള ന്യൂക്ലിയസുകൾക്ക് ഇത് ഏകദേശം 3:2 വരെയാകാം. (പ്രോട്ടോണുകൾ തമ്മിലുള്ള വികർഷണം മറികടക്കാൻ കൂടുതൽ ന്യൂട്രോണുകൾ ആവശ്യമാണ്). ഈ അനുപാതത്തിൽ നിന്നും അകലെയുള്ള ന്യൂക്ലിയസുകൾ, അതായത് ന്യൂട്രോണുകളോ പ്രോട്ടോണുകളോ അധികമുള്ളവ, അസ്ഥിരമായവയാണ്. യഥാർത്ഥത്തിൽ, (എല്ലാ മൂലകങ്ങളുടെയും) അറിയപ്പെടുന്ന ഐസോടോപ്പുകളുടെ 10% മാത്രമാണ് സ്ഥിരതയുള്ളത്. മറ്റുള്ളവ ഒന്നുകിൽ α, p, d, n, തുടങ്ങിയവയെക്കൊണ്ട് സ്ഥിരതയുള്ള ന്യൂക്ലിയസുകളെ കൂട്ടിയിടിച്ചാൽ ലഭ്യമാവുന്നവയാണ്, അല്ലെങ്കിൽ പ്രപഞ്ചദ്രവ്യത്തെ സംബന്ധിച്ച ജ്യോതിശാസ്ത്ര നിരീക്ഷണങ്ങളിൽ തിരിച്ചറിഞ്ഞവയാണ്.

പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ

താഴെ കൊടുത്തിട്ടുള്ള ഡാറ്റ പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾക്ക് ഉത്തരം കാണുന്നതിൽ നിങ്ങൾക്ക് സഹായകമാവും

e	$= 1.6\times10^{-19}$C	N	$= 6.023\times10^{23}$ പ്രതി മോൾ
$1/(4\pi\varepsilon_0)$	$= 9\times10^{9}$ Nm^2/C^2	k	$= 1.381\times10^{-23}$ J^{0}K^{-1}
1 MeV	$= 1.6\times10^{-13}$J		
1 year	$= 3.154\times10^{7}$s	1u	$= 931.5$MeV/c^2
m_H	$= 1.007825$ u	m_n	$= 1.008665$ u
$m(^4_2He)$	$= 4.002603$ u	m_e	$= 0.000548$ u

13.1 (a) ലിഥിയത്തിന്റെ രണ്ട് സ്ഥിരതയുള്ള ഐസോടോപ്പുകളായ $^6_3$Li, $^7_3$Li എന്നിവയുടെ ലഭ്യത യഥാക്രമം 7.5%, 92.5% ആണ്. അവയുടെ മാസുകൾ 6.01512 u, 7.01600 u എന്നിങ്ങനെയും. ലിഥിയത്തിന്റെ അറ്റോമിക് മാസ് കണ്ടുപിടിക്കുക.

(b) ബോറോണിന്റെ രണ്ട് സ്ഥിരതയുള്ള ഐസോടോപ്പുകളാണ് $^{10}_5$B ഉം $^{11}_5$B ഉം. അവയുടെ മാസുകൾ യഥാക്രമം 10.01294 u, 11.00931 u. ബോറോണിന്റെ അറ്റോമിക മാസ് 10.811 u. $^{10}_5$B, $^{11}_5$B എന്നിവയുടെ ലഭ്യത കണ്ടെത്തുക.

13.2 നിയോണിന്റെ മൂന്ന് സ്ഥിരതയുള്ള ഐസോടോപ്പുകളാണ് $^{20}_{10}$Ne, $^{21}_{10}$Ne, $^{22}_{10}$Ne അവയുടെ ലഭ്യത യഥാക്രമം 90.51%, 0.27%, 9.22%. മൂന്ന് ഐസോടോപ്പുകളുടെ അറ്റോമിക മാസുകൾ യഥാക്രമം 19.99 u, 20.99 u, 21.99 u. നിയോണിന്റെ ശരാശരി അറ്റോമിക മാസ് കണ്ടെത്തുക.

13.3 നൈട്രൻ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ($^{14}_7$N) ബന്ധന ഊർജം കണ്ടെത്തുക. m($^{14}_7$N) = 14.00307 u

13.4 താഴെ കൊടുത്ത ഡാറ്റ ഉപയോഗിച്ച് $^{56}_{26}$Fe, $^{209}_{83}$Bi ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ ബന്ധന ഊർജം MeVയിൽ കണ്ടെത്തുക.

$m(^{56}_{26}Fe) = 55.93494$ u $\quad m(^{209}_{83}Bi) = 208.980388$ u

13.5 ഒരു നാണയത്തിന് 3.0g മാസുണ്ട്. എല്ലാ ന്യൂട്രോണുകളെയും പ്രോട്ടോണുകളെയും പരസ്പരം വേർതിരിക്കാനാവശ്യമായ ന്യൂക്ലിയാർ ഊർജം കണക്കാക്കുക. എളുപ്പത്തിനായി, നാണയം പൂർണമായും നിർമിക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ളത് $^{63}_{29}Cu$ (62.92960 u മാസുള്ള) കൊണ്ടാണെന്ന് സങ്കൽപിക്കുക.

13.6 താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്നവയുടെ ന്യൂക്ലിയാർ സമവാക്യം എഴുതുക.

(i) $^{226}_{88}Ra$ ന്റെ α ശോഷണം (ii) $^{242}_{94}Pu$ ന്റെ α ശോഷണം

(iii) $^{32}_{15}P$ ന്റെ β^- ശോഷണം (iv) $^{210}_{83}Bi$ ന്റെ β ശോഷണം

(v) $^{11}_{6}C$ ന്റെ β^+- ശോഷണം (vi) $^{97}_{43}Tc$ ന്റെ β^+- ശോഷണം

(vii) $^{120}_{54}Xe$ ന്റെ ഇലക്ട്രോൺ പിടിച്ചെടുക്കൽ

13.7 ഒരു റേഡിയോആക്ടീവ് ഐസോടോപ്പിന്റെ അർധായുസ് T വർഷങ്ങളാണ്. അതിന്റെ ആക്ടിവിറ്റി യഥാർത്ഥമൂല്യത്തിൽ നിന്നും ഇനി പറയുംപ്രകാരം കുറയാൻ എത്ര കാലമെടുക്കും? a) 3.125%, b) 1% ?

13.8 കാർബൺ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ജൈവദ്രവ്യത്തിന്റെ സാധാരണ ആക്ടിവിറ്റി ഓരോ ഗ്രാം കാർബണിനും 15 ശോഷണങ്ങൾ പ്രതി മിനിറ്റ് ആണ്. ഈ ആക്ടിവിറ്റി ഉണ്ടാകുന്നത് സ്ഥിരതയുള്ള കാർബൺ ഐസോടോപ്പായ $^{12}_{6}C$ യുടെ കൂടെ നേരിയ അളവിൽ റേഡിയോആക്ടീവ് ആയ $^{14}_{6}C$ കുടികലരുന്നതിനാലാണ്. ജൈവവസ്തു മരിക്കുമ്പോൾ, അതിന്റെ അന്തരീക്ഷവുമായുള്ള പ്രതിപ്രവർത്തനം (മുകളിൽ പറഞ്ഞ സംതുലിത ആക്ടിവിറ്റി നില നിർത്തുന്ന) നിലയ്ക്കുകയും അതിന്റെ ആക്ടിവിറ്റി കുറയാൻ തുടങ്ങുകയും ചെയ്യുന്നു. $^{12}_{6}C$ ന്റെ അറിയപ്പെടുന്ന അർധായുസും (5730 years), ആക്ടിവിറ്റി കണ്ടെത്തിയതും ഉപയോഗിച്ച്, ആ വസ്തുവിന്റെ ഏകദേശ പ്രായം കണ്ടെത്താം. ഇതാണ് പുരാവസ്തുശാസ്ത്രത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുന്ന കാർബൺ ഡേറ്റിംഗിന്റെ തത്വം. മോഹൻജൊദാരോവിൽ നിന്ന് ലഭിച്ച ഒരു പുരാവസ്തുവിന്റെ ആക്ടിവിറ്റി 9 ശോഷണങ്ങൾ/മിനിറ്റ് ആണെന്നു കരുതുക. സിന്ധുനദീതട സംസ്കാരത്തിന്റെ ഏകദേശ പ്രായം കണക്കാക്കുക.

13.9 8.0 mCi ശക്തിയുള്ള ഒരു റേഡിയോആക്ടീവ് ഉറവിടത്തിനാവശ്യമായ $^{60}_{27}Co$ ന്റെ അളവ് കണക്കാക്കുക. $^{60}_{27}Co$ ന്റെ അർധായുസ് 5.3 വർഷങ്ങൾ.

13.10 $^{90}_{38}Sr$ ന്റെ അർധായുസ് 28 വർഷങ്ങളാണ്. 15 mg അളവിലുള്ള ഈ ഐസോടോപ്പിന്റെ ശോഷണനിരക്ക് എന്ത്?

13.11 ഗോൾഡ് ന്യൂക്ലിയസിന്റെയും ($^{197}_{79}Au$) സിൽവർ ന്യൂക്ലിയസിന്റെയും ($^{107}_{47}Ag$) ആരങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള ഏകദേശ അനുപാതം കണക്കാക്കുക.

13.12 താഴെ കൊടുത്ത α ശോഷണത്തിൽ Q മൂല്യവും ഉത്സർജിക്കപ്പെട്ട α കണത്തിന്റെ ഗതികോർജവും കണ്ടുപിടിക്കുക. (a) $^{226}_{88}Ra$ (b) $^{220}_{86}Rn$.

തന്നിരിക്കുന്ന ഡാറ്റ:

$m(^{226}_{88}Ra) = 226.02540$ u, $m(^{222}_{86}Rn) = 222.01750$ u.

$m(^{222}_{86}Rn) = 220.01137$ u, $m(^{216}_{84}Po) = 216.00189$ u.

13.13 റേഡിയോ ന്യൂക്ലൈഡ് ആയ $^{11}_{6}C$ താഴെ കൊടുത്ത പ്രകാരം ശോഷണത്തിന് വിധേയമാകുന്നു.

$^{11}_{6}C \rightarrow ^{11}_{5}B + e^{+} + \nu$: $T_{1/2}$=20.3 min ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന പോസിട്രോണിന്റെ പരമാവധി ഊർജം 0.960 MeV. തന്നിരിക്കുന്ന മാസുകൾ: $m(^{11}_{6}C)$= 11.011434 u, $m(^{11}_{6}B)$ = 11.009305 u, Q കണ്ടുപിടിക്കുക. ഉത്സർജിക്കുന്ന പോസിട്രോണിന്റെ ഊർജവുമായി അതിനെ താരതമ്യപ്പെടുത്തുക.

13.14 β ഉത്സർജനം വഴി $^{23}_{10}Ne$ ശോഷണം ചെയ്യപ്പെടുന്നു. β ഉത്സർജന സമവാക്യം എഴുതുക. ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന ഇലക്ട്രോണിന്റെ പരമാവധി ഗതികോർജം കണ്ടുപിടിക്കുക.

തന്നിരിക്കുന്ന ഡാറ്റ: $m(^{23}_{10}Ne)$ = 22.994466 u, $m(^{23}_{11}Na)$ = 22.089770 u.

13.15 $A + b \rightarrow C + d$ എന്ന പ്രവർത്തനത്തിന്റെ Q മൂല്യം നിർവചിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത് $Q = [m_A + m_b - m_C - m_d]c^2$ എന്നാണ്, ഇതിൽ ഓരോ മാസും അതാതിന്റെ ന്യൂക്ലിയസുകളെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. തന്നിരിക്കുന്ന ഡാറ്റ ഉപയോഗിച്ച് താഴെ കൊടുത്ത പ്രവർത്തനങ്ങളുടെ Q മൂല്യം കണ്ടുപിടിക്കുക. അവ താപശോഷകപ്രവർത്തനമാണോ താപമോചകപ്രവർത്തനമാണോ എന്ന് പ്രസ്താവിക്കുക.

(i) $^{1}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H$

(ii) $^{12}_{6}C + ^{12}_{6}C \rightarrow ^{20}_{10}Ne + ^{4}_{2}He$

അറ്റോമിക് മാസുകൾ:

$m(^{2}_{1}H)$ = 2.014102 u
$m(^{3}_{1}H)$ = 3.016049 u
$m(^{12}_{6}C)$ = 12.000000 u
$m(^{20}_{10}Ne)$ = 19.992439 u

13.16 ഒരു $^{56}_{26}Fe$ ന്യൂക്ലിയസ് ഫിഷനു വിധേയമാവുകയും രണ്ട് തുല്യ $^{28}_{13}Al$ ന്യൂക്ലിയസുകളായി മാറുകയും ചെയ്യുന്നതായി സങ്കൽപിക്കുക. ഊർജപരമായി ഈ ഫിഷൻ സാധ്യമാണോ? ഈ പ്രക്രിയയുടെ Q മൂല്യം കണ്ടെത്തി ഉത്തരം എഴുതുക. $m(^{56}_{26}Fe)$ = 55.93494 u, $m(^{28}_{13}Al)$ = 27.98191 u.

13.17 $^{239}_{94}Pu$ ന്റെ ഫിഷൻ ഗുണങ്ങൾ $^{235}_{92}U$ ന് സമാനമാണ്. ഓരോ ഫിഷനിലും പുറത്തുവിടുന്ന ശരാശരി ഊർജം 180 MeV ആണ്. 1 kg ശുദ്ധമായ $^{239}_{94}Pu$ ഫിഷന് വിധേയമാകുമ്പോൾ പുറത്തുവിടുന്ന ഊർജം MeVയിൽ കണ്ടുപിടിക്കുക.

13.18 ഒരു 1000 MW ഫിഷൻ റിയാക്ടർ 5.00 വർഷങ്ങൾ കൊണ്ട് അതിന്റെ പകുതി ഇന്ധനം ഉപയോഗിക്കുന്നു. എത്ര ഇന്ധനം ആയിരിക്കും തുടക്കത്തിൽ ഉണ്ടായിരുന്നത്? റിയാക്ടർ സമയത്തിന്റെ 80%വും പ്രവർത്തിക്കുന്നുവെന്ന് കരുതുക, കൂടാതെ ഊർജം മുഴുവനായും ഉൽപാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്നത് $^{235}_{92}U$ ന്റെ ഫിഷനിൽ നിന്നാണെന്നും ഈ ന്യൂക്ലൈഡുകൾ ഉപയോഗിക്കപ്പെടുന്നത് ഫിഷൻ പ്രക്രിയയിലൂടെ മാത്രമാണെന്നും സങ്കൽപിക്കുക.

13.19 2.0 kg ഡ്യൂട്ടീരിയത്തിന്റെ ഫ്യൂഷൻ നടന്നുകഴിഞ്ഞാൽ എത്രകാലം ഒരു 100W ബൾബിനെ പ്രകാശിപ്പിക്കാനാകും? ഫ്യൂഷൻ പ്രവർത്തനം താഴെ കൊടുത്തതു പരിഗണിക്കുക. $^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{3}_{2}He + n + 3.27$ MeV

13.20 രണ്ട് ഡ്യൂട്രോണുകളുടെ നേർക്കുനേർ കൂട്ടിയിടിക്കുള്ള പൊട്ടൻഷ്യൽ ബാരിയറിന്റെ ഉയരം കണക്കാക്കുക. (സൂചന:രണ്ട് ഡ്യൂട്രോണുകൾ

പരസ്പരം സ്പർശിക്കുമ്പോൾ ഉണ്ടാകുന്ന കൂളോം വികർഷണമാണ് പൊട്ടൻഷ്യൽ ബാരിയറിന്റെ ഉയരം തരുന്നത്. ഇവയെ 2.0 fm ആരമുള്ള ദൃഢഗോളങ്ങളായി സങ്കൽപിക്കുക)

13.21 $R = R_0 A^{1/3}$ (R_0 ഒരു സ്ഥിരാങ്കം, A ന്യൂക്ലിയസിന്റെ മാസ് നമ്പർ) എന്ന ബന്ധം ഉപയോഗിച്ച് ന്യൂക്ലിയാർ മാസ് സാന്ദ്രത ഒരു സ്ഥിരസംഖ്യയാണെന്ന് തെളിയിക്കുക. (അതായത് A യെ ആശ്രയിക്കാത്ത)

13.22 ഒരു ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്നുള്ള β^+ (പോസിട്രോൺ) ഉൽസർജനത്തിന്, ഇലക്ട്രോൺ പിടിച്ചെടുക്കൽ എന്ന മറ്റൊരു പ്രക്രിയകൂടിയുണ്ട്. (ആന്തര ഓർബിറ്റുകളിൽ Kഷെല്ലിൽ-നിന്നുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളെ ന്യൂക്ലിയസ് പിടിച്ചെടുക്കുകയും ന്യൂട്രിനോ ഉൽസർജിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. $e^- + {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \nu$. ഊർജപരമായി β^+ ഉത്സർജനം അനുവദനീയമാണെങ്കിൽ ഇലക്ട്രോൺ പിടിച്ചെടുക്കൽ സാധ്യമാണെന്നും എന്നാൽ തിരിച്ച് സംഭവിക്കുന്നില്ലായെന്നും തെളിയിക്കുക.

അധികപരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ

13.23 ഒരു ആവർത്തനപ്പട്ടികയിൽ മെഗ്നീഷ്യത്തിന്റെ ശരാശരി അറ്റോമികമാസ് 24.312 u ആയാണ് തന്നിരിക്കുന്നത്. ഈ ശരാശരി മൂല്യം അവയുടെ പ്രകൃതിയിലെ ആപേക്ഷികസമൃദ്ധിയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. മൂന്ന് ഐസോടോപ്പുകളും അവയുടെ മാസുകളും താഴെ കൊടുക്കുന്നു. ${}^{24}_{12}Mg$ (23.98504u), ${}^{25}_{12}Mg$ (24.98584u), ${}^{26}_{12}Mg$ (25.98259u). ${}^{24}_{12}Mg$ ന്റെ പ്രകൃതിയിലുള്ള സമൃദ്ധി മാസിന്റെ 78.99% ആണ്. മറ്റു രണ്ടു ഐസോടോപ്പുകളുടെ സമൃദ്ധി കണക്കാക്കുക.

13.24 ഒരു ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് ഒരു ന്യൂട്രോണിനെ ഒഴിവാക്കാൻ ആവശ്യമായ ഊർജമാണ് ന്യൂട്രോൺ വേർതിരിക്കൽ ഊർജം. ${}^{41}_{20}Ca$, ${}^{27}_{13}Al$ എന്നിവയുടെ ന്യൂട്രോൺ വേർതിരിക്കൽ ഊർജം തന്നിരിക്കുന്ന ഡാറ്റ ഉപയോഗിച്ച് കണ്ടെത്തുക.

$m({}^{40}_{20}Ca) = 39.962591$ u

$m({}^{41}_{20}Ca) = 40.962278$ u

$m({}^{26}_{13}Al) = 25.986895$ u

$m({}^{27}_{13}Al) = 26.981541$ u

13.25 ഒരു റേഡിയോആക്ടീവ് സ്രോതസ്സിൽ ഫോസ്ഫറസിന്റെ രണ്ട് ഐസോടോപ്പുകളായ ${}^{32}_{15}P$ ($T_{1/2} = 14.3d$), ${}^{33}_{15}P$ ($T_{1/2} = 25.3d$) എന്നിവ അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു. തുടക്കത്തിൽ ശോഷണത്തിന്റെ 10% വരുന്നത് ${}^{32}_{15}P$ ൽ നിന്നാണ്. 90% ശോഷണം ചെയ്യപ്പെടാൻ എത്ര സമയം കാത്തിരിക്കണം?

13.26 ചില പ്രത്യേക സാഹചര്യങ്ങളിൽ, α-കണങ്ങളേക്കാൾ മാസുള്ള കണിക ഉത്സർജിച്ചുകൊണ്ട് ന്യൂക്ലിയസിന് ശോഷണം സംഭവിക്കുന്നു. താഴെ കൊടുത്ത ശോഷണപ്രക്രിയകൾ പരിഗണിക്കുക. ${}^{223}_{88}Ra \rightarrow {}^{209}_{82}Pb + {}^{14}_{6}C$, ${}^{223}_{88}Ra \rightarrow {}^{219}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$. ഈ ശോഷണങ്ങളുടെ Q മൂല്യങ്ങൾ കണ്ടുപിടിക്കുകയും അവ ഊർജപരമായി സാധ്യമാണോയെന്ന് പരിശോധിക്കുകയും ചെയ്യുക.

13.27 അതിവേഗനൂട്രോണുകളാലുള്ള $^{238}_{92}U$ ന്റെ ശോഷണം പരിഗണിക്കുക. ഒരു ഫിഷൻ പ്രക്രിയയിൽ, ന്യൂട്രോണുകളൊന്നും ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്നില്ല, പ്രാഥമിക കണങ്ങളുടെ ബീറ്റാശോഷണത്തിനുശേഷം ഉണ്ടാകുന്ന അവസാന ഉൽപന്നങ്ങൾ $^{140}_{58}Ce$, $^{99}_{44}Ru$ എന്നിവയാണ്. ഈ ഫിഷൻ പ്രക്രിയയുടെ Q മൂല്യം കണക്കാക്കുക. ആറ്റോമിക, മാസുകൾ: $m(^{238}_{92}U)$ =238.05079 u, $m(^{140}_{58}Ce)$=139.90543 u, $m(^{99}_{44}Ru)$=98.90594 u

13.28 D–T പ്രതിപ്രവർത്തനം പരിഗണിക്കുക (ഡ്യൂട്ടീരിയം-ട്രിഷിയം).

$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + n$

(a) ഈ പ്രതിപ്രവർത്തനത്തിൽ പുറത്തുവിടുന്ന ഊർജം MeV യിൽ കാണുക. $m(^{2}_{1}H)$=2.014102 u, $m(^{3}_{1}H)$=3.016049 u

(b) ഡ്യൂട്ടീരിയത്തിന്റെയും ട്രിഷിയത്തിന്റെയും ആരം ഏകദേശം 2.0 fm ആണെന്ന് പരിഗണിക്കുക. രണ്ട് ന്യൂക്ലിയസുകൾ തമ്മിലുള്ള കൂളോം വികർഷണം അതിജീവിയ്ക്കാൻ ആവശ്യമായ ഗതികോർജമെന്ത്? ഈ പ്രവർത്തനം തുടങ്ങാൻ വാതകത്തെ ഏതു താപനിലവരെ ചൂടാക്കണം?

(സൂചന: ഒരു ഫ്യൂഷൻ പ്രക്രിയയ്ക്ക് ആവശ്യമായ ഗതികോർജം = പ്രതിപ്രവർത്തിക്കുന്ന കണികകൾക്ക് ലഭ്യമായ താപീയ ഗതികോർജം = $2(3kT/2)$; k = ബോൾട്ട്സ്മാൻ സ്ഥിരാങ്കം, T = കേവല താപനില)

13.29 ചിത്രം 13.6ൽ കാണിച്ചിട്ടുള്ള β- കണികകളുടെ പരമാവധി ഗതികോർജവും γ ശോഷണങ്ങളുടെ ആവൃത്തികളും കാണുക.

$m(^{198}Au)$ = 197.968233 u
$m(^{198}Hg)$=197.966760 u

ചിത്രം 13.6

13.30 താഴെ കൊടുത്ത പ്രവർത്തനങ്ങളിൽ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ഊർജം കണ്ടെത്തുകയും താരതമ്യപ്പെടുത്തുകയും ചെയ്യുക.

a) സൂര്യനിലെ അകകാമ്പിലുള്ള 1.0 kg ഹൈഡ്രജന്റെ ഫ്യൂഷൻ

b) ഒരു ഫിഷൻ റിയാക്ടറിലെ 1.0 kg ^{235}Uന്റെ ഫിഷൻ

13.31 AD 2020 ൽ 200,000 MW ഊർജം ഉൽപാദിപ്പിക്കുകയെന്നത് ഇന്ത്യയുടെ ലക്ഷ്യമാണെന്നു കരുതുക. അതിൽ 10% ന്യൂക്ലിയാർ വൈദ്യുതനിലയങ്ങളിൽ നിന്നാണ് വേണ്ടത്. റിയാക്ടറിൽ ഉൽപാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്ന താപോർജ (അതായത്, വൈദ്യുതോർജമായി മാറ്റപ്പെടുന്ന) ഉപയോഗത്തിന്റെ ക്ഷമത ശരാശരി 25% ആണെന്ന് സങ്കൽപിക്കുക. 2020 ആകുമ്പോഴേക്കും നമ്മുടെ രാജ്യത്തിനാവശ്യമായ ഫിഷന് അനുയോജ്യമായ യുറേനിയത്തിന്റെ അളവെത്രയായിരിക്കും? ^{235}Uന്റെ ഒരു ഫിഷനിലുള്ള താപോർജം 200MeV ആയിട്ടെടുക്കുക.

അധ്യായം പതിനാല്

അർധചാലക ഇലക്ട്രോണിക്സ്: പദാർഥങ്ങൾ, ഉപകരണങ്ങൾ, ലഘുസെർക്കീട്ടുകൾ (SEMICONDUCTOR ELECTRONICS : MATERIALS, DEVICES AND SIMPLE CIRCUITS)

M5H6C8

14.1 ആമുഖം

ഇലക്ട്രോണുകളുടെ നിയന്ത്രിതപ്രവാഹം സാധ്യമാക്കുന്ന ഉപകരണങ്ങളാണ് എല്ലാ ഇലക്ട്രോണിക് സെർക്കീട്ടുകളുടേയും അടിസ്ഥാന നിർമാണ ഘടകങ്ങൾ. 1948 ൽ ട്രാൻസിസ്റ്റർ കണ്ടുപിടിക്കുന്നതു വരെ ഇത്തരം ഉപകരണങ്ങൾ വാക്വം ട്യൂബുകൾ അഥവാ വാൽവുകളായിരുന്നു (valves). ഏറ്റവും ലഘുവായ വാൽവാണ് ഡയോഡ്. ഇതിൽ രണ്ട് ഇലക്ട്രോഡുകളാണ് ഉള്ളത്. പ്ലേറ്റ് എന്നു വിളിക്കുന്ന ആനോഡും (anode), കാഥോഡു (cathode)മാണിവ. ഡയോഡിനെ കൂടാതെ മൂന്ന് ഇലക്ട്രോഡുകളുള്ള ട്രയോഡ് (triode) (കാഥോഡ്, പ്ലേറ്റ്, ഗ്രിഡ്), 4 ഇലക്ട്രോഡുകളുള്ള ടെട്രോഡ് (tetrode), 5 ഇലക്ട്രോഡുകളുള്ള പെന്റോഡ് (pentode) ഇവയും വാക്വം ട്യൂബുകളാണ്. ഒരു വാക്വം ട്യൂബിൽ കാഥോഡിനെ ചൂടാക്കിയാണ് ഇലക്ട്രോണുകൾ ലഭ്യമാക്കുന്നത്. ഇലക്ട്രോഡുകൾക്കിടയിലെ വോൾട്ടത വ്യത്യാസപ്പെടുത്തി ഇലക്ട്രോൺ പ്രവാഹത്തെ നിയന്ത്രിക്കുന്നു. ഇലക്ട്രോഡുകൾക്കിടയിലെ വായു ശൂന്യമായിരിക്കണം. ഇല്ലെങ്കിൽ സഞ്ചാരപാതയിലെ വായു തന്മാത്രകളുമായി കൂട്ടിമുട്ടി ചലിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജം നഷ്ടപ്പെട്ടേക്കാം. ഇത്തരം ഉപകരണങ്ങളിൽ കാഥോഡിൽ നിന്ന് ആനോഡിലേക്ക് മാത്രമേ ഇലക്ട്രോണുകൾ പ്രവഹിക്കുകയുള്ളൂ. (ഒരു ദിശയിൽ മാത്രം). അതിനാൽ ഇത്തരം ഉപകരണങ്ങൾ പൊതുവായി വാൽവുകൾ എന്നറിയപ്പെടുന്നു. വാക്വം ട്യൂബുകൾ താരതമ്യേന വലുപ്പം കൂടിയ സാധാരണയായി ഉയർന്ന വോൾട്ടതയിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഉയർന്ന ഊർജ ഉപഭോഗമുള്ളവയും, പരിമിതമായ പ്രവർത്തന കാലയളവും, കുറഞ്ഞ വിശ്വാസ്യതയുമുള്ള ഉപകരണങ്ങളാണ്. കൂടാതെ ചില ഖര അർദ്ധചാലകങ്ങൾക്കും അവയുടെ സന്ധികൾക്കും (junction) ചാർജ് വാഹകരുടെ പ്രവാഹത്തിന്റെ അളവിനെയും ദിശയെയും നിയന്ത്രിക്കാനാകും എന്ന് 1930ൽ മനസ്സിലാക്കിയതോടെ വാക്വം ട്യൂബുകൾ പിന്തള്ളപ്പെടുകയും ആധുനിക ഖര അർദ്ധചാലക ഇലക്ട്രോണിക്സിന്റെ വളർച്ചയ്ക്ക് തുടക്കമാകുകയും ചെയ്തു. പ്രകാശം, താപം അല്ലെങ്കിൽ ചെറിയ വോൾട്ടേജ് ഉപയോഗിച്ച് അർദ്ധചാലകങ്ങളിലെ ചാർജ് വാഹകരുടെ എണ്ണം വ്യത്യാസപ്പെടുത്താൻ കഴിയും. അർദ്ധചാലകങ്ങളിൽ ചാർജ് വാഹകരുടെ വിതരണം, ഒഴുക്ക് എന്നിവ അവയ്ക്കുള്ളിൽ തന്നെ നടക്കുന്നു. എന്നാൽ വാക്വം ട്യൂബിൽ ചൂടാക്കിയ കാഥോഡിൽ നിന്ന് ഉൽസർജിക്കപ്പെടുന്ന ഇലക്ട്രോണുകൾ ശൂന്യതയിൽ കൂടി പ്രവഹിപ്പിച്ചാണ് പ്രവർത്തനം സാധ്യമാക്കുന്നത്. അതിനാൽ ബാഹ്യതാപനം, വായു നീക്കം ചെയ്യപ്പെട്ട വലിയ ഇടം എന്നിവ

അർദ്ധചാലക ഉപകരണങ്ങൾക്ക് ആവശ്യമില്ല. ഖര അർദ്ധചാലകങ്ങൾ ചെറുതും, കുറഞ്ഞ ഊർജ ഉപഭോഗമുള്ളവയും, കുറഞ്ഞ വോൾട്ടതയിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്നവയും, ദീർഘകാല പ്രവർത്തന ശേഷിയും, കൂടിയ വിശ്വാസ്യതയുമുള്ളവയാണ്. വാക്വം ട്യൂബുകളുടെ പ്രവർത്തന തത്ത്വത്തെ അടിസ്ഥാനപ്പെടുത്തി പ്രവർത്തിച്ചിരുന്ന കാഥോഡ് റേ ട്യൂബുകൾക്ക് പകരം ഇന്ന് ടെലിവിഷൻ, കമ്പ്യൂട്ടർ തുടങ്ങിയവയിൽ ദ്രവ ക്രിസ്റ്റൽ ഡിസ്പ്ലെ മോണിറ്ററുകളും അനുബന്ധ ഇലക്ട്രോണിക്സ് ഉപകരണങ്ങളും സ്ഥാനം പിടിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു. അർദ്ധചാലക ഉപകരണങ്ങളുടെ ഉപയോഗം പൂർണ്ണമായും മനസ്സിലാക്കുന്നതിന് വളരെ മുമ്പ് തന്നെ പ്രകൃതിദത്തമായ ഗലീന (PbS) ക്രിസ്റ്റലിൽ ലോഹമുന ഘടിപ്പിച്ച് റേഡിയോ തരംഗങ്ങളുടെ ഡിറ്റക്ഷനിൽ ഉപയോഗിച്ചിരുന്നു.

അർദ്ധചാലക ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിന്റെ അടിസ്ഥാന ആശയങ്ങളും, അർദ്ധചാലക ഉപകരണങ്ങളായ ഡയോഡുകൾ (2 ഇലക്ട്രോഡുകൾ ഉള്ള ഉപകരണം), ട്രാൻസിസ്റ്ററുകൾ (3 ഇലക്ട്രോഡുകൾ ഉള്ള ഉപകരണം) എന്നിവയുടെ അടിസ്ഥാന പ്രവർത്തനങ്ങളും തുടർന്നു വരുന്ന ഭാഗങ്ങളിൽ നമ്മൾ പരിചയപ്പെടുന്നു. അതുപോലെ ഈ ഉപകരണങ്ങളുടെ പ്രായോഗിക പ്രവർത്തനങ്ങൾ ഏതാനും ചില സെർക്കീട്ടുകൾ എന്നിവ കൂടി ഇവിടെ വിവരിക്കുന്നു.

14.2 ലോഹങ്ങൾ, ചാലകങ്ങൾ, അർദ്ധചാലകങ്ങൾ എന്നിവയുടെ വർഗ്ഗീകരണം (Classification of Metals, Conductors and Semiconductors

ചാലകതയുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ

വൈദ്യുതചാലകതയുടെ ആപേക്ഷിക മൂല്യത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ അല്ലെങ്കിൽ പ്രതിരോധകതയുടെ $\left(\rho = \frac{1}{\sigma}\right)$ യുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ഖരവസ്തുക്കളെ താഴെ പറയുന്ന പ്രകാരം വർഗ്ഗീകരിച്ചിരിക്കുന്നു.

(i) **ലോഹങ്ങൾ :** വളരെ കുറഞ്ഞ പ്രതിരോധകതയോ അല്ലെങ്കിൽ വളരെ ഉയർന്ന ചാലകതയോ ഉള്ളവയാണ്. $\rho \sim 10^{-2} - 10^{-8}\ \Omega\,m$
$\sigma \sim 10^{2} - 10^{8}\ S\,m^{-1}$

(ii) **അർദ്ധചാലകങ്ങൾ** : പ്രതിരോധകത അല്ലെങ്കിൽ ചാലകത ലോഹങ്ങൾക്കും ഇൻസുലേറ്ററുകൾക്കും ഇടയിൽ $\rho \sim 10^{-5} - 10^{6}\ \Omega\,m$
$\sigma \sim 10^{5} - 10^{-6}\ S\,m^{-1}$

(iii) **ഇൻസുലേറ്ററുകൾ** : ഇവയ്ക്ക് ഉയർന്ന പ്രതിരോധകത അല്ലെങ്കിൽ താഴ്ന്ന ചാലകതയാണുള്ളത്. $\rho \sim 10^{11} - 10^{19}\ \Omega\,m$
$\sigma \sim 10^{-11} - 10^{-19}\ S\,m^{-1}$

മുകളിൽ കൊടുത്തിട്ടുള്ള ρ, σ എന്നിവയുടെ വിലകൾ അവയുടെ ഏകദേശ പരിമാണത്തെ (order of magnitude) സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഇവയുടെ വിലകൾ ഈ പരിധിക്കുപുറത്തുമാകാം. ലോഹങ്ങൾ, ഇൻസുലേറ്ററുകൾ, അർദ്ധചാലകങ്ങൾ എന്നിവയെ പരസ്പരം വേർതിരിക്കാനുള്ള മാനദണ്ഡം അവയുടെ ആപേക്ഷിക പ്രതിരോധകത മാത്രമല്ല മറിച്ച് മറ്റ് ചില വ്യത്യാസങ്ങൾ കൂടിയുണ്ടെന്ന് ഈ അധ്യായത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോൾ നമുക്ക് മനസ്സിലാക്കാം.

ഈ അധ്യായത്തിൽ നമ്മുടെ ശ്രദ്ധ അർദ്ധചാലകങ്ങളുടെ പഠനത്തിലാണ്. അവയെ താഴെ പറയുന്നവിധത്തിൽ തരംതിരിച്ചിരിക്കുന്നു.

(i) മൂലക അർദ്ധചാലകങ്ങൾ : സിലിക്കണും ജർമേനിയവും

(ii) സംയുക്ത അർദ്ധചാലകങ്ങൾ :

ഉദാഹരണങ്ങൾ :

- അകാർബണിക സംയുക്തങ്ങൾ : CdS, GaAs, CdSe, InP, etc.
- കാർബണിക സംയുക്തങ്ങൾ : ആൻത്രസീൻ, ഡോപ് ചെയ്യപ്പെട്ട താലോ സയനീൻ മുതലായവ
- കാർബണിക പോളിമറുകൾ : പോളിപൈറോൾ, പോളി അനിലിൻ, പോളി തിയോഫിൻ

നിലവിൽ ലഭ്യമായ മിക്ക അർദ്ധചാലക ഉപകരണങ്ങളും മൂലക അർദ്ധചാലകങ്ങളായ

സിലിക്കണോ ജർമ്മേനിയമോ അല്ലെങ്കിൽ അകാർബണിക സംയുക്തങ്ങളായ അർദ്ധചാലകങ്ങളോ അടിസ്ഥാനമാക്കിയവയാണ്. എന്നാൽ 1990 ന് ശേഷം കാർബണിക അർദ്ധചാലകങ്ങൾ, അർദ്ധചാലക പോളിമറുകൾ എന്നിവ കൊണ്ടുള്ള ചില അർദ്ധചാലക ഉപകരണങ്ങളും വികസിപ്പിച്ചു. ഇത് പോളിമർ ഇലക്ട്രോണിക്സ്, തൻമാത്രാ ഇലക്ട്രോണിക്സ് (molecular electronics) തുടങ്ങിയ നൂതന സാങ്കേതികതയുടെ ആവിർഭാവത്തെ കുറിക്കുന്നു. ഈ അധ്യായത്തിൽ നാം അകാർബണിക അർദ്ധചാലകങ്ങളെക്കുറിച്ച്, പ്രത്യേകിച്ച് മൂലക അർദ്ധചാലകങ്ങളായ ജർമ്മേനിയം, സിലിക്കൺ എന്നിവയുടെ പഠനത്തിലേക്ക് നമ്മുടെ ശ്രദ്ധ പരിമിതപ്പെടുത്തുന്നു.

എനർജി ബാൻഡുകളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ (On the basis of energy bands)

ബോർ ആറ്റം മാതൃക അനുസരിച്ച് ഒറ്റപ്പെട്ട ഒരു ആറ്റത്തിന്റെ കാര്യത്തിൽ ഓരോ ഇലക്ട്രോണിന്റെയും ഊർജം അതിന്റെ പ്രദക്ഷിണപഥത്തിന് അനുസൃതമായിരിക്കും. അതായത് ഒരു ഓർബിറ്റിലെ എല്ലാ ഇലക്ട്രോണുകൾക്കും ഒരു നിശ്ചിത ഊർജം ഉണ്ടായിരിക്കും. എന്നാൽ ആറ്റങ്ങൾ ചേർന്ന് ഖരവസ്തുക്കൾ രൂപപ്പെടുമ്പോൾ, ഈ ആറ്റങ്ങൾ വളരെ അടുത്തടുത്തായി സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നു. തന്മൂലം അടുത്തടുത്ത ആറ്റങ്ങളിലെ ബാഹ്യതമഷെല്ലുകളിലെ (outermost shells) ഇലക്ട്രോണുകൾ വളരെ അടുത്തു വരികയും ചിലപ്പോൾ കൂടിക്കലരുകപോലും ചെയ്യും. അതിനാൽ ഒറ്റപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന ഒരു ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ചലനത്തിൽ നിന്നും തികച്ചും ഭിന്നമായ ചലനമായിരിക്കും ഒരു ഖര വസ്തുവിലെ ഓരോ ഇലക്ട്രോണിനുമുണ്ടാവുക..

ഒരു ക്രിസ്റ്റലിൽ, ഓരോ ഇലക്ട്രോണിനും ഓരോ നിശ്ചിത സ്ഥാനമാണുള്ളത്. അതുകൊണ്ടുതന്നെ ഒരേ ചാർജ് വിന്യാസത്താൽ ചുറ്റപ്പെട്ടു സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന രണ്ടു ഇലക്ട്രോണുകളെ ഒരു ക്രിസ്റ്റലിൽ കണ്ടെത്താനാവില്ല. ഇങ്ങനെയുള്ള എല്ലാ ഇലക്ട്രോണുകളുടെയും വ്യത്യസ്ത ഊർജനിലകൾ ചേർന്ന് രൂപപ്പെടുന്ന തുടർച്ചയായ ഊർജ വിന്യാസമാണ് എനർജി ബാന്റുകൾ. ഒരു പദാർഥത്തിലെ എല്ലാ വാലൻസ് ഇലക്ട്രോണുകളുടെയും ഊർജനിലകൾ കൂടി ചേർന്നുണ്ടാകുന്ന എനർജി ബാന്റിനെ വാലൻസ് ബാന്റ് (valence band) എന്നു പറയുന്നു. വാലൻസ് ബാൻറ്റിനേക്കാൾ ഉയർന്ന ഊർജമുള്ള എനർജി ബാന്റിനെ കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റ് (conduction band) എന്നു പറയുന്നു. ബാഹ്യമായി ഊർജം നൽകുന്നില്ലെങ്കിൽ ഒരു പദാർഥത്തിലെ എല്ലാ വാലൻസ് ഇലക്ട്രോണുകളും വാലൻസ് ബാന്റിൽ തന്നെ നിലനിൽക്കും. കണ്ടക്ഷൻബാൻറ്റിലെ താഴ്ന്ന ഊർജനിലകൾ വാലൻസ് ബാന്റിലെ ഏറ്റവും ഉയർന്ന ഊർജനിലകളേക്കാൾ താഴെയാണെങ്കിൽ, വാലൻസ് ബാന്റിലെ ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് നിഷ്പ്രയാസം കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റിലേക്ക് കടക്കുവാൻ കഴിയും. സാധാരണ സാഹചര്യങ്ങളിൽ കണ്ടക്ഷൻബാൻറ്റ് ശൂന്യമായിരിക്കും. എന്നാൽ കണ്ടക്ഷൻബാന്റും വാലൻസ്ബാന്റും ഭാഗികമായി കൂടികലർന്നിരിക്കുമ്പോൾ വാലൻസ്ബാന്റിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് സ്വതന്ത്രമായി കണ്ടൻക്ഷൻ ബാൻറിലേക്ക് സഞ്ചരിക്കാൻ കഴിയും. ഇതാണ് ലോഹീയ ചാലകങ്ങളുടെ ചാലകതയ്ക്ക് കാരണം.

കണ്ടക്ഷൻ ബാൻറിനും വാലൻസ് ബാന്റിനും ഇടയിൽ ഊർജ വിടവ് (energy gap) ഉള്ള പദാർഥങ്ങളിൽ, വാലൻസ് ബാന്റിലെ ഇലക്ട്രോണുകൾ എല്ലാം തന്നെ ദൃഢ ബന്ധിതമായിരിക്കും. അതിനാൽ ഇത്തരം പദാർഥങ്ങളിൽ കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റിൽ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾ ലഭ്യമല്ല. ഇങ്ങനെയുള്ള പദാർഥങ്ങളാണ് ഇൻസുലേറ്ററുകൾ. എന്നാൽ വാലൻസ് ഇലക്ട്രോണുകളിൽ ചിലവ ഊർജവിടവിനെ മറികടക്കാനാവശ്യമായ ഊർജം ബാഹ്യസ്രോതസുകളിൽ നിന്നു നേടുകയും അവ കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റിലേക്ക് കടക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. തൽഫലമായി വാലൻസ് ബാന്റിൽ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ അഭാവം സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുകയും, അതുവഴി മറ്റ് വാലൻസ് ഇലക്ട്രോണുകൾ ഇവിടേക്കു നീങ്ങുവാനുള്ള സാധ്യത രൂപപ്പെടുകയും ചെയ്യും. അങ്ങനെ കണ്ടക്ഷൻ ബാൻറിലെ ഇലക്ട്രോണുകൾ മൂലവും വാലൻസ് ബാൻറിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ അഭാവം മൂലവും ചാലകത വർധിക്കുന്നു.

N ആറ്റങ്ങളുള്ള ഒരു സിലിക്കൺ (Silicon) അല്ലെങ്കിൽ ജർമ്മേനിയം (Germanium) ക്രിസ്റ്റലിൽ എന്താണ് സംഭവിക്കുന്നതെന്ന് പരിശോധിക്കാം. സിലിക്കണിന്റെ ബാഹ്യതമഷെൽ മൂന്നാമത്തെ ഓർബിറ്റും ($n = 3$), ജർമ്മേനിയത്തിന്റെ ബാഹ്യതമ ഷെൽ 4-ാമത്തെ ഓർബിറ്റുമാണ് ($n = 4$). ഓരോ ആറ്റത്തിന്റെയും ബാഹ്യതമഷെല്ലിൽ 4 ഇലക്ട്രോണുകൾ വീതമാണ് ഉള്ളത്. (രണ്ട് s ഇലക്ട്രോണുകളും രണ്ട് p ഇലക്ട്രോണുകളും), അതിനാൽ

ഈ ക്രിസ്റ്റലിലെ ആകെ ബാഹ്യതമ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം 4N ആയിരിക്കും. ഓരോ ആറ്റത്തിന്റെയും ബാഹ്യതമഷെല്ലിലെ ആകെ സാധ്യമായ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം 8(രണ്ട് s ഇലക്ട്രോണുകളും ആറ് p ഇലക്ട്രോണുകളും) ആണ്. അതിനാൽ സിലിക്കണിലെ 4N ബാഹ്യതമ ഇലക്ട്രോണുകൾക്കായി 8N ഊർജനിലകൾ ഉണ്ട്.

ഖര പദാർത്ഥങ്ങളിലെ ബാന്റ് സിദ്ധാന്തം (Band theory of Solicds)

N ആറ്റങ്ങളുള്ള സിലിക്കൺ അല്ലെങ്കിൽ ജർമേനിയം ക്രിസ്റ്റൽ പരിഗണിക്കുക. ഓരോ ആറ്റത്തിലെയും വ്യത്യസ്ത ഓർബിറ്റുകളിലെ ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് വ്യത്യസ്ത നിശ്ചിത (Discrete) ഊർജമാണ് ഉള്ളത്. ഈ ആറ്റങ്ങൾ ഒറ്റപ്പെട്ടതാണെങ്കിൽ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജം തുല്യമായിരിക്കും. (അതായത് ആറ്റങ്ങൾ വളരെ അകലത്തിലാണെങ്കിൽ) എന്നാൽ ഒരു ക്രിസ്റ്റലിൽ ഈ ആറ്റങ്ങൾ വളരെ അടുത്താണ് സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നത്. അതിനാൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ പരസ്പരവും തൊട്ടടുത്ത ന്യൂക്ലിയസുമായും അന്യോന്യം പ്രവർത്തിക്കുന്നു. ഈ പരസ്പര പ്രവർത്തനം ഏറ്റവും പ്രകടമാകുന്നത് ബാഹ്യ ഓർബിറ്റിലെ ഇലക്ട്രോണുകളിലാണ്. എന്നാൽ ന്യൂക്ലിയസിന്റെയോ, മറ്റ് ഓർബിറ്റുകളിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെയോ ഊർജം മാറ്റമില്ലാതെ നിലനിൽക്കുന്നു. സിലിക്കൺ അല്ലെങ്കിൽ ജർമേനിയം ക്രിസ്റ്റലിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജം മനസ്സിലാക്കുന്നതിന് ബാഹ്യഓർബിറ്റിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജവ്യതിയാനം മാത്രം പരിഗണിച്ചാൽ മതി. സിലിക്കണിൽ ബാഹ്യഓർബിറ്റ് 3-ാമത്തേതും ജർമേനിയത്തിൽ 4-ാമത്തേതും ആണ്. ബാഹ്യ ഓർബിറ്റിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ എണ്ണം 4 ആകുന്നു. അതിനാൽ ഒരു ക്രിസ്റ്റലിലെ ബാഹ്യതമ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം 4 N ആണ്. (ആകെ N ആറ്റങ്ങൾ). എന്നാൽ ഒരാറ്റത്തിലെ ബാഹ്യ ഓർബിറ്റുകൾക്ക് ഉൾക്കൊള്ളാൻ കഴിയുന്ന പരമാവധി ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം 8 ആണ് (2 s + 6 p ഇലക്ട്രോണുകൾ) അതിനാൽ ഒരു ക്രിസ്റ്റലിലെ ഇലക്ട്രോണുകളിൽ 2 N ഇലക്ട്രോണുകൾ 2 N s - ഊർജനിലകളിലും (ഓർബിറ്റൽ ക്വാണ്ടം നമ്പർ l=0) ബാക്കി 2 N ഇലക്ട്രോണുകൾ ലഭ്യമായ 6 N p ഊർജനിലകളിലുമാണ്. അതിനാൽ ചിത്രത്തിൽ വലത്തേയറ്റം കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ ചില p ഊർജനിലകൾ ശൂന്യമാണ്. ഒറ്റപ്പെട്ട മൂലകം അല്ലെങ്കിൽ വളരെ അകന്നിരിക്കുന്ന ആറ്റങ്ങളുടെ അവസ്ഥയിതാണ് (ചിത്രത്തിലെ A മേഖല). ഈ ആറ്റങ്ങൾ അടുത്തടുത്തു ക്രമീകരിക്കപ്പെടുന്ന ഒരു ഖരപദാർഥം രൂപം കൊള്ളുന്നുവെന്നിരിക്കട്ടെ. വ്യത്യസ്ത ആറ്റങ്ങളിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ പരസ്പരപ്രവർത്തനം കാരണമായി ബാഹ്യതമഓർബിറ്റിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജത്തിന് വ്യത്യാസം ഉണ്ടാകുന്നു. ഒറ്റപ്പെട്ട ആറ്റങ്ങളിൽ സമാന ഊർജം ഉണ്ടായിരുന്ന l = 1 ലെ (pഷെല്ലിലെ) 6N ഊർജനിലകൾ വ്യാപിക്കുകയും ഊർജബാന്റ് രൂപം കൊള്ളുകയും ചെയ്യുന്നു. (ചിത്രത്തിലെ B എന്ന മേഖല) ഒറ്റപ്പെട്ട ആറ്റങ്ങളിൽ സമാന ഊർജം ഉണ്ടായിരുന്ന l = 0 ലെ (sഷെല്ലിലെ) 2N ഊർജനിലകൾ വിഭജിച്ച് 2-ാമത്തെ എനർജി ബാന്റ് ഉണ്ടാകുന്നു. ആദ്യത്തെ എനർജിബാന്റുമായി ഊർജ വിടവ് സൃഷ്ടിച്ചു കൊണ്ടാണ് ഇത്തരം എനർജി ബാന്റ് രൂപപ്പെടുന്നത് (ചിത്രത്തിലെ B ഭാഗം ശ്രദ്ധിക്കുക).

വീണ്ടും അകലം കുറച്ചാൽ ഈ ബാന്റുകൾ സംയോജിക്കുന്ന ഒരു മേഖല രൂപപ്പെടും. ഇതുവഴി ഉയർന്ന അറ്റോമിക നില (2N Pനിലകൾ) യിൽ നിന്ന് വിഭജിച്ച താഴ്ന്ന ഊർജനിലകൾ താഴ്ന്ന അറ്റോമിക നിലയിൽ നിന്ന് വിഭജിച്ച ഉയർന്ന ഊർജനിലകൾക്ക് താഴെയായി രൂപപ്പെടും. ഊർജനിലകൾ പരസ്പരം കൂടിക്കലർന്നതിനാൽ ഇവിടെ ഊർജവിടവ് നിലനിൽക്കുന്നില്ല (ചിത്രത്തിലെ C മേഖല).

വീണ്ടും ആറ്റങ്ങൾക്കിടയിലെ അകലം കുറച്ചാൽ, ഊർജബാന്റുകൾ വീണ്ടും വിഭജിക്കുകയും ഊർജവിടവ് E_g രൂപം കൊള്ളുകയും ചെയ്യുന്നു. (D മേഖല). ആകെ ലഭ്യമായ 8 N ഊർജനിലകൾ ഈ രണ്ട് ബാന്റുകൾക്കിടയിൽ തുല്യമായി വിഭജിക്കപ്പെടുന്നു. (4 N നിലകൾ വീതം ഉയർന്നതും താഴ്ന്നതുമായ ഊർജനിലകളിൽ). ഇവിടെ പ്രധാനപ്പെട്ട ഒരു കാര്യം വാലൻസ് ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണത്തിന് തുല്യമായ (4 N) അത്രയും തന്നെ ഊർജനിലകൾ (4 N) താഴത്തെ ബാന്റിൽ ലഭ്യമാണ് എന്നുള്ളതാണ്.

അതുകൊണ്ട് താഴ്ന്ന ഊർജബാന്റ് (വാലൻസ് ബാന്റ്) പൂർണ്ണമായി നിറഞ്ഞതും ഉയർന്ന ഊർജബാന്റ് പൂർണ്ണമായും ശൂന്യവുമാണ്. ഇങ്ങനെയുണ്ടാകുന്ന ഉയർന്ന ഊർജബാന്റിനെ കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റ് എന്ന് വിളിക്കുന്നു.

ഒരു ക്രിസ്റ്റലിലെ ആറ്റങ്ങൾക്കിടയിലെ അകലത്തിന് അനുസൃതമായി ഈ 8N വിഭിന്ന ഊർജ നിലകൾ ചേർന്ന് ഒരു തുടർച്ചയായുള്ള ബാൻറോ (അവിഛിന്ന) അല്ലെങ്കിൽ ചെറിയ ഊർജ ബാൻറുകളുടെ കൂട്ടമോ രൂപപ്പെടുന്നു. സിലിക്കൺ അല്ലെങ്കിൽ ജെർമേനിയം ആറ്റങ്ങൾക്കിടയിലെ അകലം കുറച്ച് ഒരു ക്രിസ്റ്റൽ ലാറ്റിസിലെ ആറ്റങ്ങൾക്കിടയിലെ യഥാർഥ അകലത്തിന് തുല്യമാകുമ്പോൾ 8N ഊർജനിലകളുള്ള ബാന്റ് വിഘടിക്കുകയും പൂർണ്ണമായ ഇലക്ട്രോണുകൾ നിറഞ്ഞ 4N ഊർജനിലകളുടെ ബാന്റുകളും ശൂന്യമായ 4N ഊർജനിലകളുടെ ബാന്റുകളും ഉണ്ടാകുകയും ഇവ തമ്മിൽ ഒരു എനർജി ഗ്യാപ് പ്രത്യക്ഷപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു.

ചിത്രം 14.1 0Kൽ ഒരു അർദ്ധചാലകത്തിലെ ഊർജബാന്റ് സ്ഥാനങ്ങൾ. കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റ് എന്ന ഉയർന്ന ബാന്റിൽ അനന്തമായ എണ്ണം അടുത്തടുത്ത ഊർജാവസ്ഥകൾ ഉണ്ട്. താഴ്ന്ന വാലൻസ് ബാന്റിൽ അടുത്തടുത്ത പൂർണ്ണമായി നിറഞ്ഞ ഊർജാവസ്ഥകൾ ഉണ്ട്.

താപനില കേവല പൂജ്യമായിരിക്കുമ്പോൾ താഴ്ന്ന ഊർജമുള്ള 4N വാലൻസ് ഇലക്ട്രോണുകൾ കൊണ്ട് പൂർണ്ണമായും നിറഞ്ഞ എനർജി ബാന്റിനെ വാലൻസ് ബാന്റ് എന്നും പൂർണ്ണമായി ശൂന്യമായ ഊർജനിലകളുള്ള ഉയർന്ന എനർജി ബാന്റിനെ കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റ് എന്നും വിളിക്കുന്നു.

കണ്ടക്ഷൻബാൻറിലെ താഴ്ന്ന ഊർജനിലയെ E_c എന്നും വാലൻസ് ബാൻറിലെ ഉയർന്ന ഊർജ നിലയെ E_v എന്നും ചിത്രത്തിൽ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. ചിത്രം (14.1) ലേതുപോലെ E_c ക്ക് മുകളിലും E_v ക്ക് താഴെയുമായി ധാരാളം അടുത്തടുത്ത ഊർജനിലകൾ കാണാം. Fig. (14.1)

വാലൻബാന്റിന്റെ മേൽതട്ടിനും കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റിന്റെ താഴെയുമായി കാണപ്പെടുന്ന ഊർജവിടവിനെ എനർജി ബാൻഡ് ഗ്യാപ് (E_g) എന്ന് വിളിക്കുന്നു. പദാർഥങ്ങൾക്ക് അനുസൃതമായി ഈ വിടവ് വലുതോ, ചെറുതോ, പൂജ്യമോ ആകാം. ഈ വ്യത്യസ്ത സാഹചര്യങ്ങൾ ചിത്രം 14.2 ൽ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു.

കേസ് I

ചാലക പദാർത്ഥങ്ങളിലെ എനർജി ബാൻറ് ചിത്രം 14.2 (a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ലോഹങ്ങളിൽ കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റ് ഭാഗികമായി നിറഞ്ഞതും വാലൻസ് ബാന്റ് ഭാഗിക

ചിത്രം 14.2 (a) ചാലകങ്ങൾ (b) ഇൻസുലേറ്ററുകൾ (c) അർദ്ധചാലകങ്ങൾ എന്നിവയിലെ ഊർജബാന്റുകളുടെ വ്യത്യാസം

മായി ശൂന്യവുമായിരിക്കും അല്ലെങ്കിൽ വാലൻസ് ബാന്റും കണക്ഷൻ ബാന്റും കൂടിക്കലർന്നിരിക്കും. ബാന്റുകൾ കൂടിക്കലർന്നിരിക്കുന്ന സമയത്ത് വാലൻസ് ബാന്റിലെ ഇലക്ട്രോണുകൾ സ്വതന്ത്രമായി കണ്ടക്ഷൻ ബാൻറിലേക്ക് സഞ്ചരിക്കുന്നു. ഈ അവസ്ഥയിൽ വൈദ്യുത വാഹകരായി ധാരാളം ഇലക്ട്രോണുകൾ ലഭ്യമാണ്. വാലൻസ് ബാന്റ് ഭാഗികമായി ഒഴിഞ്ഞ് കിടന്നാൽ ഇതിലെ താഴ്ന്ന ഊർജനിലകളിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉയർന്ന ഊർജ നിലകളിലേക്ക് സഞ്ചരിച്ച് ചാലനം സാധ്യമാകുന്നു. അതിനാൽ ഇത്തരം പദാർഥങ്ങൾക്ക് പ്രതിരോധം വളരെ കുറവും ചാലകത കൂടുതലും ആയിരിക്കും.

കേസ് II

ഇൻസുലേറ്ററുകളുടെ എനർജി ബാൻറ് ചിത്രം 14.2 (b) ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇവിടെ വലിയ ഒരു എനർജി ഗ്യാപ്പ് (E_g) നിലനിൽക്കുന്നു ($E_g >> 3eV$). കണ്ടക്ഷൻ ബാൻറിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഒന്നും തന്നെ ഇല്ല. അതിനാൽ വൈദ്യുതചാലനം സാധ്യമല്ല. താപീയ ഉത്തേജനം മൂലം ഉത്തേജിക്കപ്പെടുന്ന വാലൻസ് ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് വാലൻസ് ബാൻറിൽ നിന്ന് കണ്ടക്ഷൻ ബാൻഡിൽ എത്താൻ കഴിയാത്ത വിധം വളരെ ഉയർന്ന എനർജി ഗ്യാപ്പ് ഇവയ്ക്കുണ്ട്.

കേസ് III

അർധചാലകങ്ങളുടെ എനർജി ബാന്റ് ചിത്രം 14.2 (c) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇവയ്ക്ക് നിശ്ചിതവും വളരെ ചെറുതുമായ ബാൻഡ്ഗ്യാപ് നിലനിൽക്കുന്നു. കുറഞ്ഞ ബാൻഡ് ഗ്യാപ്പ് മൂലം, സാധാരണ താപനിലയിൽ പോലും ചില വാലൻസ് ഇലക്ട്രോണുകൾ മതിയായ ഊർജം കൈവരിച്ച് കണ്ടക്ഷൻ ബാൻറിൽ എത്തുന്നു. ഈ ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് (വളരെ കുറവ് എണ്ണം) കണ്ടക്ഷൻ ബാൻറിൽ കൂടി സഞ്ചരിക്കാനാകും. അതിനാൽ അർദ്ധചാലകങ്ങളുടെ പ്രതിരോധം ഇൻസുലേറ്ററുകളേക്കാൾ കുറവാണ്.

14.3. ഇൻട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകങ്ങൾ (Intrinsic Semiconductors)

സാധാരണ അർദ്ധചാലകങ്ങളായ ജെർമേനിയം, സിലിക്കൺ എന്നിവ നമുക്കു പരിഗണിക്കാം. അവയുടെ ലാറ്റിസ് ഘടന 14.3 ൽ നൽകിയിരിക്കുന്നു. ഈ ഘടന ഡയമണ്ട് സമാനഘടന എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ക്രിസ്റ്റൽ രൂപത്തിൽ ഇവയിലെ ഓരോ ആറ്റവും തൊട്ടടുത്തുള്ള നാലു ആറ്റങ്ങളാൽ ചുറ്റപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. സിലിക്കണിനും ജെർമേനിയത്തിനും അവയുടെ ബാഹ്യതമഷെല്ലിൽ 4 ഇലക്ട്രോണുകൾ വീതമാണുള്ളത്. ഓരോ ആറ്റവും ബാഹ്യ ഇലക്ട്രോണുകളെ ചുറ്റിനുമുള്ള 4 ആറ്റങ്ങളുമായി പങ്കു വെക്കുകയും തിരിച്ച് അവയിൽ നിന്നും 4 ഇലക്ട്രോണുകൾ പങ്കു വെച്ച് സഹസംയോജകബന്ധനത്തിൽ (covalent bond) ഏർപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു.

ചിത്രം 14.3 കാർബൺ, സിലിക്കൺ അല്ലെങ്കിൽ ജർമേനിയത്തിന്റെ ത്രിമാന തല ഡയമണ്ട് സമാന ക്രിസ്റ്റൽ ഘടന. ഇവയുടെ ലാറ്റിസ് അകലം a യഥാക്രമം 3.56, 5.43, 5.66 A ആണ്.

ചിത്രം 14.3 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന സിലിക്കണിന്റെയും ജർമേനിയത്തിന്റെയും ദ്വിമാനതല ചിത്രീകരണം ചിത്രം 14.4ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. സഹസംയോജക ബന്ധനങ്ങൾ ഒന്നും വേർപ്പെട്ടിട്ടില്ലാത്ത ഒരു ചിത്രീകരണമാണിത്. ഈ സാഹചര്യം സംജാതമാകുന്നത് താഴ്ന്ന താപനിലയിൽ മാത്രമാണ്. താപനില കൂടുമ്പോൾ ഏതാനും ഇലക്ട്രോണുകൾ താപീയ ഊർജം സ്വീകരിക്കുകയും ബന്ധനങ്ങൾ വിഛേദിച്ച് സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകളായി മാറി ചാലകതക്കു കാരണമാകുകയും ചെയ്യും. താപീയ ഊർജം ഏതാനും ആറ്റങ്ങളെ ഫലപ്രദമായി അയോണീകരിക്കുകയും ബന്ധനത്തിൽ ഒരു ശൂന്യസ്ഥലം സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇത് ചിത്രം 14.5 (a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. തൽഫലമായി ആറ്റത്തിനൊരു പോസിറ്റീവ് ചാർജ് ലഭിക്കുന്നു. പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള ഈ ശൂന്യതയെ ഹോൾ (hole) എന്നു വിളിക്കുന്നു.

ഒരു ഇൻട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകത്തിൽ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം ഹോളുകളുടെ എണ്ണത്തിനു തുല്യമായിരിക്കും

$$n_e = n_h = n_i \qquad (14.1)$$

n_i ഇൻട്രിൻസിക് വാഹകഗാഢത (intrinsic carrier concentration)

n_e കണ്ഡക്ഷൻ ബാൻഡിലെ ഇലക്ട്രോൺ ഗാഢത

n_h വാലൻസ് ബാൻഡിലെ ഹോൾഗാഢത

ഇലക്ട്രോണുകളെ പോലെ ഹോളുകൾക്കും സഞ്ചരിക്കാൻ കഴിയുമെന്ന അതുല്യ സ്വഭാവ സവിശേഷത അർദ്ധചാലകങ്ങൾക്കുണ്ട്. ഒരു ഹോളിന്റെ ചലനം ചിത്രം 14.5 (b) യിൽ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. ചിത്രം 14.5 (a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത് പോലെ 1 എന്ന സ്ഥാനത്ത് ഒരു ഹോൾ ഉണ്ടെന്നിരിക്കട്ടെ. ഈ ചലനം ഉണ്ടാകുമ്പോൾ തന്നെ തൊട്ടടുത്ത സ്ഥാനം 2 ൽ സഹസംയോജക ബന്ധനത്തിലുള്ള ഒരു ഇലക്ട്രോൺ സ്ഥാനം 1 ലെ ഹോളിൽ എത്തിച്ചേരുന്നു. ഇവിടെ സ്ഥാനം 1 ൽ നിന്ന് 2 ലേക്കു ഹോൾ ചലിക്കുന്നതായി കരുതാം. സ്വതന്ത്രമായി നിൽക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണുകൾ ഹോളുകളുടെ ചലനത്തിൽ യാതൊരു പങ്കും വഹിക്കുന്നില്ല എന്ന് ശ്രദ്ധിക്കണം. ഒരു വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ സാന്നിധ്യത്തിൽ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾ ചാലക ഇലക്ട്രോണുകളെപ്പോലെ സഞ്ചരിക്കുകയും ഇലക്ട്രോൺ കറന്റിന് കാരണമാകുകയും ചെയ്യുന്നു. ക്രിസ്റ്റലിൽ എവിടെയെങ്കിലും ഒരു ശൂന്യമായ സഹസംയോജക ബന്ധനം ഉള്ളപ്പോൾ, ബന്ധിത ഇലക്ട്രോണുകളുടെ യഥാർഥ ചലനം വിശദീകരിക്കുവാനുള്ള അനുയോജ്യമായ ഒരു മാർഗ്ഗം മാത്രമാണ് ഹോളുകളുടെ ചലനം. ഒരു വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ പ്രഭാവത്തിൽ ഈ ഹോളുകൾ നെഗറ്റീവ് പൊട്ടൻഷ്യലിലേക്കു നീങ്ങുകയും ഹോൾ കറണ്ട് സംജാതമാകുകയും ചെയ്യുന്നു. അതായത് ആകെ കറണ്ട് I എന്നത് ഇലക്ട്രോൺ കറണ്ട് I_e യുടെയും ഹോൾ കറണ്ട് I_h ന്റെയും തുകയാണ്.

ചിത്രം 14.4 താഴ്ന്ന താപനിലയിൽ സഹസംയോജക ബന്ധനം കാണിക്കുന്ന Si അല്ലെങ്കിൽ Ge ഘടനയുടെ ദ്വിമാന ചിത്രീകരണം. +4 ചിഹ്നം സിലിക്കൺ അല്ലെങ്കിൽ ജെർമേനിയത്തിന്റെ കോറിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

$$I = I_e + I_h \qquad (14.2)$$

ചാലക ഇലക്ട്രോണുകളും, ഹോളുകളും രൂപം കൊള്ളുന്നതിനൊപ്പം തന്നെ ഇലക്ട്രോൺ ഹോൾ സംയോജനവും നടക്കുന്നു. സന്തുലിതാവസ്ഥയിൽ പുതിയതായി സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്ന ചാർജ് വാഹകരുടെ നിരക്ക് സംയോജിക്കപ്പെടുന്ന ചാർജ് വാഹകരുടെ നിരക്കിന് തുല്യമാകുന്നു. ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഹോളുകളുമായുള്ള കൂട്ടിമുട്ടൽ കാരണമാണ് ഈ സംയോജനം സാധ്യമാകുന്നത്.

ചിത്രം 14.5 (a) സ്ഥാനം 1 ൽ ഹോൾ രൂപം കൊള്ളുന്നതും മിതമായതാപനിലയിൽ താപീയ ഊർജം മൂലം ചാലക ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉണ്ടാകുന്നതുമായ മാതൃകാ ചിത്രീകരണം. (b) ഒരു ഹോളിന്റെ സാധ്യമായ താപീയ ചാലനത്തിന്റെ ലഘു ചിത്രീകരണം. താഴെ ഇടത്ത് വശത്തുള്ള സഹസംയോജക ബന്ധനത്തിൽ നിന്നും ഒരു ഇലക്ട്രോൺ (സ്ഥാനം 2) മുമ്പ് ഹോളിരുന്നസ്ഥാനം 1 ലേക്കു പോകുന്നു. തൽഫലമായി സ്ഥാനം 2 ൽ ഒരു ഹോൾ രൂപം കൊള്ളുന്നു. ഇത് ഹോളുകളുടെ സ്ഥാനം 1 ൽ നിന്ന് 2 ലേക്കുള്ള ചലനം സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

ചിത്രം 14.6 (a) $T = 0$ K ൽ ഒരു ഇൻട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകം ഇൻസുലേറ്ററിനെപ്പോലെ പെരുമാറുന്നു. (b) $T > 0$ K, താപീയ ഊർജം മൂലം 4 ഇലക്ട്രോൺ - ഹോൾ ജോടികൾ രൂപം കൊള്ളുന്നു.

ഇൻട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകങ്ങൾ T=0K ൽ ഇൻസുലേറ്ററുകളെപ്പോലെ പെരുമാറുന്നു. ഇത് ചിത്രം 14.6 (a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. എന്നാൽ ഉയർന്ന താപനിലയിൽ (T> 0K ൽ) താപീയ ഊർജം മൂലം വാലൻസ് ബാന്റിൽ നിന്നും ചില ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉത്തേജിപ്പിക്കപ്പെടുകയും അവ കണ്ടക്ഷൻ ബാൻറിലേക്ക് സഞ്ചരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. T>0K ൽ, താപീയ ഉത്തേജനം ലഭിച്ച ഇലക്ട്രോണുകളെ കൊണ്ട് കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റ് ഭാഗികമായി നിറയ്ക്കപ്പെടുന്നു. ഒരു ഇൻട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകത്തിന്റെ ഊർജ ബാന്റ് ചിത്രം 14.6 (b)ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇതിൽ കണ്ടക്ഷൻ ബാൻറിൽ ചില ഇലക്ട്രോണുകളെ കാണാം. ഇവ വാലൻസ് ബാൻഡിൽ നിന്ന് തുല്യ എണ്ണം ഹോളുകൾ അവിടെ സൃഷ്ടിച്ചു കൊണ്ട് വന്നവയാണ്.

ഉദാഹരണം 14.1

ഉദാഹരണം : 14.1 കാർബൺ, സിലിക്കൺ, ജെർമേനിയം ഇവയ്ക്ക് ഒരേ ലാറ്റിസ് ഘടനയാണുള്ളത്. ഇതിൽ കാർബൺ വിദ്യുത്രോധിയും, ജെർമേനിയവും, സിലിക്കണും അർദ്ധചാലകങ്ങളുമാണ്. എന്തുകൊണ്ട്?

കാർബൺ, സിലിക്കൺ, ജെർമേനിയം എന്നിവകളിലെ 4 ബന്ധന ഇലക്ട്രോണുകൾ യഥാക്രമം 2, 3, 4 ഓർബിറ്റുകളിലാണ് നിലനിൽക്കുന്നത്. ഈ ആറ്റങ്ങളിൽ നിന്ന് ഒരു ഇലക്ട്രോണിനെ പുറത്തെത്തിക്കാനുള്ള ഊർജം (അയോണീകരണ ഊർജം Eg) ഏറ്റവും കുറവ് ജെർമേനിയത്തിനും ഏറ്റവും കൂടുതൽ കാർബണിനും ആണ്. അതിനാൽ സിലിക്കണിലും, ജെർമേനിയത്തിലും ശ്രദ്ധേയമായ എണ്ണം ചാലക ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉണ്ട്. എന്നാൽ കാർബണിൽ ചാലക ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം തുലോം കുറവാണ്.

14.4 എക്സ്ട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകങ്ങൾ (Extrinsic semiconductors)

ഒരു ഇൻട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകത്തിന്റെ ചാലകത താപനിലയെ ആശ്രയിക്കുന്നു. സാധാരണ താപനിലയിൽ അവയുടെ ചാലകത വളരെ കുറവാണ്. അതിനാൽ പ്രധാനപ്പെട്ട ഇലക്ട്രോണിക് ഉപകരണങ്ങൾ ഒന്നും തന്നെ ഇവകൊണ്ട് നിർമിക്കാൻ കഴിയില്ല. അതിനാൽ തന്നെ ഇവയുടെ ചാലകത വർദ്ധിപ്പിക്കേണ്ടതുണ്ട്. അപദ്രവ്യങ്ങൾ (impurity) ഉപയോഗിച്ച് ഇത് ചെയ്യാൻ കഴിയും.

വളരെ ചെറിയ അളവിൽ അതായത് ദശലക്ഷത്തിൽ ഒരു ഭാഗം (parts per million, ppm) അനുയോജ്യമായ അപദ്രവ്യങ്ങൾ ഒരു ശുദ്ധഅർദ്ധ ചാലകത്തോട് ചേർന്നാൽ, അവയുടെ ചാലകത പല മടങ്ങ് വർദ്ധിക്കും. ഇത്തരം പദാർഥങ്ങളെ എക്സ്ട്രിൻസിക് സെമികണ്ടക്ടറുകൾ (extrinsic semiconductors) അഥവാ അപദ്രവ്യ അർദ്ധചാലകങ്ങൾ എന്നു പറയുന്നു. അനുയോജ്യമായ അപദ്രവ്യങ്ങൾ ചേർക്കുന്ന പ്രവർത്തനത്തെ ഡോപിംഗ് എന്നും അപദ്രവ്യ ആറ്റങ്ങളെ ഡോപ്പന്റുകൾ (dopants) എന്നും പറയുന്നു. ഈ അപദ്രവ്യങ്ങൾ യഥാർഥ അർദ്ധചാലക ക്രിസ്റ്റൽ ഘടനയിൽ യാതൊരു മാറ്റവും വരുത്താത്ത തരത്തിലുള്ളവയാണ്. ഇവ ക്രിസ്റ്റലിലെ യഥാർഥ അർദ്ധചാലക ആറ്റങ്ങളുടെ സ്ഥാനത്ത് നിലയുറപ്പിക്കുന്നു. അർദ്ധചാലക ആറ്റങ്ങളുടെ വലുപ്പവും, അപദ്രവ്യങ്ങളിലെ ആറ്റങ്ങളുടെ വലുപ്പവും ഏകദേശം സമാനമാവുമ്പോഴാണ് ഇത് സാധ്യമാകുന്നത്.

ഡോപ്പിംഗിനായി രണ്ടു തരം അപദ്രവ്യങ്ങൾ ഉപയോഗിക്കുന്നുണ്ട്. (1) പഞ്ച സംയോജക (penta valent) അപദ്രവ്യങ്ങളായ (5 സംയോജക ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉള്ള) ആഴ്സനിക് (As), ആന്റിമണി (Sb), ഫോസ്ഫറസ് (P) തുടങ്ങിയവ (2) ത്രിസംയോജക (trivalent) അപദ്രവ്യങ്ങളായ ഇൻഡിയം (In), ബോറോൺ (B), അലുമിനിയം (Al) തുടങ്ങിയവ.

ഡോപ്പിംഗ് എങ്ങനെയാണ് ഒരു അർദ്ധചാലകത്തിലെ ചാർജു വാഹകരുടെ എണ്ണത്തിലും അതിന്റെ ചാലകതയിലും വ്യത്യാസമുണ്ടാക്കുന്നതെന്ന് നമുക്കു ചർച്ച ചെയ്യാം. സിലിക്കണും ജെർമേനിയവും പിരിയോഡിക്ടേബിളിലെ 4-ാം ഗ്രൂപ്പ് മൂലകങ്ങളാണ് അതിനാൽ 5-ാം ഗ്രൂപ്പിലോ, 3-ാം ഗ്രൂപ്പിലോ വരുന്ന അപദ്രവ്യങ്ങളെ നമുക്ക് ഡോപിംഗിനായി തെരഞ്ഞെടുക്കാം. അപദ്രവ്യ ആറ്റത്തിന്റെ വലുപ്പം അർദ്ധചാലക ആറ്റത്തിന്റെ

വലുപ്പത്തിന് ഏകദേശം സമാനമായിരിക്കണം. പഞ്ചസംയോജക, ത്രിസംയോജക അപദ്രവ്യങ്ങൾ സിലിക്കൺ അല്ലെങ്കിൽ ജർമേനിയവുമായി ചേർക്കുമ്പോൾ അവ തികച്ചും വ്യത്യസ്തമായ അർദ്ധചാലകങ്ങളായി മാറുന്നു.

(i) n- ടൈപ്പ് അർദ്ധചാലകം (n type semiconductor)

സിലിക്കൺ അല്ലെങ്കിൽ ജർമേനിയത്തെ ഒരു പഞ്ച സംയോജക അപദ്രവ്യം കൊണ്ട് ഡോപ്പ് ചെയ്യുന്നു. ചിത്രം 14.7. സംയോജകത (valency) 5 ഉള്ള ഒരു അപദ്രവ്യ ആറ്റം സിലിക്കൺ ക്രിസ്റ്റലിലെ ഒരു സിലിക്കണാറ്റത്തിന്റെ സ്ഥാനത്ത് വരുന്നു. ഇതിലെ 4 ഇലക്ട്രോണുകൾ ചുറ്റുമുള്ള 4 സിലിക്കൺ ആറ്റങ്ങളുമായി സഹസംയോജക ബന്ധം (covalent bond) സ്ഥാപിക്കുന്നു. എന്നാൽ 5- ാമത്തെ ഇലക്ട്രോൺ മാതൃ ആറ്റവുമായി നേരിയ ബന്ധം നിലനിർത്തുന്നു. ബന്ധനത്തിൽ ഏർപ്പെടുന്ന 4 ഇലക്ട്രോണുകൾ മൂലക ആറ്റത്തിന്റെ ഭാഗമായി മാറുന്നു. ഈ 5-ാമത്തെ ഇലക്ട്രോണിനെ സ്വതന്ത്രമാക്കുന്നതിന് വളരെ കുറഞ്ഞ അയോണീകരണ ഊർജം മതിയാകും. അതിനാൽ ഈ ഇലക്ട്രോണിന് സാധാരണ താപനിലയിൽ തന്നെ സ്വതന്ത്രമായി അർദ്ധചാലക ക്രിസ്റ്റലിൽ കൂടി സഞ്ചരിക്കാൻ കഴിയും. ഈ ഇലക്ട്രോണിനെ അതിന്റെ ആറ്റത്തിൽ നിന്നു വേർപ്പെടുത്താൻ ജർമേനിയത്തിന് 0.01eV ഊർജവും സിലിക്കണിന് 0.05eV ഊർജവും മതി. ഇൻട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകങ്ങളിൽ സാധാരണ താപനിലയിൽ ഫോർബിഡൻ എനർജി ഗ്യാപ്പിനെ (forbidden energy gap) മറികടക്കാനാവശ്യമായ ഊർജത്തിന് സമാനമാണിത്. (ജർമേനിയത്തിന് 0.72eV യും സിലിക്കണ് 1.1eV യുമാണ് ഇത്). ഇവിടെ പെന്റാവാലന്റ് അപദ്രവ്യം ഒരു അധിക ഇലക്ട്രോണിനെ ചാലനത്തിനായി നൽകുന്നു. അതിനാൽ ഇത്തരം അപദ്രവ്യങ്ങളെ ദാതാവ് അപദ്രവ്യങ്ങൾ (donor impurities) എന്ന് വിളിക്കുന്നു. അപദ്രവ്യ ആറ്റങ്ങൾ മൂലം ചാലനത്തിനായി ലഭ്യമായ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം ഡോപിംഗ് നിലയെ (doping level) മാത്രമേ ആശ്രയിക്കുന്നുള്ളൂ. അല്ലാതെ താപനിലയിലുണ്ടാകുന്ന വർദ്ധനയെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. എന്നാൽ സിലിക്കൺ ആറ്റങ്ങളിൽ നിന്നുള്ള സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾ (തുല്യ എണ്ണം ഹോളും) താപനില വർദ്ധിക്കുന്നതിനുസരിച്ച് കൂടുന്നു.

ചിത്രം 14.7 (a) പെന്റാവാലന്റ് ഡോണർ ആറ്റങ്ങളെ ടെട്രാവാലന്റ് Si അല്ലെങ്കിൽ ജർമേനിയവുമായി ഡോപ്പ് ചെയ്ത് ലഭിക്കുന്ന n- ടൈപ്പ് അർദ്ധചാലകം (b) n-ടൈപ്പ് പദാർഥങ്ങളുടെ സാധാരണ ഉപയോഗിക്കുന്ന ചിത്രീകരണം. ഡോണർ ആറ്റങ്ങളുടെ സ്ഥിര കോറിനൊപ്പം അധിക പോസിറ്റീവ് ചാർജും അതുമായി ബന്ധപ്പെട്ട അധിക ഇലക്ട്രോണും ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു.

ഒരു ഡോപ്പ് ചെയ്യപ്പെട്ട അർദ്ധചാലകത്തിലെ ആകെ ചാലക ഇലക്ട്രോണുകൾ (n_e) ദാതാവ് ആറ്റങ്ങളുടെയും (donors) ഇൻട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലക ആറ്റങ്ങളുടെയും സംഭാവനയാണ്. എന്നാൽ ആകെ ഹോളുകൾ ഇൻട്രിൻസിക് സ്ട്രോസ്സിൽ നിന്ന് മാത്രമാണ്. ഇലക്ട്രോണുകളുടെ വർദ്ധനവിനൊപ്പം തന്നെ ഹോളുകളുടെ സംയോജന നിരക്കും കൂടുന്നു. ഹോളുകളുടെ എണ്ണം അതിനാൽ വീണ്ടും കുറയുന്നു. അതുകൊണ്ട് അനുയോജ്യമായി ഡോപ്പ് ചെയ്താൽ ചാലക ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം ഹോളുകളുടെ എണ്ണത്തേക്കാൾ വർദ്ധിപ്പിക്കാം. അതിനാൽ ഒരു പെന്റാവാലന്റ് അപദ്രവ്യം കൊണ്ട് ഡോപ്പ് ചെയ്ത ഒരു എക്സ്ട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകത്തിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ മെജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരും (majority charge carriers) ഹോളുകൾ മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരും (minority charge carriers) ആയിരിക്കും. ഇത്തരം അർദ്ധചാലകങ്ങളെ n -ടൈപ്പ് അർദ്ധചാലകം എന്ന് പറയുന്നു. n -ടൈപ്പ് അർദ്ധചാലകത്തിൽ

$$n_e >> n_h \qquad (14.3)$$

(ii) P - ടൈപ്പ് അർദ്ധചാലകം (P - type semiconductor)

അലുമിനിയം, ബോറോൺ തുടങ്ങിയ ത്രിസംയോജക അപദ്രവ്യങ്ങൾ കൊണ്ട് Si അഥവാ Ge ത്തെ ഡോപ്പ് ചെയ്യുമ്പോൾ എന്തു സംഭവിക്കും എന്ന് നോക്കാം.

(a)

(b)

ചിത്രം 14.8 (a) ട്രൈവാലന്റ് സ്വീകാരി ആറ്റം (In, Al, B etc.) ടെട്രാവാലന്റ് Si അല്ലെങ്കിൽ Ge ലാറ്റിസിൽ ഡോപ് ചെയ്തപ്പോൾ P-ടൈപ് ലഭിച്ച അർദ്ധചാലകം (b) സാധാരണ ഉപയോഗിക്കുന്ന p- ടൈപ് പദാർത്ഥങ്ങളുടെ ചിത്രീകരണം. സ്വീകാരി ആറ്റങ്ങളുടെ സ്ഥിരകോറിനൊപ്പം അധിക നെഗറ്റീവ് ചാർജും ബന്ധപ്പെട്ട ഹോളും ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു.

ഇങ്ങനെ ചേർക്കപ്പെടുന്ന അപദ്രവ്യ ആറ്റത്തിലെ സഹസംയോജക ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം ജെർമേനിയം അല്ലെങ്കിൽ സിലിക്കൺ ആറ്റത്തിലുള്ളതിനേക്കാൾ ഒന്നു കുറവാണ്. ഇത്തരം അപദ്രവ്യ ആറ്റങ്ങൾ സമീപസ്ഥങ്ങളായി നാല് ജെർമേനിയം അല്ലെങ്കിൽ സിലിക്കൺ ആറ്റങ്ങളുമായി സഹസംയോജന ബന്ധനത്തിൽ ഏർപ്പെടുമ്പോൾ നാലാമത്തെ സിലിക്കൺ/ജെർമനിയം ആറ്റവുമായി ബന്ധനത്തിലേർപ്പെടാൻ ആവശ്യമായ ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ കുറവുവരും. അതായത് നാലാമത്തെ സഹസംയോജന ബന്ധനത്തിൽ ചിത്രം (14.8) ൽ കാണുന്നതുപോലെ ഒരു ഹോൾ രൂപീകരിക്കപ്പെടും. ബന്ധനത്തിലെ ഇലക്ട്രോൺ കുറവ് നികത്തുവാനുള്ള ആറ്റത്തിന്റെ ശ്രമം വഴി സമീപത്തുള്ള സഹസംയോജന ബന്ധനത്തിൽ നിന്ന് ഒരു ഇലക്ട്രോണിനെ സ്വതന്ത്രമാക്കുകയും ഇങ്ങനെ സ്വതന്ത്രമായ ഇലക്ട്രോൺ ഉപയോഗിച്ച് തന്റെ സഹസംയോജന ബന്ധനത്തിലെ കുറവു നികത്തുവാൻ വേണ്ടി ഉപയോഗിക്കുകയും ചെയ്യും. ഇലക്ട്രോൺ കൈമാറ്റത്തിലൂടെ ഉണ്ടായ വിടവു നികത്തുവാൻ തൊട്ടടുത്ത ആറ്റത്തിൽ നിന്നും ഒരു ഇലക്ട്രോൺ അങ്ങോട്ടേക്ക് മാറ്റപ്പെടും. ഈ പ്രക്രിയ മറ്റു പല ആറ്റങ്ങളിലും ഇതുപോലെ നടക്കുന്നുണ്ടാവും. അതായത് ചാലനത്തിന് സജ്ജമായ ഹോളുകൾ അർദ്ധചാലക ക്രിസ്റ്റലിൽ ഈ പ്രവർത്തനം വഴി ഉണ്ടാകും എന്ന് ചുരുക്കം. ഇത്തരം ഇലക്ട്രോൺ കൈമാറ്റത്തിലൂടെ അപദ്രവ്യ ആറ്റങ്ങൾക്ക് നാലാമത്തെ ഇലക്ട്രോണുകൾ താത്കാലികമായി ലഭിക്കുന്നത് വഴി അവ നെഗറ്റീവ് ചാർജ് കൈവരിക്കും. തന്മൂലം P തരം ക്രിസ്റ്റലിലെ ഹോൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന അപദ്രവ്യ ആറ്റത്തെ ചിത്രം (14.8(b)) കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ നെഗറ്റീവ് ചാർജുള്ള ഒന്നായികണക്കാക്കാനാകും. ഇവിടെ ഓരോ അപദ്രവ്യ ആറ്റവും ഓരോ ഹോളിനെ വീതം ക്രിസ്റ്റലിനു നൽകുന്നുവെന്ന കാര്യം പ്രത്യേകം ശ്രദ്ധേയമാണ്. ഇങ്ങനെ പ്രദാനം ചെയ്യപ്പെടുന്ന ഹോളുകൾ, ക്രിസ്റ്റലിൽ ഇൻട്രിൻസിക് ആറ്റങ്ങളാലുണ്ടാകുന്ന ഹോളുകൾക്ക് പുറമേയുള്ളതാണ്. ചുരുക്കത്തിൽ P തരം ക്രിസ്റ്റലിൽ ഹോളുകളുടെ എണ്ണം സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണത്തേക്കാൾ കൂടുതലായിരിക്കും. അതിനാൽ ഹോളുകൾ ഇവിടെ മെജോറിറ്റി കാരിയേഴ്സ് (മുഖ്യചാർജ് വാഹകർ) ആവുകയും ഇലക്ട്രോണുകൾ മൈനോറിറ്റി കാരിയേഴ്സ് ആവുകയും ചെയ്യും. പോസിറ്റീവ് ചാർജ് വാഹകരെപ്പോലെ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഹോളുകൾ മെജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരായതിനാൽ ഇത്തരം ക്രിസ്റ്റലുകളെ P തരം ക്രിസ്റ്റലുകൾ എന്നു വിളിക്കുന്നു. P തരം അർദ്ധചാലകത്തിൽ സർവസാധാരണയായി നടക്കുന്ന ഇലക്ട്രോൺ ഹോൾ സംയോജനം വഴി സഹജമായി ലഭ്യമായ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണത്തിൽ ശോഷണം സംഭവിക്കും. (ഇവിടെ ഹോളുകളുടെ എണ്ണം ഇലക്ട്രോണുകളുടേതിനേക്കാൾ വളരെ കൂടുതലായതിനാൽ ഇലക്ട്രോൺ ഹോൾ സംയോജനം വഴി രണ്ടിന്റെയും എണ്ണത്തിൽ കുറവുണ്ടാകുന്നുണ്ടെങ്കിലും സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകളെ അപേക്ഷിച്ച് സ്വതന്ത്ര ഹോളുകളുടെ എണ്ണം കൂടുതലായിരിക്കും) ക്രിസ്റ്റലിൽ സഹജമായി ലഭ്യമായ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം n_e ആണെങ്കിൽ P തരം അർദ്ധചാലകത്തെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം $n_h >> n_e$ എന്നെഴുതാൻ കഴിയും. (14.4)

ഇവിടെ ചാർജ് വാഹകരുടെ ആകെ ചാർജ് ക്രിസ്റ്റലിലെ അയോണീകരിക്കപ്പെട്ട കോറിന്റെ ആറ്റങ്ങളുടെ ചാർജിന് തുല്യവും വിപരീതവുമായതിനാൽ ഓരോ ക്രിസ്റ്റലും വൈദ്യുതപരമായി ന്യൂട്രലാണ്.

എക്സ്ട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകങ്ങളിൽ മെജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരുടെ ബാഹുല്യം മൂലം താപീയമായി ഉൽപ്പാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്ന മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകർക്ക് മെജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരുമായി സംയോജിക്കുവാനുള്ള സാധ്യത കൂടുതലാണ്. തന്മൂലം ഇവ നശിപ്പിക്കപ്പെടുന്നു. അതിനാൽ അപദ്രവ്യം വൻതോതിൽ മെജോറിറ്റി ചാർജു വാഹകരെ ക്രിസ്റ്റലിന് സംഭാവന നൽകുന്നതിനൊപ്പം സഹജമായി ഉൽപാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്ന മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരുടെ ഗാഢത കുറയ്ക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഡോപ്പിംങ് അർദ്ധചാലകങ്ങളുടെ എനർജി ബാന്റ് ഘടനയെ ബാധിക്കുന്നു. എക്സ്ട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകങ്ങളിൽ ദാതാക്കളായ അപദ്രവ്യങ്ങളുടെയും (Donor impurities) (E_D) സ്വീകാരി അപദ്രവ്യങ്ങളുടെയും (Acceptor impurities E_A) ഊർജാവസരകൾ നിലനിൽക്കുന്നുണ്ട്. എനർജി ബാന്റ് ഡയഗ്രത്തിൽ, n-ടൈപ്പ് സിലിക്കൺ അർദ്ധചാലകത്തിലെ

ദാതാക്കളായ അപദ്രവ്യങ്ങളുടെ ഊർജനില (E_D) കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റിന്റെ ഊർജനില (E_C) യുടെ താഴ്ന്നഭാഗത്തിന് ഏറ്റവും അടിയിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നു. ചെറിയ ഊർജം നൽകിയാൽ തന്നെ ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് ഈ തലത്തിൽ (level) നിന്ന് കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റിലേക്ക് എത്താനാകും. സാധാരണ താപനിലയിൽ ദാതാവ് ആറ്റങ്ങളിൽ ഭൂരിപക്ഷവും അയോണീകരിക്കപ്പെടുന്നു എന്നാൽ സിലിക്കൺ ആറ്റങ്ങളിൽ വളരെ കുറച്ച് ($\sim 10^{-12}$) മാത്രമേ അയോണീകരിക്കപ്പെടുന്നുള്ളൂ. അതിനാൽ ചിത്രം 14.9 (a) യിൽ കാണിച്ചിക്കുന്നതു പോലെ കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റിലെ മിക്ക ഇലക്ട്രോണുകളും ഡോണർ ആറ്റങ്ങളിൽ നിന്നുള്ളവയാണ്.

സമാനമായി ചിത്രം 14.9 (b) യിൽ കാണുന്നതുപോലെ, P-ടൈപ്പ് അർദ്ധചാലകങ്ങളിൽ സ്വീകാരി ഊർജനില (E_A) വാലൻസ് ബാന്റ് ഊർജനിലയുടെ (Ev) ഉയർന്ന ഭാഗത്തിന് മുകളിലായി സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നു. വളരെ ചെറിയ അളവിൽ ഊർജം നൽകുമ്പോൾ തന്നെ ഇലക്ട്രോണുകൾ വാലൻസ് ബാന്റിൽ നിന്ന് E_A എന്ന ഊർജ നിലയിലേക്ക് എത്തിച്ചേരുന്നു. അതോടൊപ്പം സ്വീകാരികളെ അയോണീകരിച്ച് -ve ചാർജുള്ളവയാക്കുന്നു. സാധാരണ താപനിലയിൽ മിക്ക സ്വീകാരി ആറ്റങ്ങളും അയോണീകരിക്കപ്പെടുകയും ഹോളുകളെ വാലൻസ് ബാന്റിൽ ഉപേക്ഷിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. അതിനാൽ സാധാരണ താപനിലയിൽ വാലൻസ് ബാന്റിലെ ഹോൾ സാന്ദ്രതയ്ക്ക് മുഖ്യ കാരണം എക്സ്ട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകങ്ങളിലെ അപദ്രവ്യങ്ങൾ ആണ്. താപസന്തുലനാവസ്ഥയിൽ ഒരു അർദ്ധചാലകത്തിലെ ഇലക്ട്രോൺ ഹോൾ ഗാഢത.

$$n_e n_h = n_i^2 \qquad (14.5)$$ ആയിരിക്കും.

മുകളിലെ വിശദീകരണങ്ങൾ ഏറെക്കുറെ തൃപ്തികരവും സാങ്കൽപികവുമാണെങ്കിലും, ലോഹങ്ങൾ, ഇൻസുലേറ്ററുകൾ, അർദ്ധചാലകങ്ങൾ ഇവ തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസങ്ങൾ എളുപ്പത്തിൽ മനസ്സിലാക്കാൻ അവ ഉപകരിക്കും. കാർബൺ, സിലിക്കൺ, ജെർമേനിയം എന്നിവയുടെ റെസിസ്റ്റിവിറ്റി (പ്രതിരോധകത) യിലെ വ്യത്യാസത്തിന് കാരണം അവയിലെ കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റിനും വാലൻസ് ബാന്റിനും ഇടയിലെ ഊർജവിടവാണ് (Eg). കാർബൺ (ഡയമണ്ട്), സിലിക്കൺ, ജെർമേനിയം എന്നിവയുടെ ഊർജവിടവുകൾ യഥാക്രമം 5.4 eV, 1.1eV, 0.7 eV എന്നിങ്ങനെയാണ്. Sn ഒരു നാലാം ഗ്രൂപ്പ് മൂലകമാണെങ്കിലും അത് ഒരു ലോഹമാണ് കാരണം അതിന്റെ ഊർജ ഗ്യാപ് (0 eV) ആണ്.

ചിത്രം 14.9 (a) $T > 0K$, ഒരു ഒരു n-ടൈപ് അർദ്ധചാലകത്തിലെയും (b) $T > 0K$ ൽ ഒരു P-ടൈപ് അർദ്ധചാലകത്തിലെയും ഊർജബാന്റുകൾ

ഉദാഹരണം 14.2: ഒരു ശുദ്ധ സിലിക്കൺ ക്രിസ്റ്റലിൽ ഒരു മീറ്റർ ക്യൂബിൽ 5×10^{22} ആറ്റങ്ങൾ ഉണ്ട്. അതിനെ 1ppm ഗാഢതയിൽ ഒരു പെന്റാവാലന്റ് അപദ്രവ്യമായ ആഴ്സനിക് കൊണ്ട് ഡോപ് ചെയ്തു. അതിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെയും ഹോളുകളുടെയും എണ്ണം കാണുക. $n_i = 1.5 \times 10^{16}\ m^{-3}$

ഉത്തരം: താപീയമായി ഉല്പാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്ന ഇലക്ട്രോണുകൾ വളരെ കുറവായതിനാൽ ($n_i \sim 10^{16}\ m^{-3}$) അതിനെ ഒഴിവാക്കാം

$$n_e \approx N_D$$
$$n_e n_h = n_i^2$$

ഹോളുകളുടെ എണ്ണം $n_h = \frac{n_i^2}{n_e} = \frac{(1.5 \times 10^{16})^2}{5 \times 10^{22}} = 4.5 \times 10^{9} m^{-3}$

ഉദാഹരണം 14.2

14.5 p-n ജംഗ്ഷൻ (p-n junction)

ഡയോഡ്, ട്രാൻസിസ്റ്റർ തുടങ്ങി മിക്ക അർദ്ധചാലക ഉപകരണങ്ങളുടെയും അടിസ്ഥാന നിർമാണ ഘടകം ഒരു p-n ജംഗ്ഷൻ ആണ്. അർദ്ധചാലക ഉപകരണങ്ങളുടെ പ്രവർത്തനം പഠിക്കുന്നതിനായി ഈ ജംഗ്ഷന്റെ സ്വഭാവ സവിശേഷതകൾ നാം മനസ്സിലാക്കേണ്ടതായുണ്ട്. ഒരു ജംഗ്ഷൻ എങ്ങനെ രൂപം കൊള്ളുന്നുവെന്നും ബാഹ്യമായി പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന വോൾട്ടേജിന്റെ സാന്നിധ്യത്തിൽ ഈ ജംഗ്ഷൻ എങ്ങനെ പെരുമാറുന്നുവെന്നും നമുക്ക് മനസ്സിലാക്കാം.

14.5.1 p-n ജംഗ്ഷൻ രൂപീകരണം (p-n junction formation)

ഒരു നേർത്ത p-ടൈപ്പ് സിലിക്കൺ (p-Si) അർദ്ധചാലക പാളി (wafer) പരിഗണിക്കുക. കൃത്യതയോടെ വളരെ കുറഞ്ഞ അളവിൽ ഒരു പെന്റാവാലന്റ് അപദ്രവ്യം ഇതിനോട് ചേർക്കുമ്പോൾ അതിന്റെ ഒരു ഭാഗം n-Si ആയി മാറുന്നു. വ്യത്യസ്ത പ്രക്രിയകളിലൂടെ ഇത്തരത്തിലുള്ള ഒരു അർദ്ധചാലകത്തിന് രൂപം നൽകാം. ഇങ്ങനെ കിട്ടുന്ന അർദ്ധചാലകത്തിൽ ഒരു p-ഭാഗവും ഒരു n-ഭാഗവും അതുവഴി അവയ്ക്കിടയിൽ ലാഹസ്വഭാവമുള്ള സന്ധിയും (metallurgical junction) ഉണ്ടാകും.

ഒരു p-n സന്ധി രൂപീകരണ വേളയിൽ രണ്ട് പ്രധാന പ്രവർത്തനങ്ങൾ സംഭവിക്കുന്നു. ഡ്രിഫ്റ്റ് (drift), ഡിഫ്യൂഷൻ (diffusion) എന്നിവയാണ് അവ. ഒരു n-ടൈപ്പ് അർദ്ധചാലകത്തിൽ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഗാഢത (electron density) (യൂണിറ്റ് വ്യാപ്തത്തിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം) ഹോളുകളുടെ ഗാഢതയെക്കാൾ വളരെ കൂടുതലാണ്. അതുപോലെ p-ടൈപ്പ് അർദ്ധചാലകത്തിൽ ഹോളുകളുടെ ഗാഢത ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഗാഢതയെക്കാൾ വളരെ കൂടുതലാണ്. ഒരു p-n സന്ധി രൂപീകരണവേളയിൽ p-ഭാഗത്തെയും n-ഭാഗത്തെയും ഗാഢതാ വ്യതിയാനം കാരണം p-ഭാഗത്ത് നിന്ന് n- ഭാഗത്തേയ്ക്ക് (p→n) ഹോളുകളുടെ ഡിഫ്യൂഷൻ നടക്കുന്നു. അതുപോലെ n-ഭാഗത്തു നിന്നും p-ഭാഗത്തേയ്ക്ക് (n→p) ഇലക്ട്രോണുകളുടെയും ഡിഫ്യൂഷൻ നടക്കും. ചാർജ് വാഹകരുടെ ഈ ചലനം സന്ധിയിൽ ഒരു ഡിഫ്യൂഷൻ കറന്റിനു കാരണമാകുന്നു.

ഒരു ഇലക്ട്രോൺ n-ഭാഗത്ത് നിന്ന് p-ഭാഗത്തേയ്ക്ക് ഡിഫ്യൂഷൻ ചെയ്യുന്നതോടൊപ്പം ഒരു അയോണീകരിക്കപ്പെട്ട ഡോണർ ആറ്റം n-ഭാഗത്ത് രൂപം കൊള്ളുന്നു. ചുറ്റുമുള്ള ആറ്റങ്ങളാൽ ബന്ധിതമായതിനാൽ അയോണീകരിക്കപ്പെട്ട ഈ ഡോണർ ആറ്റത്തിന് (പോസിറ്റീവ് ചാർജ്) ചലിക്കുവാൻ കഴിയില്ല. ഇലക്ട്രോണുകൾ n-ഭാഗത്ത് നിന്ന് p-ഭാഗത്തേയ്ക്ക് തുടർച്ചയായി ഡിഫ്യൂസ് ചെയ്യുന്നതിനൊപ്പം പോസിറ്റീവ് ചാർജിന്റെ ഒരു പാളി n-ഭാഗത്ത് രൂപപ്പെടുന്നു.

അതുപോലെ p-ഭാഗത്തു നിന്ന് ഒരു ഹോൾ n-ഭാഗത്തേക്കു അന്തർവ്യാപനം ചെയ്യുന്നതോടൊപ്പം p-ഭാഗത്ത് ഒരു അയോണീകരിക്കപ്പെട്ട സ്വീകാരി ആറ്റം (-ve ചാർജ്) രൂപപ്പെടുന്നു. അതിന് ചലനശേഷി ഇല്ല. ഹോളുകൾ തുടർച്ചയായി p-യിൽ നിന്ന് n-ലേക്ക് അന്തർവ്യാപനം ചെയ്യുന്നതിന്റെ ഫലമായി p-ഭാഗത്ത് നെഗറ്റീവ് ചാർജിന്റെ ഒരു പാളി രൂപപ്പെടുന്നു. പോസിറ്റീവോ നെഗറ്റീവോ ചാർജുള്ള അയോണുകൾ മാത്രമുള്ള ഈ ഭാഗത്തെ 'അപക്ഷയ മേഖല' (depletion region) എന്നു പറയുന്നു.

ചാർജുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളും ഹോളുകളും തുടക്കത്തിൽ സന്ധിക്ക് കുറുകെ വ്യാപനം ചെയ്ത് സംയോജിക്കുന്നത് മൂലം ഈ ഭാഗത്ത് ചലിക്കുന്ന ചാർജ് വാഹകർ ഇല്ലാത്തതാണ് ഈ പേരിനു കാരണം. (ചിത്രം 14.10). ഈ ഡിപ്ലീഷ്യൻ പാളിയുടെ കനം ഒരു മൈക്രോമീറ്ററിന്റെ (10^{-6} m) പത്തിൽ ഒന്ന് $\left(\frac{1}{10}\right)$ മാത്രമാണ്. n-ഭാഗത്തെ പോസിറ്റീവ് സ്പെയ്സ് ചാർജ് കാരണവും p-ഭാഗത്തെ നെഗറ്റീവ് സ്പെയ്സ് ചാർജ് കാരണവും ജംഗ്ഷനിൽ പോസിറ്റീവ് ചാർജിൽ നിന്ന് നെഗറ്റീവ് ചാർജിന്റെ ദിശയിൽ ഒരു വൈദ്യുത മണ്ഡലം സംജാതമാകുന്നു. ഈ വൈദ്യുത മണ്ഡലം കാരണമായി p-ഭാഗത്ത് നിന്ന് ഇലക്ട്രോണുകൾ n-ഭാഗത്തേയ്ക്കും n-ഭാഗത്ത് നിന്ന് ഹോളുകൾ p-ഭാഗത്തേയ്ക്കും സഞ്ചരിക്കുന്നു. വൈദ്യുത മണ്ഡലം കാരണമുണ്ടാകുന്ന വൈദ്യുത ചാർജുകളുടെ ഈ ചലനത്തെ ഡ്രിഫ്റ്റ് (drift) എന്നു പറയുന്നു. അതിനാൽ ഡിഫ്യൂഷൻ കറന്റിന്റെ എതിർദിശയിൽ ഒരു ഡ്രിഫ്റ്റ് കറന്റ് ഒഴുകാൻ തുടങ്ങുന്നു. (ചിത്രം 14.10)

ചിത്രം 14.10 p n ജംഗ്ഷൻ രൂപീകരണ പ്രക്രിയ

formation and working of p-n junction diode
http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/pnjun.html
PHYSICS

തുടക്കത്തിൽ ഡിഫ്യൂഷൻ കറന്റ് വളരെ കൂടുതലും ഡ്രിഫ്റ്റ് കറന്റ് വളരെ കുറവുമായിരിക്കും ഡിഫ്യൂഷൻ (അന്തർവ്യാപനം) തുടരുന്നതോടെ ജംഗ്ഷന്റെ ഇരുവശത്തും സ്പെയ്സ് ചാർജ് റീജിയൻ വിപുലീകരിക്കപ്പെടുകയും വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ ശക്തിയാൽ ഡ്രിഫ്റ്റ് കറന്റു വർദ്ധിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഡിഫ്യൂഷൻ കറന്റിന്റെ അളവ് ഡ്രിഫ്റ്റ് കറന്റിന്റെ അളവിന് തുല്യമാകുന്നത് വരെ ഈ പ്രവർത്തനം തുടരുന്നു. അങ്ങനെ ഒരു p-n-ജംഗ്ഷൻ രൂപപ്പെടുന്നു. സന്തുലിതാവസ്ഥയിലുള്ള (equilibrium) ഒരു p-n സന്ധിയിലെ ആകെ കറന്റ് പൂജ്യം ആയിരിക്കും.

n-ഭാഗത്തു നിന്നുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളുടെ നഷ്ടം കാരണവും p-ഭാഗത്ത് ഇലക്ട്രോണുകൾ നേടുന്നതു മൂലവും ജംഗ്ഷന്റെ ഇരുവശത്തുമായി ഒരു പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസം രൂപപ്പെടുന്നു. ഈ പൊട്ടൻഷ്യലിന്റെ ധ്രുവത പിന്നീടുള്ള ചാർജുവാഹകരുടെ ചലനത്തെ എതിർക്കുന്ന രൂപത്തിലാണ്. തൽഫലമായി ഒരു സന്തുലിതാവസ്ഥ നിലവിൽ വരുന്നു. ചിത്രം 14.11 സന്തുലിതാവസ്ഥയിലുള്ള p-n ജംഗ്ഷനെയും ജംഗ്ഷനിലെ വോൾട്ടേജിനെയും (പൊട്ടൻഷ്യലിനെയും) കാണിക്കുന്നു. ഇവിടെ n-പദാർഥത്തിന് ഇലക്ട്രോണിനെ നഷ്ടപ്പെടുകയും p-പദാർഥം ഇലക്ട്രോണിനെ നേടുകയും ചെയ്യുന്നു. അതിനാൽ n -പദാർഥം p-പദാർഥത്തെ അപേക്ഷിച്ച് പോസിറ്റീവായി മാറുന്നു. ഈ പൊട്ടൻഷ്യൽ n ഭാഗത്തു നിന്നും p ഭാഗത്തേയ്ക്കുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ചലനം തടയുന്നതിനാൽ ഇതിനെ പൊട്ടൻഷ്യൽ ബാരിയർ (potential barrier) എന്നു പറയുന്നു.

ചിത്രം 14.11 (a) സന്തുലനാവസ്ഥയിലുള്ള ഡയോഡ് (V = 0). (b) ബയാസ് ഇല്ലാത്തപ്പോഴുള്ള ബാരിയർ പൊട്ടൻഷ്യൽ

ഉദാഹരണം 14.3 ഒരു p-ടൈപ്പ് അർദ്ധചാലക സ്ലാബുമായി ഒരു n ടൈപ്പ് അർദ്ധ ചാലകം യോജിപ്പിച്ചാൽ ഒരു p-n ജംഗ്ഷൻ ലഭിക്കുമോ?

ഇല്ല. ഒരു സ്ലാബ് എത്ര മിനുസമുള്ളതാണെങ്കിലും അതിന് പരുപരുപ്പ് ഉണ്ടാകും. ഇതിന്റെ അളവ് ക്രിസ്റ്റലിലെ ആറ്റങ്ങൾക്കിടയിലെ അകലത്തെക്കാൾ കൂടുതലായിരിക്കും. ($2^{\cdot}3A^0$). അതിനാൽ ആറ്റങ്ങൾക്കിടയിലെ തുടർച്ചയായ സമ്പർക്കം സാധ്യമല്ലാതാകുന്നു. അതിനാൽ ഈ ജംഗ്ഷൻ ചാർജ് വാഹകരുടെ ചലനത്തിൽ തുടർച്ചയില്ലായ്മ സൃഷ്ടിക്കുന്നു.

ഉദാഹരണം 14.3

14.6 അർദ്ധചാലക ഡയോഡ് (Semiconductor Diode)

ഒരു അർദ്ധചാലക ഡയോഡ് [ചിത്രം 14.12 (a)] അടിസ്ഥാനപരമായി ബാഹ്യവോൾട്ടേജ് പ്രയോഗിക്കുന്നതിനായി അഗ്രങ്ങളിൽ ലോഹസമ്പർക്കങ്ങൾ ഘടിപ്പിച്ചിട്ടുള്ള ഒരു p-n ജംഗ്ഷൻ തന്നെയാണ്. അത് രണ്ട് ടെർമിനലുള്ള ഉപകരണമാണ്. ഒരു p-n ജംഗ്ഷൻ ഡയോഡിന്റെ പ്രതീകം ചിത്രം 14.12 (b) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇതിൽ അമ്പടയാളത്തിന്റെ ദിശ കറന്റിന്റെ സാമ്പ്രദായിക ദിശയെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. (ഡയോഡ് ഫോർവേഡ് ബയാസിലാകുമ്പോൾ). ഡയോഡിൽ ബാഹ്യമായി ഒരു വോൾട്ടേജ് (V) പ്രയോഗിച്ച് അതിന്റെ സംതുലിത ബാരിയർ പൊട്ടൻഷ്യലിൽ വ്യതിയാനങ്ങൾ വരുത്താം. സംതുലനാവസ്ഥയിൽ ഉള്ള ഒരു p-n ജംഗ്ഷൻ ഡയോഡിന്റെ അവസ്ഥ ചിത്രം 14.11 (a), (b) എന്നിവയിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 14.12 (a) അർദ്ധചാലക ഡയോഡ് (b) p-n ജംഗ്ഷൻ ഡയോഡിന്റെ ഭരണ ചിത്രം

14.6.1 ഫോർവേഡ് ബയാസിൽ ഉള്ള p-n ജംഗ്ഷൻ ഡയോഡ് (p-n junction diode under forward bias)

ഒരു അർദ്ധചാലകഡയോഡിന്റെ p- വശം ബാറ്ററിയുടെ പോസിറ്റീവ് ടെർമിനലുമായും n- വശം ബാറ്ററിയുടെ നെഗറ്റീവ് ടെർമിനലുമായും യോജിപ്പിക്കുന്ന രീതിയിൽ ഒരു ബാഹ്യവോൾട്ടേജ് V പ്രയോഗിച്ചാൽ ഒരു ഡയോഡ് ഫോർവേഡ് ബയാസിലാണെന്ന് പറയാം. (ചിത്രം (14.13 (a))

പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബാഹ്യവോൾട്ടതയുടെ ഭൂരിഭാഗവും ഡിപ്ലീഷൻ മേഖലക്കു കുറുകെ അനുഭവപ്പെടുന്നു. അതേ സമയം p-n ജംഗ്ഷന്റെ p-വശത്തും n- വശത്തും ഉണ്ടാകുന്ന വോൾട്ടത നിസാരമാണ് (ഇതിന് കാരണം ഡിപ്ലീഷൻ റീജിയണിന്റെ പ്രതിരോധം p വശത്തിന്റേതും n വശത്തിന്റേതുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ വളരെ ഉയർന്നിരിക്കുന്നുവെന്നുള്ളതാണ്). പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബാഹ്യവോൾട്ടേജിന്റെ (V) ദിശ ബാരിയർ

ചിത്രം 14.13 (a) ഫോർവേഡ് ബയാസിലുള്ള pn ജംഗ്ഷൻ ഡയോഡ് **(b)** ബാരിയർ വോൾട്ടത **(i)** ബാറ്ററിയില്ലാതെ **(ii)** കുറഞ്ഞ ബാറ്ററി വോൾട്ടതയിൽ **(iii)** ഉയർന്ന ബാറ്ററി വോൾട്ടതയിൽ

ചിത്രം 14.14 ഫോർവേഡ് ബയാസിനാൽ തള്ളിവിടപ്പെട്ട മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകർ

വോൾട്ടേജിന്റെ (V_0) എതിർദിശയിലാണ്. തൽഫലമായി ഡിപ്ലീഷൻ പാളിയുടെ വീതി കുറയുകയും അതുവഴി ബാരിയർ ഉയരം (ബാരിയർ പൊട്ടൻഷ്യൽ) കുറയുകയും ചെയ്യും ഫോർവേഡ് ബയാസിൽ സഫലബാരിയർ ഉയരം (V_0 - V) ആയിരിക്കും.

പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന വോൾട്ടേജ് ചെറുതാണെങ്കിൽ ബാരിയർ പൊട്ടൻഷ്യൽ സന്തുലിത മൂല്യത്തിന് താഴെ ചെറുതായി കുറയുന്നു. തന്മൂലം കുറച്ച് മാത്രം ചാർജ് വാഹകർ (ഉയർന്ന ഊർജ നിലകളിൽ ഉണ്ടായിരുന്നവ) സന്ധി മുറിച്ച് കടക്കാൻ ആവശ്യമായ ഊർജം നേടുകയും ചെയ്യുന്നു. അതിനാൽ ഇങ്ങനെയുണ്ടാകുന്ന കറന്റ് വളരെ ചെറുതായിരിക്കും. എന്നാൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന വോൾട്ടത ഗണ്യമായി കൂടിയാൽ, ബാരിയർ ഉയരം കുറയുകയും കൂടുതൽ ചാർജുവാഹകർ ബാരിയർ പൊട്ടൻഷ്യൽ കടക്കാനാവശ്യമായ ഊർജം കൈവരിക്കുകയും അങ്ങനെ കറന്റ് വർദ്ധിക്കുകയും ചെയ്യും.

പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന വോൾട്ടേജ് മൂലം n- വശത്ത് നിന്ന് ഇലക്ട്രോണുകൾ ഡിപ്ലീഷൻ പാളിയെ (depletion layer) മുറിച്ച് കടന്ന് p- ഭാഗത്ത് (ഇവിടെ ഇവ മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകർ ആണ്) എത്തുന്നു. അതുപോലെ p- ഭാഗത്ത് നിന്ന് ഹോളുകൾ ജംഗ്ഷൻ മുറിച്ച് n- ഭാഗത്ത് (ഇവിടെ ഇവ മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകർ ആണ്) എത്തുന്നു. ഫോർവേഡ് ബയാസിൽ നടക്കുന്ന ഈ പ്രവർത്തനത്തെ മൈനോറിറ്റി കാരിയർ ഇൻജക്ഷൻ എന്ന് പറയുന്നു. അതിനാൽ ജംഗ്ഷൻ അതിരുകൾക്ക് ഓരോ വശത്തും മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരുടെ ഗാഢത ജംഗ്ഷനിൽ നിന്ന് അകലെയുള്ള സ്ഥാനങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ച് ഗണ്യമായി കുടുന്നു.

ഈ ഗാഢതാ ഗ്രേഡിയന്റ് p- വശത്തേക്ക് എത്തുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളെ ജംഗ്ഷന് അടുത്തുള്ള p- ഭാഗത്തു നിന്ന് ജംഗ്ഷന് അകലെയുള്ള സ്ഥലങ്ങളിലേക്ക് അന്തർവ്യാപനം, (diffusion) ചെയ്യിക്കുന്നു. അതുപോലെ n- വശത്ത് എത്തിച്ചേരുന്ന ഹോളുകൾ ജംഗ്ഷന് അടുത്തു നിന്ന് അകലേക്ക് ഡിഫ്യൂഷൻ ചെയ്യുന്നു (ചിത്രം 14.14) ചാർജ് വാഹകരുടെ ഈ ചലനം ഒരു കറന്റിന് കാരണമാകും. അതിനാൽ ഒരു ഡയോഡിലെ ആകെ കറന്റ് ഹോൾ ഡിഫ്യൂഷൻ മൂലമുള്ള കറന്റിന്റെയും ഇലക്ട്രോൺ ഡിഫ്യൂഷൻ മൂലമുള്ള സാമ്പ്രദായിക കറന്റിന്റെയും ആകെ തുകയാണ്. ഇതിന്റെ പരിമാണം മില്ലി ആമ്പയർ (mA) തോതിലായിരിക്കും.

14.6.2 റിവേഴ്സ് ബയാസിൽ ഉള്ള p-n സന്ധി ഡയോഡ് (p-n junction diode under reverse bias)

ഒരു ഡയോഡിന്റെ n- വശത്ത് പോസിറ്റീവും p- ഭാഗത്ത് നെഗറ്റീവും ലഭിക്കത്തക്കവിധം ഒരു ബാഹ്യവോൾട്ടത പ്രയോഗിച്ചാൽ ആ ഡയോഡ് റിവേഴ്സ് ബയാസിലാണെന്നു പറയാം.

(ചിത്രം 14.15 (a) പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന വോൾട്ടേജിൽ ഭൂരിഭാഗവും ഡിപ്ലീഷൻ മേഖലയിൽ അനുഭവപ്പെടുന്നു. ഇവിടെ ബാഹ്യവോൾട്ടേജി (പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന വോൾട്ടേജ്) ന്റെ ദിശ ബാരിയർ വോൾട്ടേജിന്റെ ദിശയിൽ തന്നെയാണ് അതിനാൽ വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിനുണ്ടാകുന്ന മാറ്റം മൂലം ബാരിയർ ഉയരം കുടുകയും ഡിപ്ലീഷൻ പാളി വികസിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. റിവേഴ്സ് ബയാസിലെ ബാരിയർ ഉയരം (V_0 + V) ആയിരിക്കും. (ചിത്രം 14.15 (b). ഇത് n- ൽ നിന്ന് p- യിലേക്കുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളുടെ സഞ്ചാരത്തെയും p- ൽ നിന്ന് n- ലേക്കുള്ള ഹോളുകളുടെ ഒഴുക്കിനേയും കുറയ്ക്കുന്നു. അതിനാൽ ഡിഫ്യൂഷൻ കറന്റിന്റെ അളവ് ഫോർവേഡ് ബയാസിലുള്ള ഡയോഡിലെ കറന്റിനെ അപേക്ഷിച്ച് ഗണ്യമായി കുറയുന്നു.

ക്രമരഹിത ചലനത്തിലുള്ള p- വശത്തെ ഇലക്ട്രോണുകളും n- വശത്തെ ഹോളുകളും pn-സന്ധിയുടെ സമീപത്തെത്തിയാൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന ബാഹ്യവൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ ദിശയുടെ പ്രഭാവത്തിൽ അവ യഥാക്രമം ഇത്തരം ചാർജുകൾ കൂടുതലായി കാണപ്പെടുന്ന ക്രിസ്റ്റൽ ഭാഗത്തേക്ക് നീക്കം ചെയ്യപ്പെടും.

ചാർജ് വാഹകരുടെ ഈ ഡ്രിഫ്റ്റ് ഒരു കറന്റിന് കാരണമാകുന്നു. ഇതിനെ ഡ്രിഫ്റ്റ് കറന്റ് എന്ന് വിളിക്കുന്നു. ഈ കറന്റ് കേവലം മൈക്രോ ആമ്പയർ (μA) തോതിലായിരി

ക്കും. ചാർജ് വാഹകർ തങ്ങളുടെ മൈനോറിറ്റി വശത്ത് നിന്ന് (ചാർജ് വാഹകർ കുറവുള്ള സ്ഥലത്ത് നിന്ന്) ജംഗ്ഷനിലൂടെ സഞ്ചരിക്കേണ്ടി വരുന്നതിലാണ് ഈ കറന്റ് കുറവായിരിക്കുന്നത്. ഫോർവേഡ് ബയാസിലും ഈ ഡ്രിഫ്റ്റ് കറന്റ് (μA) കാണാമെങ്കിലും അത് ഇൻജക്ട് ചെയ്യപ്പെടുന്ന ചാർജുകൾ മൂലമുള്ള കറന്റിനെ (mA) അപേക്ഷിച്ച് വളരെ കുറവായിരിക്കും.

ഡയോഡിലെ റിവേഴ്സ് കറന്റ്, പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന വോൾട്ടതയെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. വളരെ ചെറിയ ഒരു വോൾട്ടേജ് കൊണ്ട് തന്നെ മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരെ ജംഗ്ഷന്റെ ഒരു വശത്ത് നിന്നും മറുവശത്തേക്ക് ചലിപ്പിക്കാൻ (എത്തിക്കാൻ) പറ്റും. ഈ കറന്റിനെ ബാഹ്യവോൾട്ടത സ്വാധീനിക്കുന്നില്ല, മറിച്ച് ഇരുവശത്തുമുള്ള മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരുടെ ഗാഢതയാണ് ആശ്രയിക്കുന്നത്.

റിവേഴ്സ് ബയാസിലെ കറന്റ്, ബ്രേക്ക്ഡൗൺ വോൾട്ടേജ് എന്ന റിവേഴ്സ് ബയാസ് വോൾട്ടേജ് എത്തുന്നതുവരെ ബാഹ്യവോൾട്ടേജിനെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. ഇത് ബ്രേക്ക് ഡൗൺ വോൾട്ടതയ്ക്ക് തുല്യമാകുമ്പോൾ ഡയോഡിലൂടെയുള്ള റിവേഴ്സ് കറന്റ് കുത്തനെ വർദ്ധിക്കുന്നു. ഈ അവസ്ഥയിൽ ബയാസ് വോൾട്ടതയിലുണ്ടാകുന്ന ചെറിയ വർദ്ധനവ് പോലും കറന്റിന്റെ അളവിൽ വലിയ വ്യത്യാസങ്ങൾ വരുത്തും. ഒരു ബാഹ്യ സെർക്കീട്ട് മൂലം റിവേഴ്സ് കറന്റിനെ ഡയോഡിന് താങ്ങാവുന്ന പരിധിക്കുള്ളിൽ (rated value) പരിമിതപ്പെടുത്തിയില്ലെങ്കിൽ അത് p-n ജംഗ്ഷന്റെ നാശത്തിന് കാരണമാകും. കറന്റ് ഈ പരിധിയിൽ കൂടിയാൽ, ഉയർന്ന വൈദ്യുത പ്രവാഹം ഉണ്ടാക്കുന്ന അമിതതാപം മൂലം ഡയോഡ് നശിക്കുന്നു. ഡയോഡിലെഫോർവേഡ് കറന്റ് അതിന്റെ നിശ്ചിതതോതി (rated value) നേക്കാൾ കൂടിയാലും ഇത് സംഭവിക്കും.

ചിത്രം 14.15
(a) ഡയോഡ് റിവേഴ്സ് ബയാസിൽ
(b) റിവേഴ്സ് ബയാസിലെ ബാരിയർ പൊട്ടൻഷ്യൽ

ഒരു ഡയോഡിന്റെ V - I കാരക്ടറിസ്റ്റിക്സ് (പ്രയോഗിക്കപ്പെട്ട വോൾട്ടതയുടെ ഫലനമായി (function) ഇവിടെ വൈദ്യുത പ്രവാഹ വ്യതിയാനം). പഠിക്കാനുള്ള സെർക്കീട്ട് ക്രമീകരണം ചിത്രം 14.16 (a) യിലും 14.16 (b) യിലും കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഡയോഡിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന വോൾട്ടേജ് വ്യത്യാസപ്പെടുത്താൻ കഴിയും വിധം ബാറ്ററിയെ ഡയോഡുമായി ഒരു പൊട്ടൻഷ്യോമീറ്റർ (അല്ലെങ്കിൽ റിയോസ്റ്റാറ്റ്) വഴി ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. വ്യ

ചിത്രം 14.16 ഒരു p-n ജംഗ്ഷൻ ഡയോഡിന്റെ V-I കാരക്ടറിസ്റ്റിക്സ് പഠിക്കാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന പരീക്ഷണ സെർക്കീട്ട് ക്രമീകരണം (a) ഫോർവേഡ് ബയാസിൽ (b) റിവേഴ്സ് ബയാസിൽ (c) ഒരു സിലിക്കൺ ഡയോഡിന്റെ മാതൃകാ V-I കാരക്ടറിസ്റ്റിക്സ്

ത്യസ്ത വോൾട്ടേജ് വിലകൾക്ക് അനുസൃതമായ കറന്റ് വിലകൾ രേഖപ്പെടുത്തുന്നു. (ചിത്രം 14.16 (c) യിലേതു പോലെ V യും I യും തമ്മിൽ ഒരു ഗ്രാഫ് വരയ്ക്കുന്നു. ഫോർവേഡ് ബയാസിൽ കറന്റ് വലുതായതിനാൽ മില്ലി അമ്മീറ്റർ ഉപയോഗിക്കേണ്ടി വരും. (മുൻ ഭാഗങ്ങളിൽ പ്രതിപാദിച്ചതു പോലെ) എന്നാൽ റിവേഴ്സ് ബയാസിൽ ഒരു മൈക്രോ അമ്മീറ്റർ കറന്റ് അളക്കാനായി ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഫോർവേഡ് ബയാസിൽ ഡയോഡിനു കുറുകെയുള്ള വോൾട്ടേജ് ഒരു പ്രത്യേക പരിധിയിൽ എത്തുന്നത് വരെ ചിത്രം 14.16 (c) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കും പോലെ കറന്റ് വളരെ പതുക്കെ മാത്രം ഉയരുന്നു. ഈ സവിശേഷ പരിധിക്ക് ശേഷം, വളരെ ചെറിയ ഡയോഡ് ബയാസ് വോൾട്ടേജിന്റെ വർദ്ധനവ് പോലും ഡയോഡിലെ കറന്റ് ഗണ്യമായി വർദ്ധിക്കുന്നു. ഈ വോൾട്ടേജിനെ ത്രെഷോൾഡ് വോൾട്ടേജ് അല്ലെങ്കിൽ വിഛേദന വോൾട്ടേജ് എന്നു വിളിക്കുന്നു. (ജർമേനിയം ഡയോഡിന് 0.2V ഉം സിലിക്കൺ ഡയോഡിന് 0.7V ഉം ആണിത്)

റിവേഴ്സ് ബയാസിലുള്ള ഡയോഡിൽ, കറന്റ് വളരെ ചെറുതാണ്. (~μA) ബയാസ് വോൾട്ടത മാറ്റിയാലും ഇത് ഏകദേശം സ്ഥിരമായി നിൽക്കുന്നു. ഇതിനെ റിവേഴ്സ് സാച്ചുറേഷൻ കറന്റ് എന്നു പറയുന്നു. എന്നിരുന്നാലും ചില സാഹചര്യങ്ങളിൽ ഉയർന്ന റിവേഴ്സ് ബയാസിൽ, കറന്റ് പെട്ടെന്ന് കുടുന്നു. (ബ്രേക്ക്ഡൗൺ വോൾട്ടേജിൽ). ഡയോഡിന്റെ ഈ പ്രത്യേക സ്വഭാവം, ഭാഗം 14.8 ൽ ചർച്ച ചെയ്യും. സാധാരണ രീതിയിൽ ഡയോഡുകൾ റിവേഴ്സ് സാച്ചുറേഷൻ കറന്റ് മേഖലക്കപ്പുറം ഉപയോഗിക്കാറില്ല.

മുകളിലെ ചർച്ചയിൽ നിന്നും p-n ജംഗ്ഷൻ ഡയോഡുകൾ പ്രാഥമികമായി ഒരു ദിശയിൽ മാത്രം (ഫോർവേഡ് ബയാസിൽ) കറന്റിനെ കടത്തിവിടുന്നുവെന്നാണ് കാണിക്കുന്നത്. റിവേഴ്സ് ബയാസ് പ്രതിരോധത്തെ അപേക്ഷിച്ച് ഫോർവേഡ് ബയാസ് പ്രതിരോധം കുറവായതിനാലാണ് ഇങ്ങനെ സംഭവിക്കുന്നത്. ac വോൾട്ടതയുടെ റെക്ടിഫിക്കേഷൻ എന്ന അടുത്ത ഭാഗത്ത് ഡയോഡിന്റെ ഈ ഗുണം ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നു. വോൾട്ടേജിന്റെ ചെറിയ വ്യതിയാനവും അതുണ്ടാകുന്ന കറന്റിലെ വ്യതിയാനവും തമ്മിലുള്ള അനുപാതത്തെ ഡയോഡുകളുടെ ഡൈനാമിക് പ്രതിരോധമായി നിർവചിച്ചിരിക്കുന്നു.

അതായത് $r_d = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ 14.6

ഉദാഹരണം 14.4: ഒരു സിലിക്കൺ ഡയോഡിന്റെ V-I ഗ്രാഫ് ചിത്രം 14.17 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. (a) I_D = 15 mA യിലും (b) V_D = –10 V ലും ഡയോഡിന്റെ പ്രതിരോധം കണ്ടുപിടിക്കുക.

മൂലബിന്ദുവിൽ കൂടി കടന്നുപോകുന്ന ഡയോഡിന്റെ സ്വഭാവസവിശേഷതാഗ്രാഫ് I = 10 mA നും I = 20 mA നും ഇടയിൽ ഒരു നേർരേഖയായി കരുതിയാൽ ഓം നിയമം ഉപയോഗിച്ച് നമുക്ക് പ്രതിരോധം കണ്ടുപിടിക്കാം.

(a) ഗ്രാഫിൽ നിന്നും

I = 20 mA, V = 0.8 V, I = 10 mA, V = 0.7 V

r_{fb} = ΔV/ΔI = 0.1V/10 mA = 10 Ω

(b) ഗ്രാഫിൽ നിന്നും

V = –10 V, I = –1 μA അതിനാൽ

r_{rb} = 10 V/1μA= 1.0 × 10^7 Ω

ഉദാഹരണം 14.4

14.7. ജംഗ്ഷൻ ഡയോഡിന്റെ റെക്ടിഫയറായുള്ള ഉപയോഗം (Application of junction Diode as a rectifier)

ഫോർവേഡ് ബയാസിൽ മാത്രമേ ഒരു ജംഗ്ഷൻ ഡയോഡ് കറന്റിനെ കടത്തിവിടുകയുള്ളുവെന്ന് ഡയോഡിന്റെ V -I കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്സിൽ നിന്ന് നാം മനസ്സിലാക്കി. ഒരു ഡയോഡിന് കുറുകെ എ.സി. വോൾട്ടേജ് നൽകിയാൽ, ഡയോഡ് ഫോർവേഡ് ബയാസിലാകുന്ന വേളയിൽ മാത്രം അതിലൂടെ കറന്റ് ഒഴുകുന്നു. പ്രത്യാവർത്തിധാരാ വോൾട്ടത (ac voltage) യെ ഏക ദിശയിലാക്കാൻ ഈ ഗുണം ഉപയോഗപ്പെടുന്നു. ഇതിന് ഉപയോഗിക്കുന്ന സർക്കീട്ടിനെ റെക്ടിഫയർ (Rectifier) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഒരു ലോഡുമായി ശ്രേണിയിൽ ഘടിപ്പിച്ചിട്ടുള്ള ഡയോഡിൽ ഒരു പ്രത്യാവർത്തി ധാരാവൈദ്യുതി കടത്തിവിട്ടാൽ, ഡയോഡ് ഫോർവേഡ് ബയാസിലാകുന്ന അർദ്ധസൈക്കിളുകളിൽ മാത്രം ലോഡിന് കുറുകെ ഒരു വോൾട്ടത പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നു. ചിത്രം 14.18 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെയുള്ള, ഇത്തരം റെക്ടിഫയർ സെർക്കീട്ടുകളെ ഹാഫ്‌വേവ് റെക്ടിഫയറുകൾ (half wave rectifier) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന A, B എന്നീ ടെർമിനലുകൾക്ക് ഒരു ട്രാൻസ്ഫോമറിന്റെ സെക്കന്ററി, ആവശ്യമായ ac വോൾട്ടേജ് നൽകുന്നു. A യിലെ വോൾട്ടേജ് പോസിറ്റീവ് ആയാൽ, ഡയോഡ് ഫോർവേഡ് ബയാസിലാകുകയും, അത് കറന്റിനെ കടത്തിവിടുകയും ചെയ്യുന്നു. A നെഗറ്റീവ് ആയാൽ, ഡയോഡ് റിവേഴ്സ് ബയാസിലാകുകയും കറന്റിനെ കടത്തി വിടാതിരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഒരു ഡയോഡിന്റെ റിവേഴ്സ് സാച്ചുറേഷൻ കറന്റ് അവഗണിക്കാവുന്നതും, പ്രായോഗിക ഉപയോഗങ്ങൾക്ക് പൂജ്യമായി എടുക്കാവുന്നതുമാണ്. (ഡയോഡിനെ റിവേഴ്സ് ബ്രേക്ക്ഡൗണിൽ നിന്ന് സംരക്ഷിക്കാൻ ഇതിന്റെ റിവേഴ്സ് ബ്രേക്ക്ഡൗൺ വോൾട്ടേജ് ട്രാൻസ്ഫോർമറിന്റെ സെക്കന്ററിയിലെ പീക്ക് ac വോൾട്ടേജിനേക്കാൾ മതിയായ അളവിൽ ഉയർന്നതായിരിക്കണം)

ചിത്രം 14.18 (a) ഹാഫ്‌വേവ് റെക്ടിഫയർ സെർക്കീട്ട് (b) ഇൻപുട്ട് ac വോൾട്ടേജും ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജും

അതിനാൽ acയുടെ പോസിറ്റീവ് അർദ്ധസൈക്കിളിൽ R_L എന്ന ലോഡ് പ്രതിരോധകത്തിലൂടെ ഒരു വൈദ്യുത പ്രവാഹം ഉണ്ടാവുകയും ചിത്രം 14.18 (b) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കും പോലെ ഒരു ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജ് ലഭിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. എന്നാൽ നെഗറ്റീവ് അർദ്ധപരിവൃത്തികളിൽ (half cycles) അവിടെ വൈദ്യുത പ്രവാഹം ഉണ്ടാകുന്നില്ല. അടുത്ത പോസിറ്റീവ് അർദ്ധ പരിവൃത്തിയിലും, വീണ്ടും നമുക്ക് ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജ് ലഭിക്കുന്നു. ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജ്, വ്യതിയാനപ്പെടുന്നതാണെങ്കിലും, ഒരു ദിശയിൽ മാത്രം പരിമിതപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതിനാൽ അത് റെക്ടിഫൈ ചെയ്യപ്പെട്ടതായി (rectified) പറയാം. ഈ സെർക്കീട്ടിലെ റെക്ടിഫൈ ചെയ്യപ്പെട്ട ഔട്ട്പുട്ട്, ഇൻപുട്ട് എ.സി. തരംഗത്തിന്റെ പകുതിമാത്രം ഉൾക്കൊള്ളുന്നതിനാൽ ഇതിനെ അർദ്ധതരംഗ റെക്ടിഫയർ (half wave rectifier) എന്നു വിളിക്കുന്നു.

ചിത്രം 14.19 (a) യിൽ രണ്ട് ഡയോഡുകൾ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന റെക്ടിഫയർ സെർക്കീട്ട് കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇത് ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ ഇൻപുട്ട് ac യുടെ പോസിറ്റീവും നെഗറ്റീവുമായ പരിവൃത്തിയിൽ റെക്ടിഫൈ ചെയ്യപ്പെട്ട ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജ് ലഭിക്കും. ഇവിടെ രണ്ട് ഡയോഡുകളുടെയും P ഭാഗങ്ങൾ ട്രാൻസ്ഫോമറിന്റെ സെക്കന്ററിയുടെ അഗ്രങ്ങളിൽ ബന്ധിച്ചിരിക്കുന്നു. ഡയോഡുകളുടെ n ഭാഗങ്ങൾ ഒരുമിച്ച് ബന്ധിപ്പിക്കുന്നു. ഈ പൊതുവായ ബിന്ദുവിനും ട്രാൻസ്ഫോമറിന്റെ സെക്കന്ററിയുടെ മദ്ധ്യബിന്ദുവിനും ഇടയിൽ നിന്ന് ഔട്ട്പുട്ട് എടുക്കുന്നു. ഒരു ഫുൾവേവ് റെക്ടിഫയറിൽ, ട്രാൻസ്ഫോമറിന്റെ സെക്കന്ററിയിൽ ഒരു സെന്റർ ടാപ്പിംഗ് നൽകിയിരിക്കുന്നതിനാൽ ഇതിനെ സെന്റർ ടാപ്പ്ഡ് ട്രാൻസ്ഫോമർ എന്നു വിളിക്കുന്നു. ചിത്രം 14.19 (c) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ ഓരോ ഡയോഡും ആകെ സെക്കന്ററി വോൾട്ടേജിന്റെ പകുതിമാത്രമാണ് ഏക ദിശയിലാക്കുന്നത്. എന്നാൽ രണ്ട് ഡയോഡുകളും ഇത് ചെയ്യുന്നത് ഒന്നിടവിട്ട പരിവൃത്തികളിലാണ്. അതിനാൽ അവയുടെ പൊതുവായ ടെർമിനലിനും ട്രാൻസ്ഫോമറിന്റെ സെന്റർ ടാപ്പിനും ഇടയിൽ നിന്ന് ലഭിക്കുന്ന ഔട്ട്പുട്ട്, ഒരു ഫുൾവേവ് റെക്ടിഫയർ ഔട്ട്പുട്ട് ആയിത്തീരുന്നു. സെന്റർടാപ്പ് ട്രാൻസ്ഫോമർ ആവശ്യമില്ലാത്ത ഫുൾവേവ് റെക്ടിഫയർ സെർക്കീട്ടുകൾ ഉണ്ട്. ഇതിന് നാല് ഡയോഡുകൾ വേണം. ഏതെങ്കിലും സമയത്ത്, സെന്റർ ടാപ്പിനെ അപേക്ഷിച്ച് A യിലെ ഇൻപുട്ട് വോൾട്ടേജ് പോസറ്റീവ് ആണെന്നു കരുതുക. ഇതേസമയം ചിത്രം 14.19 (b) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കും പോലെ B

ചിത്രം 14.19 (a) ഒരു ഫുൾവേവ് റെക്ടിഫയർ സെർക്കീട്ട് (b) A.B. എന്നിവിടങ്ങളിലുള്ള ഡയോഡ് D_1. D_2 ഇവയിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ഇൻപുട്ട് തരംഗങ്ങൾ (c) ലോഡ് R_Lന് കുറുകെ ലഭിക്കുന്ന ഔട്ട്പുട്ട് തരംഗങ്ങൾ

യിലെ വോൾട്ടേജ് ഔട്ട് ഓഫ് ഫേസ് ആകുന്നതിനാൽ നെഗറ്റീവ് ആകും. ഈ സമയം ഡയോഡ് D_1 ഫോർവേഡ് ബയാസിലാകുകയും വൈദ്യുതിയെ കടത്തിവിടുകയും ചെയ്യും. (അതേ സമയം D_2 റിവേഴ്സ് ബയാസിലായതിനാൽ അത് വൈദ്യുതിയെ കടത്തിവിടുന്നില്ല.) അതുകൊണ്ട് ചിത്രം 14.19 (c) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ, പോസിറ്റീവ് അർദ്ധപരിവൃത്തികളിൽ നമുക്ക് ഒരു ഔട്ട്പുട്ട് വൈദ്യുതപ്രവാഹം ലഭിക്കുന്നു. (ലോഡ് പ്രതിരോധകം R_Lന് കുറുകെ ഒരു ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജും ലഭിക്കുന്നു). സെന്റർ ടാപ്പിനെ അപേക്ഷിച്ച് A യിലെ വോൾട്ടേജ് നെഗറ്റീവ് ആകുന്ന ac പരിവൃത്തിയിൽ, B യുടെ വോൾട്ടേജ് പോസിറ്റീവ് ആയിരിക്കും. പരിവൃത്തിയുടെ ഈ ഭാഗത്ത് ഡയോഡ് D_1 വൈദ്യുതിയെ കടത്തിവിടുന്നില്ല. എന്നാൽ ഡയോഡ് D_2 വൈദ്യുതിയെ കടത്തിവിടുന്നു. തൽഫലമായി ഇൻപുട്ട് എ.സി യുടെ നെഗറ്റീവ് അർദ്ധ പരിവൃത്തികളിൽ ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജും, കറന്റും ലോഡ് R_L ന് കുറുകെ ലഭിക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട് പോസിറ്റീവും നെഗറ്റീവുമായ അർദ്ധപരിവൃത്തികളിൽ നമുക്ക് ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജ് ലഭിക്കുന്നു. ഹാഫ്വേവ് റെക്ടിഫിയറിനെ അപേക്ഷിച്ച് റെക്ടിഫൈഡ് വോൾട്ടേജോ, കറന്റോ ലഭിക്കാൻ കൂടുതൽ ക്ഷമതയുള്ള സെർക്കീട്ട് ഇതാണ്.

റെക്ടിഫൈഡ് വോൾട്ടേജ് അർദ്ധസൈൻ തരംഗങ്ങളുടെ ആകൃതിയിലുള്ള സ്പന്ദനങ്ങളുടെ രൂപത്തിലാണ്. ഇത് ഏകദിശയിലാണെങ്കിൽ പോലും ഇതിന് ഒരു സ്ഥിരമൂല്യമില്ല. ഈ സ്പന്ദന വോൾട്ടേജിൽ നിന്നും ഒരു സ്ഥിര dc ഔട്ട്പുട്ട് ലഭിക്കാൻ സാധാരണയായി ഔട്ട്പുട്ട് ടെർമിനലുകൾക്ക് കുറുകെ ഒരു കപ്പാസിറ്റർ ഘടിപ്പിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. (ലോഡ് R_L ന് സമാന്തരമായി) ഇതേ ലക്ഷ്യത്തിന് വേണ്ടി, R_Lന് ശ്രേണിയിലായി ഒരു ഇൻഡക്ടറും ഉപയോഗിക്കാം. ഈ അധിക സെർക്കീട്ടുകൾ ac സ്പന്ദനങ്ങളെ അരിച്ച് ശുദ്ധ ഡി.സി. വോൾട്ടേജ് നൽകുന്നതുകൊണ്ട് അവയെ ഫിൽട്ടറുകൾ (filters) എന്ന് വിളിക്കുന്നു.

ഫിൽറ്ററിംഗിൽ കപ്പാസിറ്ററുകളുടെ പങ്ക് എന്താണെന്ന് ഇനി നമുക്ക് നോക്കാം. കപ്പാസിറ്ററിനു കുറുകെയുള്ള വോൾട്ടേജ് വർദ്ധിക്കുമ്പോൾ, ഇത് ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുന്നു. ബാഹ്യലോഡുകൾ ഒന്നും ഇല്ലെങ്കിൽ, റെക്ടിഫൈഡ് ഔട്ട്പുട്ടിന്റെ പീക്ക് വോൾട്ടേജ് വരെ ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുന്നു. ലോഡുള്ളപ്പോൾ, അത് ലോഡിലൂടെ ഡിസ്ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുകയും, ഇതിന് കുറുകെയുള്ള വോൾട്ടേജ് കുറയാൻ തുടങ്ങുകയും ചെയ്യുന്നു. റെക്ടിഫൈഡ് ഔട്ട്പുട്ടിന്റെ അടുത്ത അർദ്ധപരിവൃത്തിയിൽ ഇത് വീണ്ടും പീക്ക് വിലയിലേക്ക് ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുന്നു. ചിത്രം (14.20) കപ്പാസിറ്ററിനു കുറുകെയുള്ള വോൾട്ടേജിന്റെ താഴ്ചയുടെ നിരക്ക് സമയസ്ഥിരാങ്കം (time constant) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഈ സ്ഥിരാങ്കം കപ്പാസിറ്റർ C യുടേയും സെർക്കീട്ടിൽ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന സഫലപ്രതിരോധം R_Lന്റെയും ഗുണനഫലത്തിന്റെ വ്യുത്ക്രമമായിരിക്കും. സമയസ്ഥിരാങ്കം വർദ്ധിപ്പിക്കാൻ C യുടെ മൂല്യം വർദ്ധിപ്പിച്ചാൽ മതി. അതുകൊണ്ട് കപാസിറ്റർ ഇൻപുട്ട് ഫിൽട്ടറിൽ വലിയ മൂല്യമുള്ള കപ്പാസിറ്ററുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. കപ്പാസിറ്റർ ഇൻപുട്ട് ഫിൽട്ടർ ഉപയോഗിച്ച് ലഭിക്കുന്ന ഔട്ട്പുട്ട് (Out put) വോൾട്ടേജ് റെക്ടിഫൈഡ് വോൾട്ടേജിന്റെ പീക്ക് വോൾട്ടേജിന് അടുത്തായിരിക്കും. ഇത്തരം ഫിൽട്ടറുകൾ പവർ സപ്ലൈകളിൽ കൂടുതൽ വ്യാപകമായി ഉപയോഗിക്കുന്നു.

14.8 പ്രത്യേക ഉപയോഗത്തിനുള്ള p-n ജംഗ്ഷൻ ഡയോഡുകൾ (Special purpose p-n junction diodes)

ഈ ഭാഗത്ത് ചില സവിശേഷ ഡയോഡുളെക്കുറിച്ച് ചർച്ച ചെയ്യാം. ഇവ അടിസ്ഥാനപ

ചിത്രം 14.20 (a) കപാസിറ്റർ ഫിൽട്ടർ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ഫുൾവേവ് റെക്ടിഫയർ
(b) ചിത്രം (a) യിലെ റെക്ടിഫയറിന്റെ ഇൻപുട്ട്, ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജുകൾ

രമായി ജംഗ്ഷൻ ഡയോഡുകളാണ് എന്നാൽ വ്യത്യസ്ത ഉപയോഗങ്ങൾക്കായി രൂപകൽപന ചെയ്യപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു.

14.8.1 സെനർ ഡയോഡ് (Zener diode)

ഇത് പ്രത്യേക ഉപയോഗത്തിനുള്ള ഒരു സെമികണ്ടക്ടർ ഡയോഡാണ്. ഇത് കണ്ടുപിടിച്ച ഈ സെനറിന്റെ പേരിലാണ് ഇത് നാമകരണം ചെയ്യപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത്. റിവേഴ്സ് ബയാസിലെ ബ്രേക്ക്ഡൗൺ റീജിയണിൽ പ്രവർത്തിക്കത്തക്ക വിധം രൂപകൽപ്പന ചെയ്തിരിക്കുന്ന ഇതിനെ ഒരു വോൾട്ടേജ് റെഗുലേറ്റർ ആയി ഉപയോഗിക്കുന്നു. സെനർ ഡയോഡിന്റെ പ്രതീകം ചിത്രം 14. 21 (a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ജംഗ്ഷന്റെ p, n ഭാഗങ്ങളെ വലിയ അളവിൽ ഡോപ്പ് ചെയ്താണ് സെനർ ഡയോഡ് നിർമിച്ചിരിക്കുന്നത്. ഇതിനാൽ ഇവിടെ രൂപീകൃതമാകുന്ന ഡിപ്ളീഷൻ മേഖല വളരെ കനം കുറഞ്ഞതാണ്. ($<10^{-6}$ m) ഏകദേശം 5V വരുന്ന ചെറിയ റിവേഴ്സ് ബയാസ് വോൾട്ടേജുകളിൽ പോലും, ജംഗ്ഷനിലെ വൈദ്യുത മണ്ഡലം വളരെ ഉയർന്നതായിരിക്കും ($\sim 5\times10^{6}$ V/m). സെനർ ഡയോഡിന്റെ I - V സവിശേഷതകൾ ചിത്രം 14. 21 (b) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. പ്രയോഗിക്കപ്പെട്ട റിവേഴ്സ് ബയാസ് വോൾട്ടേജ് (V), സെനർ ഡയോഡിന്റെ ബ്രേക്ക്ഡൗൺ വോൾട്ടേജ് (V_z), ൽ എത്തിച്ചേരുമ്പോൾ, വൈദ്യുത പ്രവാഹത്തിൽ വലിയ വ്യത്യാസം ഉണ്ടാകുന്നു. ബ്രേക്ക്ഡൗൺ വോൾട്ടേജിന് (V_z), ശേഷം റിവേഴ്സ് ബയാസ് വോൾട്ടേജിലെ നിസ്സാര വ്യതിയാനത്തിനു പോലും വളരെ വലിയ കറന്റ് വ്യത്യാസം ഉണ്ടാകും. മറ്റൊരു തരത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ, വലിയ പരിധിയിൽ സെനർ ഡയോഡിലെ കറന്റ് വ്യത്യാസപ്പെട്ടാലും, സെനർ വോൾട്ടേജ് സ്ഥിരമായിരിക്കും. സെനർ ഡയോഡിന്റെ ഈ സ്വഭാവമാണ് സപ്ലൈ വോൾട്ടേജുകളിലെ വ്യതിയാനങ്ങളെ നിയന്ത്രിച്ച് ഒരു നിശ്ചിത നിലയിലാക്കുന്നത്.

ചിത്രം 14.10 സെനർ ഡയോഡ്
(a) പ്രതീകം (b) *I-V* സവിശേഷതകൾ

ബ്രേക്ക്ഡൗൺ വോൾട്ടേജിൽ റിവേഴ്സ് കറന്റ് എങ്ങനെയാണ് പെട്ടെന്ന് കൂടുന്നതെന്ന് നമുക്ക് മനസ്സിലാക്കാം. p യിൽ നിന്ന് n ലേക്കുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളുടെ (മൈനോരിറ്റി ക്യാരിയേഴ്സ്) ഒഴുക്കും n ൽ നിന്ന് p യിലേക്കുള്ള ഹോളുകളുടെ ഒഴുക്കും മൂലമാണ് റിവേഴ്സ് കറന്റ് ഉണ്ടാകുന്നത്. റിവേഴ്സ് വോൾട്ടേജ് വർദ്ധിപ്പിക്കുമ്പോൾ, ജംഗ്ഷനിലെ വൈദ്യുത മണ്ഡലം പ്രബലമാകും. റിവേഴ്സ് ബയാസ് വോൾട്ടേജ് $V - V_z$ ആകുമ്പോൾ p വശത്തെ ആറ്റങ്ങളിലെ വാലൻസ് ഇലക്ട്രോണുകളെ വലിച്ചെടുക്കത്തക്കവിധം അവിടെയുള്ള വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ തീവ്രത ഉയരും. ഇങ്ങനെ സ്വതന്ത്രമാക്കപ്പെടുന്ന ഇലക്ട്രോണുകൾ n വശത്തേക്ക് ത്വരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നു. ബ്രേക്ക്ഡൗൺ സമയത്ത് കാണപ്പെടുന്ന ഉയർന്ന കറന്റിന് ഈ ഇലക്ട്രോണുകൾ കാരണമാകും. ഉയർന്ന വൈദ്യുത മണ്ഡലം കാരണം ഇങ്ങനെ ആറ്റങ്ങളിൽ നിന്നും ഇലക്ട്രോണുകൾ പുറത്തേക്കു വരുന്നതിനെ ആന്തരിക ഫീൽഡ് എമിഷൻ (internal field emission) അല്ലെങ്കിൽ ഫീൽഡ് അയോണൈസേഷൻ (field ionisation) എന്നു പറയുന്നു. ഫീൽഡ് അയോണീകരണത്തിന് ആവശ്യമായ വൈദ്യുത മണ്ഡലം ഏകദേശം 10^{6} V/m ആണ്.

വോൾട്ടേജ് റെഗുലേറ്ററായ സെനർ ഡയോഡ് (Zener diode as a Voltage Regulator)

ഒരു റെക്ടിഫയറിന്റെ ഇൻപുട്ട് വോൾട്ടേജ് മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുക (വില ഉയരുകയും താഴുകയും ചെയ്യുക) യാണെങ്കിൽ, റെക്ടിഫൈ ചെയ്യപ്പെട്ട ഔട്ട്പുട്ടും മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കും. ഒരു റെക്ടിഫയറിൽ നിന്നുള്ള അനിയന്ത്രിതമായ ഡിസി ഔട്ട്പുട്ടിൽ നിന്നും സ്ഥിരമായ ഡിസി വോൾട്ടേജ് ലഭിക്കാൻ സെനർ ഡയോഡ് ഉപയോഗിക്കുന്നു. സെനർ ഡയോഡ് ഉപയോഗിച്ചുള്ള ഒരു വോൾട്ടേജ് റെഗുലേറ്ററിന്റെ (regulator) സെർക്കീട്ട് ഡയഗ്രം ചിത്രം 14.22 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 14.22 സെനർ ഡയോഡ് ഒരു DC വോൾട്ടേജ് റഗുലേറ്ററായി

നിരന്തരം മൂല്യം മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു dc വോൾട്ടേജ് (റെക്ടിഫയറിന്റെ ഫിൽട്ടർ ചെയ്യപ്പെട്ട ഔട്ട്പുട്ട്)ശ്രേണിയിൽ ഘടിപ്പിച്ചിട്ടുള്ള ഒരു പ്രതിരോധകം R_s വഴി ഒരു സെനർ ഡയോഡ് റിവേഴ്സ് ബയാസിൽ വരത്തക്കവിധം നൽകിയിരിക്കുന്നു. ഇൻപുട്ട് വോൾട്ടേജ് കൂടിയാൽ, R_s ൽ കൂടി സെനർ ഡയോഡിലേക്ക് ഒഴുകുന്ന കറന്റും കൂടുന്നു. സെനറിന് കുറുകെയുള്ള വോൾട്ടേജിന് യാതൊരു വ്യതിയാനവും കൂടാതെ R_s ന് കുറുകെയുള്ള വോൾട്ടേജ് വർദ്ധിക്കുന്നു. ബ്രേക്ക്ഡൗൺ മേഖലയിൽ സെനർ ഡയോഡിലൂടെയുള്ള കറന്റ് വ്യത്യാസപ്പെട്ടാൽ പോലും, സെനർ വോൾട്ടേജ് സ്ഥിരമായി നിൽക്കുന്നതാണ് ഇതിനു കാരണം. സമാനമായി, ഇൻപുട്ട് വോൾട്ടേജ് കുറഞ്ഞാൽ, R_s ൽ കൂടി സെനർ ഡയോഡിലേക്കുള്ള വൈദ്യുതപ്രവാഹം കുറയുന്നു. സെനർ ഡയോഡിലെ വോൾട്ടേജിന് യാതൊരു വ്യത്യാസവും കൂടാതെ തന്നെ, R_s ലെ വോൾട്ടേജ് കുറയുന്നു. അതുകൊണ്ട്, ഇൻപുട്ട് വോൾട്ടേജിൽ എന്തെങ്കിലും വർദ്ധനവോ കുറവോ വന്നാൽ R_sന് കുറുകെയുള്ള വോൾട്ടേജ് കൂടുകയോ കുറയുകയോ ചെയ്യുന്നു. എന്നാൽ സെനർ ഡയോഡിന് കുറുകെയുള്ള വോൾട്ടേജ് വ്യത്യാസപ്പെടുന്നില്ല. അങ്ങനെ സെനർ ഡയോഡ് ഒരു വോൾട്ടേജ് റഗുലേറ്ററായി വർത്തിക്കുന്നു. ആവശ്യമായ ഓരോ ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജിനും അനുയോജ്യമായ സെനർ ഡയോഡും അതിനനുയോജ്യമായി ശ്രേണി പ്രതിരോധകം R_s ഉം തെരഞ്ഞെടുക്കണം.

ഉദാഹരണം 14.5

ഉദാഹരണം 14.5 ഒരു സെനർ നിയന്ത്രിത പവർ സപ്ലൈയിൽ $V_Z = 6.0V$ ഉള്ള ഒരു സെനർ ഡയോഡ് വോൾട്ടേജ് നിയന്ത്രണത്തിന് ഉപയോഗിക്കുന്നു. ലോഡ് കറന്റ് 4mA ഉം നിയന്ത്രിതമല്ലാത്ത ഇൻപുട്ട് വോൾട്ടേജ് 10.0 V ആണ്. R_s എന്ന ശ്രേണി പ്രതിരോധകത്തിന്റെ വിലയെന്ത്?

ഉത്തരം: സെനർ ഡയോഡിലൂടെയുള്ള കറന്റ്, ലോഡ് കറന്റിനേക്കാൾ വളരെ വലുതാകത്തക്കവിധത്തിൽ ആയിരിക്കണം R_s ന്റെ മൂല്യം. നല്ല ലോഡ് നിയന്ത്രണത്തിനായാണ് ഇങ്ങനെ ചെയ്യുന്നത്. അതിനാൽ സെനർ കറന്റ്, ലോഡ് കറന്റിനേക്കാൾ 5 മടങ്ങ് ആയി തിരഞ്ഞെടുക്കുന്നു. $I_Z = 20$ mA. R_s ലൂടെയുള്ള ആകെ കറന്റ് 24 mA ആണ്. R_sലെ വോൾട്ടേജ് ശോഷണം $10.0 - 6.0 = 4.0$ V ഇതിൽ നിന്നും $R_S = 4.0V/(24 \times 10^{-3})$ എന്ന് ലഭിക്കുന്നു. കാർബൺ പ്രതിരോധത്തിന്റെ ഇതിനോട് അടുത്ത വില 150 Ω ആണ്. അതിനാൽ ഏകദേശം 150 Ω ശ്രേണി പ്രതിരോധം എന്നെടുക്കാം. പ്രതിരോധത്തിനുണ്ടാകുന്ന നേരിയ വ്യത്യാസം കണക്കിലെടുക്കേണ്ടതില്ല. I_Z ന്റെ വില I_L നേക്കാൾ മതിയായ അളവിൽ വലുതായിരിക്കണം എന്നതാണ് പ്രധാനം.

14.8.2 ഒപ്റ്റോ ഇലക്ട്രോണിക് ജംഗ്ഷൻ ഉപകരണങ്ങൾ (Opto electronic junction devices)

പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന വൈദ്യുത ഇൻപുട്ടുകളിൽ ഒരു അർദ്ധചാലക ഡയോഡ് എങ്ങനെ പ്രവർത്തിക്കുന്നുവെന്നാണ് നാം ഇതുവരെ കണ്ടത്. ഈ ഭാഗത്ത്, ഫോട്ടോണുകളാൽ (പ്രകാശ ഉത്തേജനം) സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്ന ചാർജ് വാഹകരുള്ള അർദ്ധചാലക ഡയോഡുകളെക്കുറിച്ച് നമ്മൾ പഠിക്കുന്നു. താഴെ പറയുന്ന ഒപ്റ്റോ ഇലക്ട്രോണിക് ഉപകരണങ്ങളുടെ പ്രവർത്തനം നമുക്ക് പഠിക്കാം.

(i) പ്രകാശ സിഗ്നലുകൾ തിരിച്ചറിയുന്ന ഫോട്ടോ ഡയോഡുകൾ

(ii) വൈദ്യുതോർജത്തെ പ്രകാശോർജമാക്കുന്ന ലൈറ്റ് എമിറ്റിംഗ് ഡയോഡുകൾ (LED)

(iii) പ്രകാശവികിരണങ്ങളെ വൈദ്യുതിയാക്കി മാറ്റുന്ന ഫോട്ടോ – വോൾട്ടെയ്ക്ക് ഉപകരണങ്ങൾ (സോളാർ സെല്ലുകൾ)

(1) ഫോട്ടോ ഡയോഡ് (Photodiode)

പ്രകാശ വികിരണങ്ങളെ തിരിച്ചറിയുന്നതിനുവേണ്ടി നിർമിക്കപ്പെട്ട പി.എൻ. ജംഗ്ഷൻ ഡയോഡാണ് ഫോട്ടോ ഡയോഡ്. ഡയോഡിൽ പ്രകാശം പതിക്കുവാനനുയോജ്യമായ ഒരു ജാലകത്തോടുകൂടിയാണ് ഫോട്ടോ ഡയോഡ് നിർമ്മിച്ചിരിക്കുന്നത്. ഇത് പ്രവർത്തിക്കുന്നത് റിവേഴ്സ് ബയാസിലാണ്. ഒരു അർദ്ധചാലകത്തിന്റെ ഊർജവിടവിനേക്കാൾ കൂടുതൽ ഊർജമുള്ള പ്രകാശം (ഫോട്ടോണുകൾ) ഫോട്ടോ ഡയോഡിൽ പതിക്കുമ്പോൾ, അത് ഫോട്ടോണുകളെ ആഗിരണം ചെയ്യുന്നതുമൂലം ഇലക്ട്രോൺ ഹോൾ ജോഡികൾ രൂപം കൊള്ളുന്നു. ഡിപ്ലീഷൻ മേഖലക്കുള്ളിലോ അടുത്തോ ഇലക്ട്രോൺ ഹോൾ ജോഡികൾ രൂപപ്പെടത്തക്ക വിധത്തിലാണ് ഈ ഡയോഡ് നിർമിച്ചിട്ടുള്ളത്. ജംഗ്ഷനിൽ നിലനിർത്തിയിരിക്കുന്ന വൈദ്യുത മണ്ഡലം മൂലം, ഇലക്ട്രോണുകളും ഹോളുകളും കൂടിച്ചേരുന്നതിനു മുമ്പു തന്നെ പരസ്പരം അകലുന്നു. ഇലക്ട്രോണുകൾ n വശത്തും ഹോളുകൾ p വശത്തും എത്തിച്ചേരത്തക്കവിധമാണ് വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ ദിശ. ഇലക്ട്രോണുകൾ n വശത്തും ഹോളുകൾ p വശത്തും ശേഖരിക്കപ്പെടുന്നതുമൂലം ഒരു emf സാംജാതമാകുന്നു. ഒരു ലോഡ് പ്രതിരോധകം ഇവക്കിടയിൽ ഘടിപ്പിക്കുമ്പോൾ വൈദ്യുതി പ്രവഹിക്കുന്നു. ഫോട്ടോകറന്റിന്റെ പരിമാണം പതിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രതയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. (ഫോട്ടോകറന്റ്, പതിക്കുന്ന പ്രകാശ തീവ്രതക്ക് ആനുപാതികമാണ്).

ഒരു റിവേഴ്സ് ബയാസ് പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ, പ്രകാശതീവ്രതക്കനുസരിച്ച് കറന്റിലുണ്ടാകുന്ന മാറ്റം വേഗത്തിൽ നിരീക്ഷിക്കാം. അങ്ങനെ പ്രകാശ തരംഗങ്ങളെ നിരീക്ഷിക്കാനുള്ള ഒരു ഫോട്ടോ ഡിറ്റക്ടറായി ഫോട്ടോഡയോഡിനെ ഉപയോഗിക്കാം. I-V സവിശേഷതകൾ അളക്കുവാനായി ഉപയോഗിക്കുന്ന ഫോട്ടോഡയോഡിന്റെ സെർക്കീട്ട് ഡയഗ്രം ചിത്രം 14.23 (a) യിലും മാതൃകാ I-V സവിശേഷതകൾ ചിത്രം 14.23 (b) ലും കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 14.23 (a) റിവേഴ്സ് ബയാസിലുള്ള പ്രകാശിതമാക്കപ്പെട്ട ഒരു ഫോട്ടോ ഡയോഡ് (b) വ്യത്യസ്ത പ്രകാശിക തീവ്രതകളിൽ $I_4 > I_3 > I_2 > I_1$ ഒരു ഫോട്ടോ ഡയോഡിന്റെ I-V സവിശേഷതകൾ

ഉദാഹരണം 14.6

ഉദാഹരണം 14.6 ഫോർവേഡ് ബയാസിലെ കറന്റ് (~mA) റിവേഴ്സ് ബയാസ് കറന്റിനേക്കാൾ കൂടുതലാണ്. എന്നിട്ടും ഫോട്ടോ ഡയോഡ് റിവേഴ്സ് ബയാസിൽ പ്രവർത്തിക്കാൻ കാരണം എന്താണ്?

ഉത്തരം : ഒരു n തരം അർദ്ധചാലകത്തിൽ. മെജോറിറ്റി ചാർജ് സാന്ദ്രത (n) മൈനോറിറ്റി ചാർജ് സാന്ദ്രത (p) യേക്കാൾ (i.e., $n >> p$) വളരെ കൂടുതലാണ്. പ്രകാശം പതിക്കുമ്പോൾ അധികമായി ഉൽപാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെയും ഹോളുകളുടെയും എണ്ണം Δn ഉം Δp ഉം ആയാൽ

$$n' = n + \Delta n$$

$$p' = p + \Delta p$$

ജംഗ്ഷനിൽ പ്രകാശം പതിക്കുമ്പോഴുള്ള n' ഉം p' ഉം ഇലക്ട്രോൺ, ഹോൾ ഗാഢതകളും n, p ഇവ പ്രകാശം പതിക്കാത്തപ്പോഴുള്ള ചാർജ് ഗാഢതയും ആണ്. $\Delta n = \Delta p$, $n >> p$

* ഇലക്ട്രോൺ ഹോൾ ജോഡി നിർമിക്കുന്നതിന് നമുക്ക് കുറച്ച് ഊർജം ചെലവാക്കേണ്ടതുണ്ട്. (ഫോട്ടോ ഉത്തേജന ഊർജം, താപീയ ഉത്തേജന ഊർജം മുതലായവ) അതിനാൽ ഒരു ഇലക്ട്രോണും ഹോളും കൂടിച്ചേരുമ്പോൾ ഊർജം പ്രകാശത്തിന്റെ രൂപത്തിലോ (റേഡിയേറ്റീവ് സംയോജനം) താപത്തിന്റെ രൂപത്തിലോ (റേഡിയേറ്റീവല്ലാത്ത സംയോജനം) സ്വതന്ത്രമാക്കപ്പെടുന്നു. ഇത് ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന അർദ്ധചാലകത്തെയും, അവയുടെ p-n ജംഗ്ഷൻ രൂപീകരിച്ച രീതിയെയും ആശ്രയിക്കുന്നു.

ഉദാഹരണം 14.6

അതിനാൽ മജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരുടെ അംശീയ വ്യത്യാസം ($\Delta n/n$) മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരുടെ അംശീയ വ്യത്യാസത്തേക്കാൾ ($\Delta p/p$) കുറവാണ്. പൊതുവായി പ്രകാശ പ്രഭാവം മൂലം ഉണ്ടാകുന്ന റിവേഴ്സ് ബയാസ് കറന്റിന്റെ (മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകർ കാരണം ഉണ്ടാകുന്നത്) അംശീയ വ്യത്യാസം ഫോർവേഡ് ബയാസിന്റെ കാരണമായുള്ള കറന്റിന്റെ അംശീയ വ്യത്യാസത്തേക്കാൾ എളുപ്പത്തിൽ അളക്കാവുന്നതാണ്. അതിനാൽ ഫോട്ടോ ഡയോഡുകൾ പ്രകാശതീവ്രത അളക്കുവാൻ റിവേഴ്സ് ബയാസിൽ ഉപയോഗിക്കുന്നു.

(ii) ലൈറ്റ് എമിറ്റിംഗ് ഡയോഡ് (Light Emitting Diode)

ഉയർന്ന തോതിൽ ഡോപ്പ് ചെയ്യപ്പെട്ടതും ഫോർവേഡ് ബയാസിൽ സ്വമേധയാ വികിരണം ഉൽസർജിക്കുന്നതുമായ ഒരു p-n ജംഗ്ഷനാണ് ലൈറ്റ് എമിറ്റിംഗ് ഡയോഡ് (LED).

ഡയോഡ് ഉൽസർജിക്കുന്ന പ്രകാശം പുറത്തു വരത്തക്കവിധം സുതാര്യമായ ഒരു കവചം കൊണ്ട് ഈ ഡയോഡിനെ പൊതിഞ്ഞിരിക്കുന്നു. ഡയോഡിനെ ഫോർവേഡ് ബയാസിലാക്കുമ്പോൾ ഇലക്ട്രോണുകൾ n ൽ നിന്നും p യിലേക്ക് അയക്കപ്പെടുന്നു. (അവിടെ അവ മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരാണ്). ഹോളുകൾ p യിൽ നിന്ന് n ലേക്കും (അവിടെ അവ മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരാണ്) അയക്കപ്പെടുന്നു. അതിനാൽ ജംഗ്ഷൻ അതിരുകളിൽ മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരുടെ സാന്ദ്രത സംതുലന സാന്ദ്രതയെ അപേക്ഷിച്ച് കൂടുതലാകുന്നു. (ie. ബയാസ് പ്രയോഗിക്കാത്തപ്പോൾ)

അതിനാൽ ജംഗ്ഷന് ഇരുവശത്തുമുള്ള അതിരുകളിൽ അധികം മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകർ ഉണ്ടാവുകയും അവ മെജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരുമായി ജംഗ്ഷനു സമീപം സംയോജിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. സംയോജന വേളയിൽ ഫോട്ടോണുകളായി ഊർജം പുറപ്പെടുവിക്കുന്നു. ബാന്റ് ഗ്യാപ്പിന് തുല്യമോ ബാന്റ് ഗ്യാപ്പിനേക്കാൾ വളരെ കുറഞ്ഞതോ ആയ ഊർജമാണ് ഈ ഫോട്ടോണുകൾക്കുള്ളത്. ഡയോഡിലെ ഫോർവേഡ് കറന്റ് ചെറുതാണെങ്കിൽ, പുറത്തേക്കു വരുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത ചെറുതായിരിക്കും. ഫോർവേഡ് കറന്റ് കൂടുന്നതനുസരിച്ച്, പ്രകാശ തീവ്രത കൂടുകയും പരമാവധിയിൽ എത്തിച്ചേരുകയും ചെയ്യുന്നു. വീണ്ടും ഫോർവേഡ് കറന്റ് വർദ്ധിച്ചാൽ, പ്രകാശ തീവ്രത കുറയുന്നതിനു കാരണമാകുന്നു. പരമാവധി പ്രകാശക്ഷമത ലഭിക്കത്തക്കവിധമാണ് എൽ.ഇ.ഡി കൾ ബയാസ് ചെയ്യപ്പെടുന്നത്.

ഒരു എൽ ഇ ഡി യുടെ വോൾട്ടേജ്-കറന്റ് സ്വഭാവ സവിശേഷതകൾ ഒരു സിലിക്കൺ ജംഗ്ഷൻ ഡയോഡിന് സമമാണ്. എന്നാൽ അവയുടെ ത്രെഷോൾഡ് വോൾട്ടേജ് ഉയർന്നതും ഓരോ നിറത്തിനും വ്യത്യസ്തവുമാണ്. എൽ ഇ ഡി കളുടെ റിവേഴ്സ് ബ്രേക്ക് ഡൗൺ വോൾട്ടേജ് വളരെ ചെറുതും 5V ന് അടുത്തുമാണ്. അതുകൊണ്ട് അവയിൽ ഉയർന്ന റിവേഴ്സ് വോൾട്ടേജ് വരാതിരിക്കാൻ (പ്രയോഗിക്കാതിരിക്കാൻ) ശ്രദ്ധിക്കണം. ചെമപ്പ്, മഞ്ഞ, ഓറഞ്ച്, പച്ച, നീല പ്രകാശങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന എൽ.ഇ.ഡികൾ വ്യാവസായികമായി ലഭ്യമാണ്. ദൃശ്യപ്രകാശം ലഭിക്കുന്ന എൽ.ഇ.ഡികൾ നിർമിക്കേണ്ട അർദ്ധചാലകങ്ങൾക്ക് 1.8eV ബാന്റ് ഗ്യാപ് ഊർജമെങ്കിലും ഉണ്ടാകണം. (ദൃശ്യപ്രകാശത്തിന്റെ സ്പെക്ട്രം 0.4 μm പരിധി മുതൽ 0.7μm വരെയാണ് അതായത് 3eV മുതൽ 1.8eV വരെ). വ്യത്യസ്ത നിറങ്ങളിലുള്ള (നിറങ്ങൾ ഉൽസർജിക്കുന്ന) എൽ.ഇ.ഡി കൾ നിർമിക്കാൻ ഗാലിയം ആഴ്സനൈഡ് - ഫോസ്ഫൈഡ് അർദ്ധചാലക സംയുക്തം ഉപയോഗിക്കുന്നു. ചെമപ്പ് എൽ.ഇ.ഡി ക്കായി $GaAs_{0.6}P_{0.4}$ (E_g ~ 1.9 eV) ഉപയോഗിക്കുന്നു. GaAs (E_g ~ 1.4 eV) ഇൻഫ്രാറെഡ് എൽ.ഇ.ഡി യുടെ നിർമ്മാണത്തിന് ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഈ എൽ.ഇ.ഡി കൾ റിമോട്ട് കൺട്രോൾ, ബർഗ്ലർ അലാറം, ഒപ്റ്റിക്കൽ കമ്മ്യൂണിക്കേഷൻ തുടങ്ങിയവയിൽ വിപുലമായി ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഇൻകാന്റസന്റ് ബൾബുകൾക്കു പകരം ഉപയോഗിക്കാൻ (മാറ്റാൻ) കഴിയുന്ന വെള്ള എൽ.ഇ.ഡി കൾ ഇപ്പോൾ ലഭ്യമാണ്. പവർ കുറഞ്ഞ പരമ്പരാഗത ഇൻകാൻഡസെന്റ് ബൾബുകളെ അപേക്ഷിച്ച് എൽ.ഇ.ഡി കൾക്ക് താഴെ പറയുന്ന മേന്മകൾ ഉണ്ട്.

1. ചെറിയ പ്രവർത്തന വോൾട്ടേജും, കുറഞ്ഞ പവറും
2. പെട്ടെന്നുള്ള പ്രവർത്തനവും, ചൂടാകാനുള്ള സമയം ആവശ്യമില്ലാത്തതും
3. ഉൽസർജിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ ബാന്റ് വിഡ്ത്ത് 100 Å മുതൽ 500 Å വരെയാണ് അതായത് അത് ഏകദേശം ഏകവർണ്ണകമാണ്.

4. വേഗത്തിലുള്ള ഓൺ-ഓഫ് സ്വിച്ചിംഗ് കഴിവ് ഉണ്ട്.
5. ദീർഘായുസ്സും ഉറപ്പുമുണ്ട്.

(iii) സോളാർസെൽ (Solarcell)

സോളാർസെൽ അടിസ്ഥാനപരമായി ഒരു p-n ജംഗ്ഷനാണ്. പ്രകാശം p-n ജംഗ്ഷനിൽ വീഴുമ്പോൾ ഒരു emf ഉൽപ്പാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്ന ഫോട്ടോഡയോഡിന്റെ അതേ തത്വത്തിലാണ് ഇത് പ്രവർത്തിക്കുന്നത്. എന്നാൽ ഇതിൽ ബാഹ്യ ബയാസ് പ്രയോഗിക്കുന്നില്ല. കൂടാതെ വർദ്ധിച്ച തോതിൽ പവർ ഉൽപ്പാദനത്തിനായി കൂടുതൽ സൂര്യപ്രകാശം പതിക്കത്തക്ക വിധം ജംഗ്ഷന്റെ പരപ്പളവ് വളരെ കൂടുതലാണ്. ഒരു ലളിതമായ സോളാർ സെല്ലിനെ ചിത്രം 14.24 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 14.24 (a) ഒരു മാതൃകാ p-n ജംഗ്ഷൻ സോളാർസെൽ
(b) ഛേദതല ചിത്രം

ഏകദേശം 300 μm ഉള്ള ഒരു p-Si ക്രിസ്റ്റൽ ഇതിന്റെ നിർമ്മാണത്തിനായി (നേർത്ത പാളി) ഉപയോഗിക്കുന്നു. അതിന്റെ ഒരു വശത്ത് ഒരു നേർത്ത പാളി (0.3μm) n - Si ഡിഫ്യൂഷൻ പ്രക്രിയ വഴി ഉണ്ടാക്കുന്നു. ഇതിനോടൊപ്പം p - Si യുടെ മറുവശത്ത് ഒരു ലോഹാവരണം ഉണ്ടാക്കുകയും ചെയ്യും. തുടർന്ന് n - Si പാളിയുടെ മുകളിൽ ലോഹ ഇലക്ട്രോഡുകൾ (ഗ്രിഡ്) ഉണ്ടാക്കുന്നു. ഇത് വൈദ്യുത സമ്പർക്കമായി പ്രവർത്തിക്കുന്നു. സെല്ല് പരപ്പളവിന്റെ ചെറിയ ഭാഗം മാത്രമേ ഈ ലോഹഗ്രിഡ് വരുന്നുള്ളൂ. അതിനാൽ മുകളിൽ കൂടി പ്രകാശം സെല്ലിൽ പതിക്കുന്നു.

പ്രകാശം പതിക്കുമ്പോൾ സോളാർ സെല്ലുകളിൽ emf ഉൽപ്പാദിപ്പിക്കുന്നത് 3 അടിസ്ഥാന പ്രവർത്തനങ്ങൾ വഴിയാണ്. ഉൽപ്പാദനം, വേർതിരിയൽ, ശേഖരണം

(1) പ്രകാശം പതിക്കുമ്പോൾ ജംഗ്ഷന് അടുത്ത് e-h ജോഡികളുടെ ഉല്പാദനം
(2) ഡിപ്ലീഷൻ മേഖലയിൽ വൈദ്യുതമണ്ഡലം കാരണമായി ഇലക്ട്രോണുകളും ഹോളുകളും അകലുന്നു. ഇലക്ട്രോണുകൾ n വശത്തേക്കും ഹോളുകൾ p വശത്തേക്കും നീങ്ങുന്നു.
(3) n വശത്ത് എത്തുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളെ ലോഹഫിംഗർ ഇലക്ട്രോഡുകൾ ശേഖരിക്കുന്നു. p വശത്ത് എത്തിച്ചേരുന്ന ഹോളുകളെ ലോഹാവരണവും ശേഖരിക്കുന്നു.

അങ്ങനെ p വശം പോസിറ്റീവും n വശം നെഗറ്റീവും ആകുന്നതിനാൽ ഒരു ഫോട്ടോ വോൾട്ടേജ് രൂപപ്പെടുന്നു. ചിത്രം 14.25 (a) യിലേത് പോലെ ഒരു ബാഹ്യലോഡ് ബന്ധിപ്പിച്ചാൽ ലോഡിൽ കൂടി ഒരു ഫോട്ടോ കറന്റ് I_L ഒഴുകും. ഒരു സോളാർ സെല്ലിന്റെ മാതൃകാ I-V ക്യാരക്ടറിസ്റ്റിക് ചിത്രം 14.25 (b) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 14.25 (a) പ്രകാശിതമാക്കപ്പെട്ട ഒരു മാതൃകാ p-n ജംഗ്ഷൻ സോളാർസെൽ
(b) ഒരു സോളാർ സെല്ലിന്റെ I-V സവിശേഷതകൾ

ഒരു സോളാർ സെല്ലിന്റെ I-V ക്യാരക്ടറിസ്റ്റിക് കോർഡിനേറ്റിലെ 4-ാം ചതുർ ഖണ്ഡത്തിൽ വരച്ചിരിക്കുന്നു. സോളാർ സെല്ല് സർക്കീട്ടിൽ നിന്ന് കറന്റ് എടുക്കുന്നില്ല. മറിച്ച് ലോഡിന് കറന്റ് നൽകുന്നത് കാരണമാണിത്. 1.5 eV യോടടുത്ത് ബാന്റ് ഗ്യാപ്പുള്ള അർദ്ധചാലകങ്ങളാണ് സോളാർ സെൽ നിർമാണത്തിന് ഉത്തമമായിട്ടുള്ളത്. Si (E_g = 1.1 eV), GaAs (E_g = 1.43 eV), CdTe (E_g = 1.45 eV), $CuInSe_2$ (E_g = 1.04 eV) തുടങ്ങിയ അർദ്ധചാലകങ്ങൾ സോളാർ സെൽ നിർമാണത്തിന് ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഒരു പദാർഥം സോളാർ സെല്ല് നിർമാണത്തിന് അനുയോജ്യമാണോ എന്നതിന്റെ മാനദണ്ഡങ്ങൾ താഴെ പറയുന്നവയാണ്.

(1) ബാന്റ് ഗ്യാപ് (2) ഉയർന്ന പ്രകാശ ആഗിരണ ക്ഷമത (3) വൈദ്യുത ചാലകത (4) അസംസ്കൃത വസ്തുവിന്റെ ലഭ്യത (5) വില. സൂര്യപ്രകാശം തന്നെ ഒരു സോളാർസെല്ലിന്റെ പ്രവർത്തനത്തിന് വേണമെന്നില്ല. ബാന്റ് ഗ്യാപിനേക്കാൾ ഉയർന്ന ഊർജവാഹികളായ ഫോട്ടോണുകൾ അടങ്ങിയ ഏത് പ്രകാശത്തിനും ഇ.എം.എഫ്. സൃഷ്ടിക്കാൻ കഴിയും. ഉപഗ്രഹങ്ങളിലെ ഇലക്ട്രോണിക് ഉപകരണങ്ങൾക്കും, ശൂന്യാകാശ വാഹനങ്ങൾക്കും ഊർജം നൽകു

വാനായും ചില കാൽക്കുലേറ്ററുകളിൽ ഊർജം നൽകുവാനായും സോളാർ സെല്ലുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഉയർന്ന അളവിൽ സൗരോർജം ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്ന ചിലവ് കുറഞ്ഞ ഫോട്ടോവോൾട്ടാ സെല്ലുകളുടെ നിർമാണം ഇന്ന് ഏറ്റവും കൂടുതലായി നടക്കുന്നുണ്ട്.

ഉദാഹരണം 14.7

ഉദാഹരണം 14.7 : എന്തു കൊണ്ടാണ് Si, GaAs ഇവ സോളാർസെൽ നിർമ്മാണത്തിൽ മുൻഗണനാ വസ്തുക്കളാക്കുന്നത്?

ചിത്രം 14.26

ഉത്തരം: നമുക്ക് ലഭിക്കുന്ന സൗരോർജ സ്പെക്ട്രം ചിത്രം 14.26 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

പരമാവധി ഊർജം 1.5 eV ആണ്. പ്രകാശ ഉത്തേജനത്തിൽ $h\nu > E_g$ ആണ്. അതിനാൽ ബാൻഡ് ഗ്യാപ് 1.5 eV യോ അതിന് താഴെയോ ഉള്ള അർധചാലകങ്ങൾ മികച്ച സോളാർ പരിവർത്തനക്ഷമത നൽകുന്നു. സിലിക്കണിന് E_g ~ 1.1 eV ഉം GaAs ന് ~1.53 eV ഉം ആണ്. യഥാർഥത്തിൽ GaAs സിലിക്കണേക്കാൾ മികച്ചതാണ്. ഉയർന്ന ആഗിരണ ഗുണാങ്കം കാരണമാണിത്. നാം CdS അല്ലെങ്കിൽ CdSe (E_g ~ 2.4 eV) പോലെയുള്ള പദാർത്ഥങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചാൽ സൂര്യപ്രകാശത്തിന്റെ ഉയർന്ന ഊർജ ഘടകങ്ങൾ മാത്രമേ പ്രകാശ പരിവർത്തനത്തിന് ഉപയോഗിക്കാൻ കഴിയൂ. ബാക്കി നല്ലൊരു ഭാഗം ഉപയോഗശൂന്യം ആയി പോകുന്നു. വീണ്ടും ഒരു ചോദ്യം ഉയരാം.

എന്തു കൊണ്ടാണ് PbS (E_g ~ 0.4 eV) സോളാർസെൽനിർമിക്കാൻ ഉപയോഗിക്കാത്തത്. ഇതിൽ $h\nu > E_g$ ആണ്. ഇവയെ ഉപയോഗിച്ചാൽ കൂടുതൽ വികിരണങ്ങളും ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടും. എന്നാൽ അവ ഡിപ്ലീഷൻ റീജിയനിൽ എത്തിച്ചേരുന്നില്ല. ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രോൺ ഉൽപ്പാദനം ജംഗ്ഷനിൽ നടന്നാൽ മാത്രമേ വൈദ്യുത മണ്ഡല രൂപീകരണത്തിനു കാരണമായ ഇലക്ട്രോൺ ഹോൾ അകൽച്ച സാധ്യമാകുകയുള്ളൂ.

14.9 ജംഗ്ഷൻ ട്രാൻസിസ്റ്റർ (Junction transistor)

ട്രാൻസിസ്റ്റർ കണ്ടുപിടിച്ചതിന്റെ അംഗീകാരം 1947 ൽ അമേരിക്കയിലെ ബെൽ ടെലിഫോൺ ലബോറട്ടറീസിലെ ജെ.ബാർഡീനും W.H ബ്രാറ്റയിനുമാണ് ലഭിച്ചത്. ആ ട്രാൻസിസ്റ്റർ ഒരു ബിന്ദു-സമ്പർക്ക (point-contact) ട്രാൻസിസ്റ്റർ ആയിരുന്നു. വിപരീത ദിശയിൽ തിരിഞ്ഞിരിക്കുന്ന രണ്ട് p-n ജംഗ്ഷനുകൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ആദ്യ ജംഗ്ഷൻ ട്രാൻസിസ്റ്റർ 1951 - ൽ വില്യം ഷോക്‌ലി കണ്ടുപിടിച്ചു.

ജംഗ്ഷൻ ട്രാൻസിസ്റ്ററുകൾ മാത്രം അറിയപ്പെട്ടിരുന്ന കാലത്ത് ഇത് വെറും ട്രാൻസിസ്റ്റർ ആയി അറിയപ്പെട്ടു. എന്നാൽ വർഷങ്ങൾ കടന്നുപോയപ്പോൾ പുതിയ തരം ട്രാൻസിസ്റ്ററുകൾ കണ്ടുപിടിക്കപ്പെടുകയും പുതിയവയിൽ നിന്ന് വേർതിരിച്ചറിയാനായി ഇപ്പോൾ

പഴയതരം ട്രാൻസിസ്റ്റുകളെ ബൈപോളാർ ജംഗ്ഷൻ ട്രാൻസിസ്റ്റർ (BJT) എന്ന് വിളിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. മിക്ക സാഹചര്യങ്ങളിലും BJT യെ ട്രാൻസിസ്റ്റർ എന്ന അർഥത്തിലാണ് ഇന്ന് ഉപയോഗിക്കുന്നത്. നമ്മുടെ പഠനം BJT യിൽ മാത്രമായതുകൊണ്ട് യാതൊരു സങ്കോചവും കൂടാതെ നമുക്ക് BJT ക്ക് ട്രാൻസിസ്റ്റർ എന്ന പദം ഉപയോഗിക്കാം.

14.9.1 ട്രാൻസിസ്റ്റർ : ഘടനയും പ്രവർത്തനവും (Transistor : Sructure and action)

ഒരു ട്രാൻസിസ്റ്ററിന് മൂന്ന് ഡോപ്പ് ചെയ്യപ്പെട്ട ഭാഗങ്ങളുണ്ട്. ഇവയ്ക്കിടയിലായി രണ്ട് p-n ജംഗ്ഷനുകൾ ഉണ്ട്. ചിത്രം 14.27ൽ കാണുന്നതുപോലെ രണ്ടുതരത്തിലുള്ള ട്രാൻസിസ്റ്ററുകൾ ലഭ്യമാണ്.

(i) npn ട്രാൻസിസ്റ്റർ (npn transistor)

ഇവിടെ രണ്ട് n- തരം അർദ്ധചാലകഭാഗങ്ങളെ (എമിറ്ററും കളക്ടറും) ഒരു p- തരം, അർദ്ധചാലകഭാഗം (ബേസ്) കൊണ്ട് വേർതിരിച്ചിരിക്കുന്നു.

(ii) pnp ട്രാൻസിസ്റ്റർ (pnp transistor)

ഇവിടെ രണ്ട് p- തരം അർദ്ധചാലകഭാഗങ്ങളെ (എമിറ്റർ, കളക്ടർ) ഒരു n തരം അർദ്ധചാലകഭാഗം (ബേസ്) കൊണ്ട് വേർതിരിച്ചിരിക്കുന്നു.

npn, pnp എന്നിവയുടെ രൂപരേഖയുടെ പ്രതീകാത്മക ചിത്രീകരണം ചിത്രം 14.27 (a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഒരു ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ മൂന്ന് ഭാഗങ്ങളും വ്യത്യസ്ത കനത്തിലുള്ളതും അവയുടെ ഡോപ്പിംഗ് അളവുകൾ വ്യത്യസ്തങ്ങളുമാണ്. pnp, npn ട്രാൻസിസ്റ്ററുകളെ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്ന പ്രതീകങ്ങളിൽ (ചിത്രം 14.27(b)) അമ്പടയാളം (arrow head) ട്രാൻസിസ്റ്ററിലെ വൈദ്യുത പ്രവാഹത്തിന്റെ ദിശയെ കാണിക്കുന്നു. ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ മൂന്ന് ഭാഗങ്ങളുടേയും ഒരു ലഘുവിവരണം ചുവടെ തന്നിരിക്കുന്നു.

എമിറ്റർ (Emitter) : ഇതു ചിത്രം 14.27 (a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ ഒരു വശത്തുള്ള ഭാഗമാകുന്നു. ഇതിന് സാമാന്യ വലുപ്പവും കനത്ത ഡോപ്പിംഗും ഉണ്ട്. ഇത് ട്രാൻസിസ്റ്ററിലൂടെ വൈദ്യുത പ്രവാഹം ഒഴുക്കാൻ ആവശ്യമായ ധാരാളം മെജോറിറ്റി വാഹകരെ (Majortiy carriers) നൽകുന്നു.

ബേസ് (Base) : ഇത് മധ്യഭാഗം ആകുന്നു. ഇത് തീരെ കനം കുറഞ്ഞതും ലഘുവായി ഡോപ്പ് ചെയപ്പെട്ടതുമാകുന്നു.

കളക്ടർ (Collector): ഈ ഭാഗം എമിറ്റർ നൽകുന്ന മേജോറിറ്റിവാഹകരുടെ ഭൂരിഭാഗവും ശേഖരിക്കുന്നു. കളക്ടർ ഭാഗം സാമാന്യം ഡോപ്പ് ചെയ്യപ്പെട്ടിട്ടുള്ളതും എമിറ്ററുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ വലുപ്പക്കൂടുതലുള്ളതുമാകുന്നു.

ഒരു p-n ജംഗ്ഷൻ ഉണ്ടാകുമ്പോൾ ജംഗ്ഷനുകുറുകെ ഒരു ഡിപ്ലീഷൻ ഭാഗരൂപീകരണം ഉണ്ടെന്നുള്ളത് നാം മുമ്പ് കണ്ടിരുന്നു. എന്നാൽ ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ കാര്യത്തിൽ എമിറ്റർ – ബേസ് ജംഗ്ഷനിലും, കളക്ടർ – ബേസ് ജംഗ്ഷനിലും ഡിപ്ലീഷൻ ഭാഗങ്ങൾ രൂപീകരിക്കപ്പെടുന്നു. ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ പ്രവർത്തനം മനസ്സിലാക്കാൻ, ഈ രണ്ടു ജംഗ്ഷനിലും രൂപീകൃതമായ ഡിപ്ലീഷൻ ഭാഗങ്ങളുടെ സ്വഭാവം നമുക്ക് പരിഗണിക്കേണ്ടിവരുന്നു. ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ ടെർമിനലുകൾക്കുകുറുകെ അനുയോജ്യമായ വോൾട്ടേജുകൾ നൽകുമ്പോൾ ട്രാൻസിസ്റ്ററിലെ വിവിധ ഭാഗങ്ങളിലൂടെ കടന്ന് കുറുകെ ചാർജ് വാഹകർ ചലിക്കുന്നു.

വിവിധ ഉപയോഗങ്ങൾക്കനുസൃതമായി വിവിധ രീതിയിൽ ട്രാൻസിസ്റ്ററിനെ ബയാസിംഗ് (biasing) ചെയ്യാം. അടിസ്ഥാനപരമായി ഒരു സിഗ്നലിനെ വലിയ ഒരു സിഗ്നലാക്കി മാറ്റാനുള്ള സംവിധാനമായ ആംപ്ലിഫയറിന്റെ ധർമ്മം നിർവഹിക്കാനാണ് ഇത് കണ്ടുപിടിച്ചത്. എന്നാൽ പിന്നീട് സ്വിച്ചായുള്ള ഇതിന്റെ ഉപയോഗത്തിന് തുല്യപ്രാധാന്യം ലഭിച്ചു. നമുക്ക് ഈ രണ്ടു പ്രവർത്തനങ്ങളെക്കുറിച്ചും, ഇവ നേടാൻ ട്രാൻസിസ്റ്റർ ബയാസ് ചെയ്യപ്പെടുന്ന രീതികളെക്കുറിച്ചും പഠിക്കാം.

ആദ്യമായി ട്രാൻസിസ്റ്ററിന് ഇതിന്റെ ആംപ്ലിഫിക്കേഷൻ എങ്ങനെ ലഭിക്കുന്നു എന്നു നമുക്ക് കാണാം. ഒരു ട്രാൻസിസ്റ്റർ ഒരു ആംപ്ലിഫയറായി പ്രവർത്തിക്കാൻ, ഇതിന്റെ എമിറ്റർ – ബേസ് ജംഗ്ഷൻ ഫോർവേഡ് ബയാസ് ചെയ്യപ്പെടുകയും ബേസ് – കളക്ടർ ജംഗ്ഷൻ റിവേഴ്സ് ബയാസ് ചെയ്യപ്പെടുകയും വേണം. ഈ സാഹചര്യം ചിത്രം 14.28ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇവിടെ V_{CC}, V_{EE} എന്നിവ അതാത് ബയാസിംഗ് വോൾട്ടേജായി ഉപ

ചിത്രം 14.27 (a) npn ട്രാൻസിസ്റ്റർ, pnp ട്രാൻസിസ്റ്റർ എന്നിവയുടെ പ്രതീകാത്മക ചിത്രീകരണങ്ങൾ (b) npn, pnp ട്രാൻസിസ്റ്ററുകളുടെ ചിഹ്നങ്ങൾ

ചിത്രം 14.28 (a) pnp ട്രാൻസിസ്റ്റർ (b) npn ട്രാൻസിസ്റ്റർ എന്നിവയിൽ ബയാസ് വോൾട്ടേജ് പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ

യോഗിക്കുന്നു. ട്രാൻസിസ്റ്റർ ഈ രീതിയിൽ ബയാസ് ചെയ്യപ്പെടുമ്പോൾ ഇത് സജീവാവസ്ഥ (Active State) യിലാണെന്നു പറയപ്പെടുന്നു. നമുക്ക് എമിറ്ററിനും ബേസിനുമിടയിലുള്ള വോൾട്ടേജിനെ V_{EB} എന്നും കളക്ടറിനും ബേസിനും ഇടയിലുള്ള വോൾട്ടേജിനെ V_{CB} എന്നും സൂചിപ്പിക്കാം. ചിത്രം 14.28 ൽ ബേസ് രണ്ടു പവർ സ്രോതസ്സുകൾക്കും പൊതുവായ ടെർമിനലിലും മറ്റു ടെർമിനലുകൾ യഥാക്രമം എമിറ്റർ, കളക്ടർ എന്നിവയുമായി ബന്ധിപ്പിക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട് രണ്ട് പവർ സ്രോതസ്സുകളേയും യഥാക്രമം V_{CC}, V_{EE} എന്നിങ്ങനെ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നു. എമിറ്റർ പൊതുവായ ടെർമിനലായി ഉപയോഗിക്കുന്ന സെർക്കിട്ടുകളിൽ ബേസിനും എമിറ്ററിനുമിടയിലുള്ള പവർ സ്രോതസ്സിനെ V_{BB} എന്നും കളക്ടറിനും എമിറ്ററിനും ഇടയിലുള്ള പവർ സ്രോതസ്സിനെ V_{CC} എന്നും സൂചിപ്പിക്കാം.

എമിറ്റർ – ബേസ് ജംഗ്ഷൻ ഫോർവേഡ് ബയാസിലും ബേസ് – കളക്ടർ ജംഗ്ഷൻ റിവേഴ്സ് ബയാസിലുമാകുമ്പോൾ ട്രാൻസിസ്റ്ററിലെ ചാർജ് വാഹകരുടെ പാതകളേതെന്ന് പരിശോധിച്ചു നോക്കാം. വളരെയധികം ഡോപ്പ് ചെയ്യപ്പെട്ട എമിറ്ററിൽ മെജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരുടെ എണ്ണം ഉയർന്നതാകുന്നു, ഇത് pnp ട്രാൻസിസ്റ്ററുകളിൽ ഹോളുകളും (holes) npn ട്രാൻസിസ്റ്ററുകളിൽ ഇലക്ട്രോണുകളും ആകുന്നു. ഈ മെജോറിറ്റി ചാർജു വാഹകർ വലിയ അളവിൽ ബേസ് ഭാഗത്തേക്ക് പ്രവേശിക്കുന്നു. ബേസ് കനംകുറഞ്ഞതും ലഘുവായി ഡോപ്പ് ചെയ്യപ്പെട്ടതും ആയതിനാൽ അവിടെ മെജോറിറ്റി ചാർജ്ജ് വാഹകർ വളരെ കുറവാണ്. ഒരു pnp ട്രാൻസിസ്റ്ററിലെ ബേസ് n രീതിയിലുള്ള അർധചാലകമായതിനാൽ ബേസിലെ മെജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകർ ഇലക്ട്രോണുകളാണ്. എമിറ്ററിൽ നിന്നും ബേസിലേക്കു കടക്കുന്ന അനേകം ഹോളുകളിൽ കുറച്ച് (holes) അവിടെയുള്ള എണ്ണത്തിൽ താരതമ്യേന കുറവായ ഇലക്ട്രോണുകളുമായി കൂടിച്ചേരുന്നു. ബേസ് കളക്ടർ ജംഗ്ഷൻ റിവേഴ്സ് ബയാസ് ചെയ്യപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതിനാൽ ജംഗ്ഷനിലെ മൈനോറിറ്റിചാർജ് വാഹകരായി പ്രവേശിക്കുന്ന ബാക്കി ഹോളുകൾക്ക് പെട്ടെന്ന് ജംഗ്ഷൻ കടന്ന് കളക്ടറിൽ പ്രവേശിക്കാൻ കഴിയുന്നു. ബേസിലെ ഹോളുകൾക്ക് ഒന്നുകിൽ പുറത്തുനിന്നും ബേസിലേക്കു പ്രവേശിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുമായി സംയോജിക്കാനായി ബേസിലേക്കു നീങ്ങാനോ അല്ലെങ്കിൽ ജംഗ്ഷൻ മുറിച്ചുകടന്ന് കളക്ടറിൽ പ്രവേശിച്ച് കളക്ടർ ടെർമിനലിൽ എത്തിച്ചേരാനോ കഴിയുന്നു. ബേസ് തീരെ കനം കുറഞ്ഞതാക്കി നിർമിച്ചിരിക്കുന്നതിനാൽ മിക്ക ഹോളുകളും റിവേഴ്സ് ബയാസ് ചെയ്യപ്പെട്ട ബേസ് കളക്ടർ ജംഗ്ഷൻ സ്വയം കണ്ടുപിടിക്കുകയും ബേസ് ടെർമിനലിലേക്കു നീങ്ങുന്നതിനു പകരം ജംഗ്ഷന് കുറുകെ കടക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഫോർവേഡ് ബയാസിന്റെ ഫലമായി ഒരു വലിയ കറന്റ് എമിറ്റർ – ബേസ് ജംഗ്ഷനിൽ പ്രവേശിക്കുന്നു, എന്നാൽ ഇതിന്റെ ഭൂരിഭാഗവും സമീപമുള്ള റിവേഴ്സ് ബയാസ് ചെയ്യപ്പെട്ട ബേസ് – കളക്ടർ ജംഗ്ഷനിലേക്ക് ഒഴുകും. ബേസിൽ നിന്നും പുറത്തേക്കു വരുന്ന കറന്റിന്റെ അളവ് ജംഗ്ഷനിലേക്കു പ്രവേശിച്ച കറന്റിന്റെ വളരെ ചെറിയ ഒരു ഭാഗം മാത്രമായിരിക്കും. ഫോർവേഡ് ബയാസ് ചെയ്യപ്പെട്ട ജംഗ്ഷനു കുറുകെയുള്ള ഹോൾ കറന്റ്, ഇലക്ട്രോൺ കറന്റ് എന്നിവയെ യഥാക്രമം I_h, I_e എന്ന് പ്രതിനിധീകരിച്ചാൽ, ഫോർവേഡ് ബയാസ് ചെയ്യപ്പെട്ട ഡയോഡിലെ ആകെ വൈദ്യുത പ്രവാഹം I_e യുടെയും I_h ന്റെയും തുകയായ $I_e - I_h$ ആകുന്നു. എമിറ്ററിലെ വൈദ്യുത പ്രവാഹം $I_E = I_h + I_e$ ആണെന്ന് നാം കണ്ടു. എന്നാൽ ബേസ് കറന്റ് $I_B \ll I_h + I_e$ ആകുന്നു, എന്തുകൊണ്ടെ

ന്നാൽ I_E യുടെ ഭൂരിഭാഗവും ബേസ് ടെർമിനലിൽ നിന്നും പുറത്തേയ്ക്കു വരുന്നതിനു പകരം കളക്ടറിലേക്കു പോകുന്നു. ആയതിനാൽ, ബേസ് കറണ്ട് എമിറ്റർ കറണ്ടിന്റെ ഒരു ചെറിയ ഭാഗം മാത്രമേ വരൂ.

പുറത്തുനിന്നും എമിറ്ററിലേക്കു പ്രവേശിക്കുന്ന കറന്റ് എമിറ്റർ കറണ്ട് I_E യ്ക്ക് തുല്യമാകുന്നു. അതുപോലെ ബേസ് ടെർമിനലിൽ നിന്നും പുറത്തേക്കു വരുന്ന വൈദ്യുതി I_B യും കളക്ടർ ടെർമിനലിലേത് I_C യുമാകുന്നു. മുകളിൽപ്പറഞ്ഞ വിവരങ്ങളിൽ നിന്നും അതുപോലെ ചിത്രം 14.28 (a) യിൽ കിർക്കഫ് നിയമം ഉപയോഗിക്കുമ്പോഴും, എമിറ്റർ കറണ്ട് എന്നത് കളക്ടർ കറന്റിന്റെയും ബേസ് കറന്റിന്റെയും തുകയാണ് എന്ന് വ്യക്തമാക്കുന്നു.

$$I_E = I_C + I_B \qquad (14.7)$$

I_B തീരെ ചെറുതാകയാൽ $I_C \approx I_E$ ആണെന്ന് നമുക്ക് കാണാം.

ഹോളുകളുടെ ചലന ദിശയെക്കുറിച്ചുള്ള നമ്മുടെ വിവരണം കറണ്ടിന്റെ പരമ്പരാഗതമായ ദിശക്ക് സമാനമാണ്. പക്ഷേ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ചലനദിശ കറണ്ടിന്റെ നേരെ വിപരീതമാണ്. ആയതിനാൽ ഒരു pnp ട്രാൻസിസ്റ്ററിൽ കറണ്ട് എമിറ്ററിൽ നിന്നും ബേസിലേക്കു പ്രവേശിക്കുന്നു എന്നാൽ ഒരു npn ട്രാൻസിസ്റ്ററിൽ ഇത് ബേസിൽ നിന്നും എമിറ്ററിലേക്കു പ്രവേശിക്കുന്നു. എമിറ്ററിലെ അമ്പടയാളം പരമ്പരാഗതമായ കറണ്ടിന്റെ ദിശയെകാണിക്കുന്നു.

ഒരു npn ട്രാൻസിസ്റ്ററിൽ മെജോറിറ്റി, മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകർ പിന്തുടരുന്ന പാതകളുടെ വിശദീകരണം pnp ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റേതിന് സമാനമാണ്. എന്നാൽ കറണ്ടിന്റെ പാതകൾ ചിത്രം (14.28) ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ വിപരീതമായിരിക്കും. ചിത്രം 14.28 (b) യിൽ n രീതിയിലുള്ള എമിറ്റർ ഭാഗം നൽകുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളാണ് മുഖ്യ ചാർജ് വാഹകർ. അവ കനം കുറഞ്ഞ p ബേസ്ഭാഗത്തിന് കുറുകെ കടക്കുകയും കളക്ടറിൽ എത്തി കളക്ടർ കറണ്ട് I_C നൽകാനും കഴിവുള്ളവയാണ്. മുകളിൽപ്പറഞ്ഞ വിവരണങ്ങളിൽ നിന്നും ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ ആക്ടീവ് അവസ്ഥയിൽ എമിറ്റർ - ബേസ് ജംഗ്ഷൻ വളരെ കുറഞ്ഞ പ്രതിരോധമുള്ളതായും അതേസമയം ബേസ്-കളക്ടർ ജംഗ്ഷൻ ഉയർന്ന പ്രതിരോധമുള്ളതായും പ്രവർത്തിക്കുന്നുവെന്നും നമുക്ക് ചുരുക്കിപ്പറയാൻ കഴിയും.

14.9.2 അടിസ്ഥാന ട്രാൻസിസ്റ്റർ സെർക്കീട്ട് വിന്യാസങ്ങളും ട്രാൻസിസ്റ്റർ സവിശേഷതകളും (Basic transistor circuit configurations and transistor characteristics)

ഒരു ട്രാൻസിസ്റ്ററിൽ മൂന്ന് ടെർമിനലുകൾ മാത്രമേ ഉണ്ടാകൂ, എമിറ്റർ (E), ബേസ് (B) കളക്ടർ (C). അതുകൊണ്ട് ഒരു സർക്കീട്ടിൽ ഇൻപുട്ട്/ഔട്ട്പുട്ട് കണക്ഷനുകളിൽ ഇവയിൽ ഏതെങ്കിലും ഒന്ന് (E, B അല്ലെങ്കിൽ C) ഇൻപുട്ടിനും ഔട്ട്പുട്ടിനും പൊതുവായി കാണപ്പെടും. ഇതിന് അനുസൃതമായി, ഒരു ട്രാൻസിസ്റ്റർ ചുവടെ ചേർത്തിരിക്കുന്ന മൂന്ന് വിന്യാസങ്ങളിൽ (configuration) ഏതെങ്കിലും ഒരു രീതിയിൽ സെർക്കീട്ടുമായി ബന്ധിപ്പിച്ച് ഉപയോഗിക്കാം.

കോമൺ എമിറ്റർ (CE), കോമൺ ബേസ് (CB), കോമൺ കളക്ടർ (CC),

ട്രാൻസിസ്റ്ററുകൾ പ്രധാനമായും CE രീതിയിലാണ് ഉപയോഗിക്കുന്നത്. അതിനാൽ നമ്മുടെ ചർച്ചകൾ ഈ രീതിയിലേക്ക് മാത്രം പരിമിതപ്പെടുത്താം. സാധാരണയായി npn സിലിക്കൺ ട്രാൻസിസ്റ്ററുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നതിനാൽ നമ്മുടെ ചർച്ചകൾ അത്തരത്തിലുള്ള ട്രാൻസിസ്റ്ററുകളുടേത് മാത്രമായി ചുരുക്കാം. pnp ട്രാൻസിസ്റ്ററുകൾ ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ ബാഹ്യ പവർ സ്രോതസ്സുകളുടെ ധ്രുവങ്ങൾ npn ൽ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്നതിന്റെ എതിർ ദിശയിൽ ആക്കണം.

ചിത്രം 14.29 CE വിന്യാസത്തിലുള്ള ഒരു n-p-n ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ ഇൻപുട്ട്, ഔട്ട്പുട്ട് സവിശേഷതകൾ പഠിക്കാനുള്ള സെർക്കീട്ട് ക്രമീകരണം.

കോമൺ എമിറ്റർ ട്രാൻസിസ്റ്റർ (Common Emitter transistor characteristics) കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്സ് ഒരു ട്രാൻസിസ്റ്റർ CE വിന്യാസത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ ഇൻപുട്ട് നൽകുന്നത് ബേസിനും എമിറ്ററിനും ഇടയിലും ഔട്ട്പുട്ട് ലഭിക്കുന്നത് കളക്ടറിനും എമിറ്ററിനും ഇടയിലുമാണ്. ബേസ്-എമിറ്റർ വോൾട്ടേജ് V_{BE} യ്ക്ക് അനുസൃതമായി ബേസ് കറന്റ് I_B യിൽ ഉണ്ടാകുന്ന മാറ്റത്തെ ഇൻപുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്സ് (input characteristics) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇതുപോലെ കളക്ടർ-എമിറ്റർ വോൾട്ടേജ് V_{CE} യ്ക്ക് അനുസൃതമായി

ചിത്രം 14.30 (a) ഇൻപുട്ട് സവിശേഷതകൾ
(b) ഔട്ട്പുട്ട് സവിശേഷതകൾ

കളക്ടർ കറണ്ട് I_C യിൽ ഉണ്ടാകുന്ന മാറ്റങ്ങളെ ഔട്ട്പുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്സ് (output characteristics) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഔട്ട്പുട്ട് സവിശേഷതകൾ ഇൻപുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്കുകളാൽ നിയന്ത്രിക്കപ്പെടുന്നു. ബേസ് കറണ്ടിനനുസൃതമായി കളക്ടർ കറണ്ട് മാറുന്നതിനാലാണ് ഇങ്ങനെ സംഭവിക്കുന്നത്.

ചിത്രം 14.29 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന സെർക്കീട്ട് ഉപയോഗിച്ച് ഒരു npn ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ ഇൻപുട്ട്, ഔട്ട്പുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്കുകളെക്കുറിച്ച് പഠിക്കാൻ കഴിയും.

ഒരു ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ CE വിന്യാസത്തിലെ ഇൻപുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്കുകളെക്കുറിച്ച് പഠിക്കാനായി ബേസ് കറണ്ട് I_B യും ബേസ്-എമിറ്റർ വോൾട്ടേജ് V_{BE} യും തമ്മിലുള്ള ഒരു ഗ്രാഫ് വരയ്ക്കാം. V_{BE} യും I_B യും തമ്മിലുള്ള പരസ്പര ബന്ധം പഠിക്കുന്നതിനായി കളക്ടർ-എമിറ്റർ വോൾട്ടേജായ V_{CE} സ്ഥിരമാക്കി വയ്ക്കുക. ട്രാൻസിസ്റ്റർ ആക്ടീവ് അവസ്ഥയിലാകുമ്പോഴുള്ള ഇൻപുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്സ് ലഭിക്കാനാണ് ഇവിടെ നാം ശ്രമിക്കുന്നത്. അതുകൊണ്ട് ബേസ്-കളക്ടർ ജംഗ്ഷൻ റിവേഴ്സ് ബയാസാക്കാനായി കളക്ടർ-എമിറ്റർ വോൾട്ടേജ് V_{CE} യെ കഴിയുന്നിടത്തോളം വലുതാക്കി വയ്ക്കുക. $V_{CE} - V_{CB}$ V_{BE} ആണ്. സിലിക്കൺ ട്രാൻസിസ്റ്ററിന് V_{BE} യുടെ മൂല്യം 0.6 - 0.7 V. ആയിരിക്കും. അതുകൊണ്ട് V_{CE} 0.7V നെ അപേക്ഷിച്ച് താരതമ്യേന വലുതായിരിക്കണം. ട്രാൻസിസ്റ്റർ ആംപ്ലിഫയർ ആയി പ്രവർത്തിപ്പിക്കപ്പെടുന്ന V_{CE} യുടെ പരിധി വളരെ വലുതായതിനാൽ എല്ലാ സമയത്തും ബേസ്-കളക്ടർ ജംഗ്ഷനുകുറുകെയുള്ള റിവേഴ്സ് ബയാസ് ഉയർന്നതായിരിക്കണം. അതിനാൽ 3V മുതൽ 20V വരെയുള്ള V_{CE} യുടെ വോൾട്ടേജ് പരിധിയിൽ എവിടെയെങ്കിലുമായിരിക്കും ഇൻപുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്സ് ലഭിക്കുന്നത്. V_{CE} യിലുള്ള വർദ്ധനവ് ഏതാണ്ട് അതേ അളവിൽ V_{CB} യുടെ വർദ്ധനവിൽ പ്രത്യക്ഷമാകുന്നതുകൊണ്ട് I_B യിൽ V_{CE} യ്ക്കുള്ള സ്വാധീനം ഒഴിവാക്കാവുന്നതാണ്. തൽഫലമായി V_{CE} യുടെ വ്യത്യസ്തങ്ങളായ വിലകൾക്ക് ഒരു ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ ഇൻപുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്സ് ഏകദേശം സമാന ഗ്രാഫുകൾ നൽകുന്നു. അതുകൊണ്ട് പ്രവർത്തന സ്വഭാവം മനസ്സിലാക്കുവാൻ ഒരു ഇൻപുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിസക് മാത്രം നിർണ്ണയിച്ചാൽ മതിയാവും. ചിത്രം 14.30(a) യിൽ ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ ഇൻപുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്സ് കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

I_B സ്ഥിരമാക്കി വച്ചുകൊണ്ട് V_{CE} മാറുന്നതിനനുസരിച്ച് I_C യിലുണ്ടാകുന്ന വ്യതിയാനമാണ് ഔട്ട്പുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്കിൽ ലഭിക്കുന്നത്. V_{BE} ചെറിയ അളവിൽ വർദ്ധിപ്പിക്കുമ്പോൾ എമിറ്റർ ഭാഗത്തിലെ ഹോൾ കറന്റ് (hole current), ബേസ് ഭാഗത്തെ ഇലക്ട്രോൺ കറണ്ട് (electron current) എന്നിവ രണ്ടും വർദ്ധിക്കും. തൽഫലമായി I_B, I_C എന്നിവ രണ്ടും ആനുപാതികമായി വർദ്ധിക്കുന്നു. I_B വർദ്ധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് I_C യും വർദ്ധിക്കുന്നുവെന്ന് ഇത് കാണിക്കുന്നു. I_Bയുടെ വ്യത്യസ്തങ്ങളായ സ്ഥിര മൂല്യങ്ങൾക്ക് I_C യും V_{CE} യും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ് ഒരു ഔട്ട്പുട്ട് സവിശേഷത നൽകുന്നു. അതുകൊണ്ട് I_B യുടെ വ്യത്യസ്തങ്ങളായ വിലകൾക്ക് ചിത്രം 14.30(b) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെയുള്ള വ്യത്യസ്തങ്ങളായ ഔട്ട്പുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്സ് ഗ്രാഫുകൾ ഉണ്ടാകും.

ഇൻപുട്ട്, ഔട്ട്പുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്സിൽ രണ്ടിന്റെയും നേർരേഖാ ഭാഗങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് ട്രാൻസിസ്റ്ററുകളുടെ ചുവടെ തന്നിരിക്കുന്ന ചില പ്രധാനപ്പെട്ട ac പരാമീറ്ററുകൾ കണക്കുകൂട്ടാൻ ഉപയോഗിക്കാം.

(i) ഇൻപുട്ട് പ്രതിരോധം (r_i) (Input Resistance)

കളക്ടർ എമിറ്റർ വോൾട്ടേജ് സ്ഥിരമായിരിക്കുമ്പോൾ ബേസ് - എമിറ്റർ വോൾട്ടേജിന്റെ വ്യതിയാനവും (ΔV_{BE}) അതുണ്ടാക്കുന്ന ബേസ്കറണ്ടിന്റെ വ്യതിയാനവും (ΔI_B) തമ്മിലുള്ള അനുപാതമായാണ് ഇത് നിർവചിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത്. ഇതിന്റെ മൂല്യം മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കും (ac resistance), ഇതിന്റെ മൂല്യം ട്രാൻസിസ്റ്ററിലെ പ്രവർത്തന കറണ്ടിനുസൃതമായി വ്യത്യാസപ്പെടുന്നുവെന്ന് ഇൻപുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്സിൽ നിന്നും നമുക്ക് മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിയും.

$$r_i = \left(\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE}} \qquad (14.8)$$

r_i യുടെ മൂല്യം 100 Ω മുതൽ 1000 Ω വരെയുള്ള ഏത് വിലയുമാകാം.

(ii) ഔട്ട് പുട്ട് പ്രതിരോധം (r_0) (Output resistance) : ബേസ്കറണ്ട് I_B സ്ഥിരമായിരിക്കുമ്പോൾ, കളക്ടർ- എമിറ്റർ വോൾട്ടേജ് വ്യതിയാനവും (V_{CE}) അതുണ്ടാക്കുന്ന കളക്ടർ കറണ്ടിന്റെ വ്യതിയാനവും (ΔI_C) തമ്മിലുള്ള അനുപാതമായി ഇതിനെ നിർവചിച്ചിരിക്കുന്നു. $r_o = \left(\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}\right)_{I_B}$ (14.9)

തുടക്കത്തിൽ V_{CE} യുടെ വളരെ ചെറിയ വിലകൾക്ക് I_C ഏകദേശം രേഖീയമായി വർദ്ധിക്കുന്നുവെന്ന് ഔട്ട്പുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്കിൽ കാണാൻ കഴിയും. ഇത് സംഭവിക്കുന്നതിനുള്ള കാരണം ബേസ്-കളക്ടർ ജംഗ്ഷൻ റിവേഴ്സ് ബയാസ് ആകാത്തതിനാൽ ട്രാൻസിസ്റ്റർ ആക്ടീവ് അവസ്ഥയിലാകുന്നില്ലായെന്നതാണ്. ഔട്ട്പുട്ട് കാരക്റ്ററിസ്റ്റിക്സ് കാണിക്കുന്ന ഗ്രാഫിന്റെ ഈ ഭാഗത്ത് ട്രാൻസിസ്റ്റർ പൂരിത അവസ്ഥ (saturation state) യിലാകുകയും കറണ്ട് നൽകുന്ന വോൾട്ടേജിനാൽ V_{CC} ($-V_{CE}$) നിയന്ത്രിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു എന്നതാണ്. ബേസ്-കളക്ടർ ജംഗ്ഷനെ റിവേഴ്സ് ബയാസ് ചെയ്യുന്നതിനാവശ്യമായ വോൾട്ടേജിനേക്കാൾ V_{CE} കൂടുതലാണെങ്കിൽ, V_{CE} യ്ക്ക് അനുസൃതമായി I_C നേരിയ തോതിൽ വർദ്ധിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കും. ഔട്ട്പുട്ട് സവിശേഷത കാണിക്കുന്ന ഗ്രാഫിന്റെ രേഖീയ ഭാഗത്തെ സ്ലോപ്പിന്റെ വ്യുൽക്രമം r_0 യുടെ വിലകൾ നൽകുന്നു. ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ ഔട്ട്പുട്ട് പ്രതിരോധം പ്രധാനമായും നിയന്ത്രിക്കപ്പെടുന്നത് ബേസ്-കളക്ടർ ജംഗ്ഷന്റെ ബയാസിനാലാണ്. ഔട്ട്പുട്ട് പ്രതിരോധത്തിന്റെ ഉയർന്ന അളവിനുകാരണം ഈ ഡയോഡിന്റെ റിവേഴ്സ്-ബയാസ് അവസ്ഥയാണ്. ഗ്രാഫിന്റെ തുടക്കഭാഗത്ത് ട്രാൻസിസ്റ്റർ പൂരിത അവസ്ഥയിലായിരിക്കുമ്പോൾ പ്രതിരോധം എന്തുകൊണ്ടാണ് വളരെക്കുറവാകുന്നത് എന്നതും ഇത് വിശദീകരിക്കുന്നു.

കറന്റ് പ്രവർധനഘടകം (current amplification factor, β): ആക്ടീവ് അവസ്ഥയിലിരിക്കുന്ന ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ കളക്ടർ-എമിറ്റർ വോൾട്ടേജ് (V_{CE}) സ്ഥിരമായിക്കുമ്പോൾ കളക്ടർ കറണ്ടിന്റെ വ്യതിയാനവും (ΔI_C) ബേസ് കറണ്ടിന്റെ വ്യതിയാനവുമായുള്ള (ΔI_B) അനുപാതമായാണ് ഇത് നിർവചിച്ചിരിക്കുന്നത്.

$$\beta_{ac} = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE}} \qquad (14.10)$$

ഇതിനെ സ്മാൾ സിഗ്നൽ കറണ്ട് ഗെയ്ൻ (small signal current gain) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇതിന്റെ വില വളരെ കൂടുതലാണ്.

I_C യും I_B യും തമ്മിലുള്ള അനുപാതം എന്നാൽ കണ്ടുപിടിക്കുമ്പോൾ ലഭിക്കുന്നത് ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ β_{dc} ആകുന്നു. ആയതിനാൽ, $\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$ (14.11)

I_B ക്ക് അനുസൃതമായി I_C മിക്കവാറും രേഖീയമായിരിക്കുന്നതിനാൽ $I_B = 0$ ആകുമ്പോൾ $I_C = 0$ ആകുകയും β_{dc}, β_{ac} എന്നിവ രണ്ടും ഏകദേശം തുല്യമാകുകയും ചെയ്യുന്നു. അതിനാൽ മിക്ക കണക്കുകൂട്ടലുകൾക്കും β_{dc} ഉപയോഗിക്കാൻ കഴിയും. β_{ac}, β_{dc} ഇവരണ്ടും V_{CE} യ്ക്കും I_B യ്ക്കും (അല്ലെങ്കിൽ I_C) അനുസരിച്ച് ചെറുതായി വ്യത്യാസപ്പെടുന്നു.

ഉദാഹരണം 14.8 : ചിത്രം 14.30(b) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന ഔട്ട്പുട്ട് ഗ്രാഫിൽ നിന്നും, $V_{CE} = 10V$ ഉം $I_C = 4mA$ യും ആകുമ്പോഴുള്ള ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ βac യും βdc യും കണക്കാക്കുക.

ഉത്തരം : $\beta_{ac} = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE}}$, $\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$. V_{CE} യുടെയും I_C യുടെയും തന്നിരിക്കുന്ന വിലകളുപയോഗിച്ച് β_{ac}, β_{dc} എന്നിവ നിർണ്ണയിക്കുന്നതിന് താഴെപ്പറയുന്ന രീതി ഉപയോഗിക്കാം. തന്നിരിക്കുന്ന $I_C = (4.0mA)$ വിലയ്ക്ക് മുകളിലും താഴെയുമായി നിലകൊള്ളുന്ന I_B യുടെ ഏതെങ്കിലും രണ്ടു വിലകൾ ഗ്രാഫിൽ നിന്നും പരിഗണിക്കുക.

$I_B = 30\mu A$ യും $I_B = 20\mu A$ യും വരുന്ന രണ്ട് ഗ്രാഫുകൾ തിരഞ്ഞെടുക്കുക. $V_{CE} = 10V$ ആകുമ്പോൾ ഗ്രാഫിൽ നിന്നും I_C യുടെ രണ്ട് വിലകൾ നമുക്ക് കാണാൻ കഴിയും.

ഉദാഹരണം 14.8

ഉദാഹരണം 14.8

അപ്പോൾ $\Delta I_B = (30-20)\mu A = 10\mu A$. $\Delta I_C = (4.5 - 3.0)mA = 1.5mA$

അതുകൊണ്ട്, $\beta_{ac} = 1.5\ mA/10\mu A = 150$.

β_{dc} നിർണ്ണയിക്കുന്നതിനായി ഒന്നുകിൽ $V_{CE} = 10V$ ൽ $I_C = 4.0mA$ ആകുന്നതിനനുസൃതമായ I_B യുടെ വിലകാണുക അല്ലെങ്കിൽ തിരഞ്ഞെടുത്ത രണ്ട് ഗ്രാഫുകളിലെ β_{dc} വിലകൾ കണ്ടുപിടിച്ചതിനുശേഷം അവയുടെ ശരാശരി കണ്ടുപിടിക്കുക.

അതുകൊണ്ട് $I_C = 4.5\ A$ ആകുമ്പോൾ $I_B = 30\mu A$

$\beta_{ac} = 4.5mA/30\mu A = 150$.

$I_C = 3.0mA$ ആകുമ്പോൾ $I_B = 20\mu A$

$\beta_{dc} = 3.0\ mA/20\mu A = 150$

അതുകൊണ്ട് $\beta_{dc} = (150+150)/2 = 150$

14.9.3 ട്രാൻസിസ്റ്റർ ഒരു ഉപകരണം എന്ന നിലയിൽ (Transistor as a device)

ട്രാൻസിസ്റ്ററിൽ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന വിന്യാസം (CB, CC, CE) എമിറ്റർ-ബേസ്, ബേസ്-കളക്ടർ ജംഗ്ഷനിലെ ബയാസിംഗ്, ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ പ്രവർത്തന മേഖല (ആക്ടീവ്, കട്ട് ഓഫ്, സാച്ചുറേഷൻ) ഇവയെ ആശ്രയിച്ച് ട്രാൻസിസ്റ്ററിനെ വിവിധ തരത്തിലുള്ള ഉപകരണമായി ഉപയോഗിക്കാൻകഴിയും. നേരത്തെ സൂചിപ്പിച്ചതുപോലെ നമ്മൾ ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ CE വിന്യാസത്തിൽ മാത്രം ചർച്ച ഒതുക്കിനിർത്തുകയും സംവിധാനത്തിന്റെ പ്രവർത്തനം മനസ്സിലാക്കാൻ ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ ബയാസിംഗിലും പ്രവർത്തന ഭാഗങ്ങളിലും മാത്രം ശ്രദ്ധ കേന്ദ്രീകരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

ചിത്രം 14.31 (a) CE വിന്യാസത്തിൽ ബെയ്സ് ബയാസ് ചെയ്യപ്പെട്ട ഒരു ട്രാൻസിസ്റ്റർ (b) ട്രാൻസ്ഫർ സവിശേഷതകൾ

ഒരു ട്രാൻസിസ്റ്റർ അതിന്റെ കട്ട് ഓഫ്, പൂരിത അവസ്ഥകളിൽ ഉപയോഗിച്ചാൽ അത് സ്വിച്ച് ആയി പ്രവർത്തിക്കുന്നു. എന്നാൽ ഒരു ആംപ്ലിഫയർ ആയി ഉപയോഗിക്കണമെങ്കിൽ അതിനെ അതിന്റെ ആക്ടീവ് ഭാഗത്ത് പ്രവർത്തിപ്പിക്കേണ്ടി വരും

(i) ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ സ്വിച്ചായുള്ള പ്രവർത്തനം (Transistor as a switch)

ചിത്രം 14.31(a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ CE വിന്യാസത്തിലുള്ള ബേസ്-ബയാസ് ചെയ്ത ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ സ്വിച്ച് ആയിട്ടുള്ള പ്രവർത്തനം മനസ്സിലാക്കാൻ നമുക്ക് ശ്രമിക്കാം.

സെർക്കീട്ടിന്റെ ഇൻപുട്ട്, ഔട്ട്പുട്ട് ഭാഗങ്ങളിൽ കിർക്കഫിന്റെ വോൾട്ടേജ് നിയമം പ്രയോഗിച്ചാൽ,

$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE} \quad (14.12),$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (14.13)$$

V_{BB} യെ നമുക്ക് ഇൻപുട്ട് ഡി.സി വോൾട്ടേജായ V_i ആയും V_{CE} യെ ഔട്ട്പുട്ട് ഡി.സി വോൾട്ടേജായ V_0 ആയും സങ്കൽപിക്കാം. അതുകൊണ്ട്,

$$V_i = I_B R_B + V_{BE}$$

$$V_0 = V_{CC} - I_C R_C$$

V_i യുടെ മൂല്യം പൂജ്യത്തിൽ നിന്ന് വർദ്ധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് V_0 എങ്ങനെ വ്യത്യാസപ്പെടുന്നുവെന്ന് നമുക്ക് കാണാം. ഒരു Si ട്രാൻസിസ്റ്ററിനെ സംബന്ധിച്ച് Vi യുടെ വില 0.6V ൽ കുറഞ്ഞിരുന്നാൽ, ട്രാൻസിസ്റ്റർ കട്ട്-ഓഫ് അവസ്ഥയിലാകുകയും I_C എന്ന കറണ്ട് പൂജ്യമാകുകയും ചെയ്യും.

അതിനാൽ $V_0 = V_{CC}$

V_i യുടെ വില 0.6V നേക്കാൾ കൂടുതലായാൽ ട്രാൻസിസ്റ്റർ ആക്റ്റീവ് അവസ്ഥയിലാകുകയും ഔട്ട്പുട്ടിലൂടെ കുറഞ്ഞ കറണ്ട് (I_C) ഒഴുകുകയും, ഇതുമൂലം $I_C R_C$ യുടെ വില കൂടുന്നതിനനുസൃതമായി ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജ് V_0 കുറയുകയും ചെയ്യുന്നു. V_i യുടെ വിലകൂടുന്നതനുസരിച്ച് I_C ഏകദേശം രേഖീയമായി

വർദ്ധിക്കുന്നതുകൊണ്ട് V_0 യുടെ വില 1.0V ൽ താഴെ ആകുന്നതുവരെ രേഖീയമായി കുറയുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഇതിനപ്പുറം മാറ്റം രേഖീയമല്ലാതാവുകയും ട്രാൻസിസ്റ്റർ പൂരിത അവസ്ഥയിലാകുകയും ചെയ്യുന്നു. പിന്നീട് V_i കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജ് കുറയുകയുംപൂജ്യത്തിലേക്ക് അടുക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. എന്നാൽ ഇത് ഒരിക്കലും പൂജ്യമാകുന്നതായി കാണാൻ കഴിയില്ല. V_0, V_i എന്നിവയെ ബന്ധിപ്പിച്ച് ഒരു ഗ്രാഫ് വരച്ചാൽ [ബേസ്-ബയാസ് ചെയ്യപ്പെട്ട ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ ട്രാൻസ്ഫർ സ്വഭാവസവിശേഷതകൾ എന്നു വിളിക്കുന്നു. ചിത്രം 14.31 (b)] കട്ട് ഓഫ് - ആക്ടീവ് അവസ്ഥകൾക്കിടയിലും, ആക്റ്റീവ്-പൂരിത അവസ്ഥകൾക്കിടയിലും രേഖീയമല്ലാത്ത ഭാഗങ്ങൾ നമുക്ക് കാണാൻ കഴിയും. ഇത് സൂചിപ്പിക്കുന്നത് കട്ട് ഓഫ് അവസ്ഥയിൽ നിന്നും ആക്ടീവ് അവസ്ഥയിലേക്കോ, ആക്ടീവ് അവസ്ഥയിൽ നിന്നും പൂരിത അവസ്ഥയിലേക്കോ ഉള്ള മാറ്റം സൂക്ഷ്മമായി നിർവചിക്കപ്പെട്ടിട്ടില്ല എന്നാണ്.

ട്രാൻസിസ്റ്റർ ഒരു സ്വിച്ച് പോലെ പ്രവർത്തിക്കുന്നതെങ്ങനെയെന്ന് നോക്കാം. ട്രാൻസിസ്റ്ററിനെ ഫോർവേഡ് ബയാസ് ചെയ്യാൻ കഴിയാത്തവിധം V_i താഴ്ന്നിരിക്കുമ്പോൾ, V_0 ഉയർന്നവിലയായി തന്നെ നിൽക്കും. അതായത് (V_{CC},യിൽ). ട്രാൻസിസ്റ്ററിനെ പൂരിത അവസ്ഥയിലേക്ക് എത്തിക്കത്തക്കവിധം V_i ഉയർന്നതാണെങ്കിൽ, V_0 വളരെ താഴ്ന്ന് പൂജ്യത്തിന് അടുത്തു വരുന്നു. ട്രാൻസിസ്റ്റർ ചാലനം ചെയ്യാതിരിക്കുമ്പോൾ അത് സ്വിച്ച് ഓഫ് ആയ രീതിയിലും ഇത് പൂരിത അവസ്ഥയിലെത്തുമ്പോൾ സ്വിച്ച് ഓൺ ആയ രീതിയിലും പ്രവർത്തിക്കുന്നു. ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ കട്ട് ഓഫ് മേഖലയും, പൂരിത മേഖലയും അനുസരിച്ച് ഒരു പ്രത്യേക വോൾട്ടേജിന്റെ താഴെയും മുകളിലുമായി താഴ്ന്നനിലയും ഉയർന്ന നിലയുമായി നിർവചിക്കുകയാണെങ്കിൽ, ഉയർന്ന ഇൻപുട്ട്, ട്രാൻസ്സിസ്റ്ററിനെ ഓൺ ആക്കുകയും, താഴ്ന്ന ഇൻപുട്ട് ട്രാൻസിസ്റ്റർ ഓഫ് ആക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. മറ്റൊരു രീതിയിൽ പറഞ്ഞാൽ ട്രാൻസിസ്റ്ററിന് നൽകുന്ന താഴ്ന്ന ഇൻപുട്ട് ഉയർന്ന ഔട്ട്പുട്ടായും, ഉയർന്ന ഇൻപുട്ട് താഴ്ന്ന ഔട്ട്പുട്ടായും ലഭിക്കുന്നു. ആക്ടീവ് സ്റ്റേറ്റിൽ വരാത്ത വിധത്തിലാണ് ഇത്തരം ട്രാൻസിസ്റ്റർ സെർക്കീട്ടുകൾ രൂപകൽപ്പന ചെയ്തിരിക്കുന്നത്.

ii) ട്രാൻസിസ്റ്റർ ഒരു ആംപ്ലിഫയർ പോലെ (Transistor as an amplifier)

ട്രാൻസിസ്റ്റർ ആംപ്ലിഫയർ ആയി ഉപയോഗിക്കുന്നതിന് നമുക്ക് V_0 യും V_i യും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫിന്റെ ആക്ടീവ് ഭാഗം ഉപയോഗിക്കേണ്ടിവരും. ഗ്രാഫിന്റെ രേഖീയഭാഗത്തിന്റെ സ്ലോപ്പ് ഔട്ട്പുട്ടിന് ഇൻപുട്ട് അനുസരിച്ചുള്ള മാറ്റത്തിന്റെ നിരക്കിനെ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നു. ഔട്ട്പുട്ട് I_CR_C യ്ക്ക് പകരം V_{CC}-I_CR_C ആയതുകൊണ്ട് ഈ ഗ്രാഫിന്റെ സ്ലോപ്പ് നെഗറ്റീവ് ആയി കാണപ്പെടുന്നു. അതുകൊണ്ടാണ് ഒരു CE ആംപ്ലിഫയറിന്റെ ഇൻപുട്ട് വോൾട്ടേജ് കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജ് കുറയുന്നതും, ഔട്ട്പുട്ടും ഇൻപുട്ടും ഒരേ ഫേസിൽ അല്ലാതെ ആകുന്നതും ΔV_0, ΔV_i എന്നിവ ഔട്ട്പുട്ട് ഇൻപുട്ട് വോൾട്ടേജുകളുടെ ചെറിയ മാറ്റങ്ങളാണെങ്കിൽ $\Delta V_0/\Delta V_i$ യെ ആംപ്ലിഫയറിന്റെ സ്മാൾ സിഗ്നൽ വോൾട്ടേജ് ഗെയിൻ (voltage gain) A_v എന്നു വിളിക്കുന്നു.

V_{BB} വോൾട്ടേജിന്റെ വില, ആക്റ്റീവ് ഭാഗത്തിന്റെ മധ്യബിന്ദു സൂചിപ്പിക്കുന്ന വിലയ്ക്ക് തുല്യമായി നിശ്ചയിച്ചാൽ ആ സെർക്കീട്ട് AV_0/AV_i വോൾട്ടേജ് നേട്ടമുള്ള ഒരു CE ആംപ്ലിഫയറായി പ്രവർത്തിക്കും. ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ വോൾട്ടേജ് ഗെയ്ൻ A_v യെ സെർക്കീട്ടിലെ പ്രതിരോധകങ്ങളുടെയും കറണ്ട് ഗെയിനിന്റെയും അടിസ്ഥാനത്തിൽ നമുക്ക് താഴെ കാണും വിധം എഴുതാം.

$V_0 = V_{CC} \quad I_CR_C$ അതുകൊണ്ട് $AV_0 = 0 \quad R_C\Delta I_C$

സമാനമായി $V_i = I_BR_B + V_{BE}$ ൽ നിന്ന്

$\Delta V_i = R_B\Delta I_B \quad \Delta V_{BE}$

എന്നാൽ ഈ സെർക്കീട്ടിൽ ΔI_BR_B യുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ ΔV_{BE} യുടെ വില അവഗണിക്കത്തക്കവിധം ചെറുതാകുകയും അതുകൊണ്ട് ഈ CE ആംപ്ലിഫയറിന്റെ (ചിത്രം 14.32) വോൾട്ടേജ് ഗെയ്ൻ താഴെപ്പറയുന്ന രീതിയിൽ എഴുതാൻ കഴിയുകയും ചെയ്യുന്നു.

$$A_v = -R_C\Delta I_C / R_B\Delta I_B = -\beta_{ac}[R_C/R_B] \qquad (14.14)$$

ഇവിടെ β_{ac} സമവാക്യം (14.10)ൽ നിന്ന് $\Delta I_C/\Delta I_B$ ക്ക് തുല്യമാകുന്നു. അതുകൊണ്ട്

ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ ആക്ടീവ് റീജിയനിലെ രേഖീയ ഭാഗം ആംപ്ലിഫയറായി പ്രവർത്തിപ്പിക്കുന്നതിനായി ഉപയോഗിക്കുവാൻ കഴിയും. അടുത്ത ഭാഗത്ത് ട്രാൻസിസ്റ്റർ ഒരു ആംപ്ലിഫയറായി ഉപയോഗിക്കുന്നവിധം വിശദമായി ചർച്ച ചെയ്യാം.

14.9.4 ട്രാൻസിസ്റ്റർ ആംപ്ലിഫയർ (CE വിന്യാസം) (Transistor as an amplifier (CE configuration))

ട്രാൻസിസ്റ്റർ ഒരു ആംപ്ലിഫയറായി പ്രവർത്തിപ്പിക്കണമെങ്കിൽ അതിന്റെ V_0 - V_i ഗ്രാഫിന്റെ ആക്ടീവ് ഭാഗം പ്രയോജനപ്പെടുത്തേണ്ടിവരും. ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ ഓപ്പറേറ്റിംഗ് പോയിന്റ് ഈ ഗ്രാഫിന്റെ ആക്ടീവ് മേഖലയുടെ മധ്യഭാഗത്തായി ക്രമീകരിക്കണം. ട്രാൻസ്ഫർ ഗ്രാഫിന്റെ രേഖീയ ഭാഗത്തിന്റെ മധ്യഭാഗത്തെ ഒരു ബിന്ദു സൂചിപ്പിക്കുന്ന വില V_{BB} യുടെ വിലയായി തെരഞ്ഞെടുത്താൽ ഡി സി ബേസ് കറണ്ടായ I_B സ്ഥിരപ്പെടുകയും അതു വഴി അതിനു സദൃശമായ കളക്ടർ കറണ്ടായ I_C യും സ്ഥിരപ്പെടുകയും ചെയ്യും. അതിനാൽ ഡി.സി വോൾട്ടേജായ $V_{CE}=V_{CC}$ - I_CR_C സ്ഥിരമായി നിലനിൽക്കുന്നു. ആംപ്ലിഫയറിന്റെ പ്രവർത്തന ബിന്ദുക്കളെ നിർണ്ണയിക്കുന്നത് V_{CE} യുടെയും I_C യുടെയും പ്രവർത്തന മൂല്യങ്ങളാണ്.

ചിത്രം 14.32 CE ട്രാൻസിസ്റ്റർ ആംപ്ലിഫയറിന്റെ ഒരു ലഘു സെർക്കീട്ട്

V_S ആയതിയുള്ള ഒരു ചെറിയ തരംഗരൂപ സിഗ്നൽ വോൾട്ടേജ് V_{BB} സപ്ലൈയുമായി ശ്രേണിരീതിയിൽ വരത്തക്കവിധം ബന്ധിപ്പിച്ച് ഡി.സി ബേസ് ബയാസുമായി അതിവ്യാപനം ചെയ്യുമ്പോൾ, അത് ബേസ് കറണ്ടിന്റെ മൂല്യമായ I_Bക്ക് തരംഗരൂപ വ്യതിയാനങ്ങൾ ഉണ്ടാക്കും. ഇതിന്റെ ഫലമായി കളക്ടർ കറണ്ടിന്റെ വിലയിലും സമാനമായ തരംഗരൂപ വ്യതിയാനങ്ങൾ ഉണ്ടാകുകയും ഇതിന് അനുസൃതമായി V_0 യുടെ വിലയിൽ മാറ്റമുണ്ടാകുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇൻപുട്ട്, ഔട്ട്പുട്ട് ടെർമിനലുകളിൽ ഉണ്ടാകുന്ന ac വ്യതിയാനങ്ങൾ വലിയ കപ്പാസിറ്ററുകൾ ഉപയോഗിച്ച് ഡി.സി വോൾട്ടേജുകളെ തടഞ്ഞുകൊണ്ട് നമുക്ക് അളക്കാൻ കഴിയും.

മുകളിൽ തന്നിരിക്കുന്ന ആംപ്ലിഫയറിന്റെ വിശദീകരണത്തിൽ ഒരു എ.സി സിഗ്നലിനേയും നാം പരിഗണിച്ചിട്ടില്ല. പൊതുവായി, ആംപ്ലിഫയറുകൾ ac സിഗ്നലുകളെ ആംപ്ലിഫൈ ചെയ്യുന്നതിനാണ് ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ചിത്രം 14.32ൽ കാണുന്നതുപോലെ നമുക്ക് ഒരു എ.സി ഇൻപുട്ട് സിഗ്നലായ v_i (ആംപ്ലിഫൈചെയ്യേണ്ട സിഗ്നൽ)യെ V_{BB} (ഡി.സി) ബയാസ് വോൾട്ടതയിൽ കൂട്ടിക്കലർത്തി വിടുന്നു. ഈ സെർക്കീട്ടിൽ കളക്ടറിനും ഗ്രൗണ്ടിനുമിടയിൽ നിന്നാണ് ഔട്ട്പുട്ട് എടുക്കുന്നത്.

ആദ്യമായി നമുക്ക് $V_i = 0$ ആയി എടുത്ത്. ഔട്ട്പുട്ട് വലയത്തിൽ കിർക്കഫ് നിയമം പ്രയോഗിച്ച് വിശകലനം ചെയ്താൽ ഒരു ആംപ്ലിഫയറിന്റെ പ്രവർത്തനം എളുപ്പത്തിൽ മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിയും.

ഔട്ട്പുട്ട് വലയത്തിൽ

$$V_{CE} = V_{CC} + I_CR_C \qquad (14.15)$$

അതുപോലെ ഇൻപുട്ട് വലയത്തിൽ,

$$V_{BB} = V_{BE} + I_BR_B \qquad (14.16)$$

v_i പൂജ്യമല്ലെങ്കിൽ,

$$V_{BB} + v_i = V_{BE} + I_BR_B + \Delta I_B(R_B + r_i)$$

V_{BE} യിലുണ്ടാകുന്ന മാറ്റം ഇൻപുട്ട് പ്രതിരോധം r_i യുമായും (സമവാക്യം (14.8) പ്രകാരം) I_B യിലുണ്ടാകുന്ന മാറ്റവുമായും ബന്ധപ്പെടുത്താൻ കഴിയുന്നു. അതുകൊണ്ട്, $v_i = \Delta I_B (R_B + r_i) = r\,\Delta I_B$

I_B യിലെ മാറ്റം I_C യിലെ മാറ്റത്തിനു കാരണമാകുന്നു. സമവാക്യം (14.11) ൽ നിർവചിച്ചിരിക്കുന്ന ac ക്ക് സമാനമായി β_{ac} എന്ന പരാമീറ്ററിനെ നമുക്ക് താഴെ കാണുംവിധം നിർവചിക്കാം.

$$\beta_{ac} = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_B} = \frac{i_c}{i_b} \qquad (14.17)$$

ഇത് എ.സി.കറണ്ട് നേട്ടം A_i എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഔട്ട് പുട്ട് ഗ്രാഫിന്റെ രേഖീയഭാഗത്തിൽ β_{dc} മൂല്യം β_{ac} യുടേതിനോട് വളരെ അടുത്താകുന്നു.

I_B യിലെ മാറ്റം മൂലം I_C യിലുണ്ടാകുന്ന മാറ്റം V_{CE} യിലും R_L പ്രതിരോധകത്തിനു കുറുകെയുള്ള വോൾട്ടേജ് വ്യതിയാനത്തിലും മാറ്റമുണ്ടാക്കുന്നു (എന്തു കൊണ്ടെന്നാൽ V_{CC} ഇവിടെ സ്ഥിരമാണ്).

ഈ മാറ്റങ്ങൾ സമവാക്യം (14.15) പ്രകാരം ചുവടെ ചേർക്കും വിധം നൽകാൻ കഴിയുന്നു.

$$\Delta V_{CC} = \Delta V_{CE} + R_L \Delta I_C = 0 \text{ അല്ലെങ്കിൽ } \Delta V_{CE} = -R_L \Delta I_C$$

V_{CE} യിലെ മാറ്റം ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജ് v_0 ആകുന്നു. സമവാക്യം (14.10) ൽ നിന്ന്,

$$v_0 = \Delta V_{CE} = -\beta_{ac} R_L \Delta I_B$$

ആംപ്ലിഫയറിന്റെ വോൾട്ടേജ് നേട്ടം, $A_v = \dfrac{v_0}{v_i} = \dfrac{\Delta V_{CE}}{r \Delta I_B} = -\dfrac{\beta_{ac} R_L}{r}$ (14.18)

നെഗറ്റീവ് ചിഹ്നം ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജും ഇൻപുട്ട് വോൾട്ടേജും വിപരീത ഫേസിലാണെന്ന് സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

ട്രാൻസിസ്റ്റർ ഗ്രാഫുകളുടെ ചർച്ചകളിൽ നിന്ന് CE വിന്യാസത്തിൽ കറന്റ് നേട്ടം (current gain) β_{ac} യെക്കുറിച്ച് നിങ്ങൾ മനസ്സിലാക്കിയിട്ടുണ്ട്. ഇവിടെ നമുക്ക് വോൾട്ടേജ് നേട്ടം (voltage gain) A_vയെയും മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിഞ്ഞു. അതുകൊണ്ട് പവർ നേട്ടം (power gain)A_p യെ കറന്റ് നേട്ടത്തിന്റെയും വോൾട്ടേജ് നേട്ടത്തിന്റേയും ഗുണിതമായി സൂചിപ്പിക്കാൻ കഴുയും. ഗണിതപരമായി, $A_p = \beta_{ac} \times A_v$ (14.19)

β_{ac}, A_v എന്നിവ 1 നേക്കാൾ വലുതായതിനാൽ നമുക്ക് ac പവർനേട്ടം കൈവരിക്കാൻ കഴിയുന്നു. എന്നിരുന്നാലും ട്രാൻസിസ്റ്റർ ഒരു പവർ ഉൽപാദന സംവിധാനമല്ലെന്ന് മനസ്സിലാക്കേണ്ടതാണ്. ബാറ്ററിയാണ് ഔട്ട്പുട്ടിലെ വലിയ എ.സി.പവറിനാവശ്യമായ ഊർജം നൽകുന്നത്.

ഉദാഹരണം 14.9 : ചിത്രം 14.31 (a) യിൽ V_{BB} സപ്ലൈ 0V മുതൽ 5.0 V വരെ വ്യത്യാസപ്പെടുത്താൻ കഴിയും. സിലിക്കൺ ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ $\beta_{dc} = 250$, $R_B = 100\ \text{k}\Omega$, $R_C = 1\ \text{K}\Omega$, $V_{CC} = 5.0\text{V}$. ട്രാൻസിസ്റ്റർ പൂരിതമാകുമ്പോൾ, $V_{CE} = 0\text{V}$, $V_{BE} = 0.8\text{V}$ ആണെന്ന് അനുമാനിക്കുക. താഴെപറയുന്നവ കണക്കാക്കുക.

(a) ട്രാൻസിസ്റ്റർ പൂരിതമാകാനാവശ്യമായ കുറഞ്ഞ ബേസ് കറന്റ്, (b) ട്രാൻസിസ്റ്റർ സ്വിച്ച് ഓൺ ആകുമ്പോഴുള്ള V_i ഇവ നിർണ്ണയിക്കുക. (c) ട്രാൻസിസ്റ്റർ സ്വിച്ച് ഓഫും സ്വിച്ച് ഓണും ആകാനാവശ്യമായ V_i യുടെ പരിധികാണുക.

ഉത്തരം : പൂരിതാവസ്ഥയിൽ $V_{CE} = 0\text{V}$, $V_{BE} = 0.8\text{V}$

$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$

$I_C = V_{CC}/R_C = 5.0\text{V}/1.0\text{k}\Omega = 5.0\ \text{mA}$

അതുകൊണ്ട്, $I_B = I_C/\beta = 5.0\ \text{mA}/250 = 20\mu\text{A}$

ട്രാൻസിസ്റ്റർ പൂരിതാവസ്ഥയിലേക്ക് പോകുന്നതിനാവശ്യമായ ഇൻപുട്ട് വോൾട്ടേജ്

$V_{IH} = V_{BB} = I_B R_B + V_{BE} = 20\mu\text{A} \times 100\ \text{k}\Omega + 0.8\text{V} = 2.8\text{V}$

ട്രാൻസിസ്റ്റർ കട്ട് ഓഫ് വരെ നിലനിൽക്കുന്നതിനാവശ്യമായ ഇൻപുട്ട് വോൾട്ടേജ് നൽകപ്പെടുന്നത്, $V_{IL} = 0.6\text{V}$, $V_{IH} = 2.8\text{V}$

0.0V നും 0.6V നും ഇടയിൽ ട്രാൻസിസ്റ്റർ സ്വിച്ച് ഓഫ് അവസ്ഥയിലാകുന്നു. 2.8V നും 5.0V നും ഇടയിൽ ഇത് സ്വിച്ച് ഓൺ അവസ്ഥയിലുമാകുന്നു.

I_B യുടെ മൂല്യം 0.0mA മുതൽ 20mA വരെ വ്യത്യാസപ്പെടുമ്പോഴാണ് ട്രാൻസിസ്റ്റർ ആക്ടീവ് അവസ്ഥയിലാകുന്നതെന്ന് ശ്രദ്ധിക്കുക. ഈ പരിധിയിൽ $I_C = \beta I_B$ വിലയുള്ളതാകുന്നു. പൂരണ പരിധിയിൽ $I_C \leq \beta I_B$.

ഉദാഹരണം 14.9

ഉദാഹരണം 14.10

ഉദാഹരണം 14.10 : ഒരു CE ട്രാൻസിസ്റ്റർ ആംപ്ലിഫയറിൽ, 2.0KΩ കളക്ടർ പ്രതിരോധത്തിന് കുറുകെയുള്ള ഓഡിയോ സിഗ്നൽ വോൾട്ടേജ് 2.0V ആകുന്നു. ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ കറന്റ് ആംപ്ലിഫിക്കേഷൻ ഘടകം 100 ആണെന്ന് സങ്കൽപ്പിക്കുക. സിഗ്നൽ കറന്റിന് 10 മടങ്ങ് ഡി.സി ബേസ് കറണ്ടെങ്കിൽ 2.0V ഉള്ള V_{DD} സപ്ലയോട് ശ്രേണിയിൽ ഘടിപ്പിക്കേണ്ട പ്രതിരോധം എത്ര? കളക്ടർ പ്രതിരോധത്തിന് കുറുകെയുള്ള ഡി.സി വോൾട്ടേജും കണക്കാക്കുക. (ചിത്രം 14.33 അടിസ്ഥാനമാക്കി)

ഉത്തരം

ഔട്ട് പുട്ട് ac വോൾട്ടേജ് 2.0V ആകുന്നു. അതുകൊണ്ട് എ.സി കളക്ടർ കറന്റ് I_C=2.0/2000=1.0mA ബേസിലൂടെയുള്ള സിഗ്നൽ കറന്റ് നൽകപ്പെടുന്നത്. $i_b = i_c/\beta = 1.0\,mA/100 = 0.010$ mA ഡിസിബേസ്കറന്റ് $10\times 0.010 = 0.10$ mA ആകുന്നു. സമവാക്യം 14.16, $R_B = (V_{BB} - V_{BE})/I_B$, ആയി സങ്കൽപ്പിച്ചാൽ, $V_{BE} = 0.6$ V $R_b = (2.0 - 0.6)/0.10 = 14$ kΩ ഡി.സി കളക്ടർ കറന്റ് $I_C = 100\times 0.10 = 10$ mA.

14.9.5 ഫീഡ് ബാക്ക് ആംപ്ലിഫയറും ട്രാൻസിസ്റ്റർ ഓസിലേറ്ററും (Feed back amplifier and transistor oscillator)

ഒരു ആംപ്ലിഫയറിന്റെ ഇൻപുട്ടിൽ നൽകപ്പെടുന്ന ഒരു സിഗ്നൽ ഔട്ട്പുട്ടിൽ ആംപ്ലിഫൈ ചെയ്തു ലഭിക്കുന്നുവെന്ന് നാം കണ്ടതാണല്ലോ. ഇത് അർഥമാക്കുന്നത് ഒരു ആംപ്ലിഫയറിൽ ഔട്ട്പുട്ട് എ.സി. സിഗ്നൽ നിലനിൽക്കുന്നതിന് ഒരു ബാഹ്യ ഇൻപുട്ട് ആവശ്യമാണെന്നാണ്. ബാഹ്യ ഇൻപുട്ട് സിഗ്നൽ നൽകാതെ തന്നെ ഒരു ഓസിലേറ്ററിൽ ഔട്ട്പുട്ട് ലഭിക്കുന്നു. മറ്റൊരു രീതിയിൽ പറഞ്ഞാൽ ഒരു ഓസിലേറ്ററിന്റെ ഔട്ട് പുട്ട് സ്വയം നിലനിൽക്കുന്നതാണ്. ഇതിനുവേണ്ടി ഒരു ആംപ്ലിഫയർ ഉപയോഗിക്കാം. ചിത്രം 14.33 (a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന പോലെ ഔട്ട്പുട്ട് പവറിന്റെ ഒരു ഭാഗം ഇൻപുട്ടിലെ ആരംഭ പവറുമായി ഫേസിലാകത്തക്ക വിധം തിരികെ നൽകുന്നു. (ഈ പ്രക്രിയ പോസിറ്റീവ് ഫീഡ്ബാക്ക് എന്നറിയപ്പെടുന്നു). ഫീഡ് ബാക്ക് നിലനിർത്തപ്പെടുന്നത് ഇൻഡക്ടർ മുഖേനയോ, LC അല്ലെങ്കിൽ RC സംവിധാനങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചോ ആണ്. ഔട്ട്പുട്ടും ഇൻപുട്ടുമായി ചേർക്കുന്നതിന് (ഫീഡ്ബാക്ക് കപ്ലിംഗ്) വിവിധ തരത്തിലുള്ള ഓസിലേറ്ററുകളിൽ വിവിധ മാർഗ്ഗങ്ങൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു (ഒരു പ്രത്യേക ആവൃത്തിയിൽ ഓസിലേഷൻ സാധ്യമാക്കുന്ന അനുനാദ സെർക്കിട്ടുകൾ ഒഴികെയുള്ളവ). ഓസിലേറ്ററിന്റെ പ്രവർത്തനം മനസ്സിലാക്കാനായി ചിത്രം 14.33 (b) യിൽ നൽകിയിരിക്കുന്ന സെർക്കിട്ട് പരിഗണിക്കാം. ഇതിൽ ഇൻഡക്ടീവ് കപ്ലിംഗ് മുഖേന ഒരു കോയിൽ (T_1) നിന്നും മറ്റൊരു കോയിലിലേക്ക് ഫീഡ്ബാക്ക് സാധ്യമാക്കിയിരിക്കുന്നു. T_1, T_2 എന്നീ കോയിലുകൾ ഒരേ കോറിനുള്ളിൽ ചുറ്റിയിരിക്കുന്നതിനാൽ അവയുടെ മ്യൂചൽ ഇൻഡക്റ്റൻസിനാൽ അവ പരസ്പരം ഇൻഡക്ടീവ് കപ്ലിംഗ് ചെയ്യപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഒരു ആംപ്ലിഫയറിലേതുപോലെ, ഓസിലേറ്ററുകളിൽ ബേസ്-എമിറ്റർ ജംഗ്ഷൻ ഫോർവേഡ് ബയാസിലും ബേസ് -കളക്ടർ ജംഗ്ഷൻ റിവേഴ്സ് ബയാസിലും ക്രമീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. മനസ്സിലാക്കുവാൻ എളുപ്പത്തിനായി യഥാർഥത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുന്ന വിശദമായ ബയാസിംഗ് സെർക്കിട്ടുകൾ ഇവിടെ ഒഴിവാക്കിയിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 14.33 (a) ഒരു ഓസിലേറ്ററായി പ്രവർത്തിക്കുന്ന പോസിറ്റീവ് ഫീഡ് ബാക്ക് ഒരു ട്രാസിസ്റ്റർ ആംപ്ലിഫയറിന്റെ പ്രവർത്തനതത്വം (b) ട്യൂൺ ചെയ്യപ്പെട്ട കളക്ടർ ഓസിലേറ്റർ (c) ഇൻഡക്ടീവ് കപ്ലിംഗ് കാരണമായി I_c,I_b എന്നീ കറന്റുകളുടെ ഉയർച്ചയും താഴ്ചയും

ഓസിലേഷനുകൾ എങ്ങനെയാണ് ഉണ്ടാകുന്നതെന്ന് നമുക്ക് മനസ്സിലാക്കാൻ ശ്രമിക്കാം. അനുയോജ്യമായ ബയാസിംഗ് നൽകുന്നതിനായി സ്വിച്ച് S_1 ഓൺ ആക്കുന്നുവെന്ന് സങ്കൽപ്പിക്കുക. ഈ സമയം ട്രാൻസിസ്റ്ററിലൂടെ കളക്ടർ കറന്റിന്റെ ഒരു പ്രവാഹം ഉണ്ടാകുന്നു. ഈ കറന്റ് ടെർമിനലുകൾ 3, 4

എന്ന് അടയാളം ചെയ്യപ്പെട്ട T_2 കോയിലിലൂടെ ഒഴുകുന്നു. (ചിത്രം 14.33 (b). സ്വിച്ച് ഓണാക്കുന്ന ക്ഷണത്തിൽ തന്നെ ഈ കറന്റ് പരമാവധി മൂല്യത്തിലെത്താതെ ചിത്രം 14.15 (i). ൽ കാണുന്നതുപോലെ X ൽ നിന്നു Y യിലേക്ക് വർദ്ധിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു. T_1 T_2 കോയിലുകൾ തമ്മിലുള്ള ഇൻഡക്ടീവ് കപ്ലിംഗ് എമിറ്റർ സെർക്കീട്ടിലൂടെ ഒരു കറന്റ് ഒഴുകുന്നതിന് കാരണമാകുന്നു. (ഇത് യഥാർഥത്തിൽ ഇൻപുട്ടിൽ നിന്നും ഔട്ട്പുട്ടിലേക്കുള്ള ഫീഡ്ബാക്കാണ്). പോസിറ്റീവ് ഫീഡ്ബാക്കിന്റെ ഫലമായി ഈ കറന്റ് (T_2 ലെ എമിറ്റർ കറന്റ്) X′ ൽ നിന്നും Y′ ലേയ്ക്ക് [ചിത്രം 14.33 (c) (ii)] വർദ്ധിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു. കളക്ടർ സെർക്കീട്ടിൽ ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന T_2 ലെ കളക്ടർ കറന്റ് (collector current) വർദ്ധിച്ച് ട്രാൻസിസ്റ്റർ സാച്ചുറേറ്റഡ് ആകുമ്പോൾ Y എന്ന മൂല്യത്തിൽ എത്തിച്ചേരുന്നു. ഇത് അർഥമാക്കുന്നത് കളക്ടർ കറണ്ട് പരമാവധി മൂല്യത്തിൽ എത്തിയെന്നും ഇനി കൂടുതൽ വർദ്ധനവ് സാധ്യമല്ലായെന്നും ആണ്. കളക്ടർ കറന്റിന് പിന്നീട് മാറ്റമുണ്ടാകാത്തതു കൊണ്ട് T_2ന് ചുറ്റുമുള്ള കാന്തിക മണ്ഡല വർദ്ധനവ് നിലയ്ക്കുന്നു. കാന്തിക മണ്ഡലം സ്ഥിരമാകുമ്പോൾ T_2 വിൽ നിന്നും T_1 ലേയ്ക്കുള്ള ഫീഡ് ബാക്ക് നിലയ്ക്കുന്നു. തുടർച്ചയായി ഫീഡ് ബാക്ക് ലഭിക്കാത്തതിനാൽ എമിറ്റർ കറണ്ട് കുറയാൻ തുടങ്ങുന്നു. തൽഫലമായി കളക്ടർ കറന്റ് Y യിൽ നിന്നും Z ലേക്ക് [ചിത്രം 14.33(c) (i)]. കുറയുന്നു. കളക്ടർ കറന്റിലുണ്ടാകുന്ന കുറവ് T_2 കോയിലിന് ചുറ്റുമുള്ള കാന്തിക മണ്ഡലം കുറയുന്നതിന് കാരണമാകുകയും ചെയ്യുന്നു. അതുകൊണ്ട് T_2 വിലെ കുറഞ്ഞുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന മണ്ഡലം T_1 നേയും ബാധിക്കുന്നു. (ആദ്യം തുടങ്ങിയ പ്രവർത്തനത്തിൽ മണ്ഡലം വർദ്ധിക്കുന്നതിൽ നിന്നും വിപരീത ദിശയിലാണ് ഇവിടെ കാണാൻ കഴിയുന്നത്). ഇത് പിന്നീടുള്ള എമിറ്റർ കറന്റിന്റെ താഴ്ചയ്ക്കും കാരണമായി Z′ വരെ എത്തിച്ചേരുകയും ട്രാൻസിസ്റ്റർ കട്ട് ഓഫ് (Cutt off) ആകുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇത് അർഥമാക്കുന്നത് I_b, I_c, ഇവ രണ്ടും നിലയ്ക്കുന്നു എന്നാണ്. അതുകൊണ്ട് ട്രാൻസിസ്റ്റർ അതിന്റെ യഥാർഥ അവസ്ഥയിലേക്ക് തിരികെ പോകുന്നു (പവർ ആദ്യമായി സ്വിച്ച് ഓൺ ആകുന്നതുപോലെ). ഈ പ്രക്രിയകളെല്ലാം, അതായത് ട്രാൻസിസ്റ്റർ സാച്ചുറേഷൻ അവസ്ഥയിലേക്കും പിന്നീട് കട്ട് ഓഫിലേക്കും ശേഷം സാച്ചുറേഷൻ അവസ്ഥയിലേക്കും തിരികെ പോകുന്നതുമായ പ്രവർത്തനങ്ങൾ തുടർച്ചയായി ആവർത്തിക്കപ്പെടുന്നു. പൂരിതാവസ്ഥയിൽ നിന്ന് കട്ട് ഓഫിലേക്കും തിരികെയുമുള്ള മാറ്റത്തിന് ആവശ്യമായ സമയം നിർണയിക്കപ്പെടുന്നത് ടാങ്ക് സെർക്കീട്ടിലെ അല്ലെങ്കിൽ ട്യൂൺ ചെയ്യപ്പെട്ട സെർക്കീട്ടിലെ ചില സ്ഥിരാങ്കങ്ങളാണ് (T_2 കോയിലിന്റെ ഇൻഡക്റ്റൻസ് L ഉം അതിന് സമാന്തരമായി ബന്ധിച്ചിരിക്കുന്ന C യും ആണ്). ഈ ട്യൂൺ ചെയ്യപ്പെട്ട സെർക്കീട്ടിന്റെ അനുനാദ ആവൃത്തി (ν) യാണ്. ഓസിലേറ്റർ ഏത് ആവൃത്തിയിൽ ഓസിലേറ്റ് ചെയ്യപ്പെടുന്നുവെന്ന് നിശ്ചയിക്കുന്നത്.

$$\nu = \left(\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\right) \qquad (14.20)$$

(ചിത്രം 14.33 (b) യിലെ സെർക്കീട്ടിൽ, ടാങ്ക് അല്ലെങ്കിൽ ട്യൂൺ ചെയ്യപ്പെടുന്ന സെർക്കീട്ട് കളക്ടർ ഭാഗത്താണ് ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നത്. അതുകൊണ്ട് ഇതിനെ ട്യൂൺ ചെയ്യപ്പെട്ട കളക്ടർ ഓസിലേറ്റർ (Tuned collector oscillator) എന്നറിയപ്പെടുന്നു.

ബേസ് ഭാഗത്താണ് ട്യൂൺ ചെയ്യപ്പെടുന്ന സെർക്കീട്ടുള്ളതെങ്കിൽ ഇതിനെ ട്യൂൺ ചെയ്യപ്പെട്ട ബേസ് ഓസിലേറ്റർ എന്നു വിളിക്കുന്നു. ടാങ്ക് സെർക്കീട്ടുകൾ (RC) പോലെ പലതരം ഫീഡ് ബാക്ക് സെർക്കീട്ടുകൾ ഉള്ള വിവിധ തരം ഓസിലേറ്ററുകൾ ഉണ്ട്. കോൾപിറ്റ് ഓസിലേറ്റർ, ഹാർട്ട്ലീ ഓസിലേറ്റർ, RC ഓസിലേറ്റർ എന്നിവ അവയിൽ ചിലതാണ്.

14.10 ഡിജിറ്റൽ ഇലക്ട്രോണിക്സും ലോജിക് ഗേറ്റുകളും (Digital Electronics and Logic gates)

ആംപ്ലിഫയറുകൾ, ഓസിലേറ്ററുകൾ തുടങ്ങി മുൻഭാഗങ്ങളിൽ വിവരിച്ച ഇലക്ട്രോണിക് സെർക്കീട്ടുകളിലെ സിഗ്നലുകൾ തുടർച്ചയായതും സമയത്തിനുസരിച്ച് മാറുന്ന വോൾട്ടേജ് അല്ലെങ്കിൽ കറന്റ് രൂപത്തിലുമായിരുന്നു. ഇത്തരം സിഗ്നലുകളെ അനലോഗ് സിഗ്നലുകൾ എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഒരു അനലോഗ് സിഗ്നൽ ചിത്രം 14.34 (a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ചിത്രം 14.34 (b) യിൽ ഒരു പൾസ് തരംഗരൂപത്തെ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. ഈ തരംഗത്തിന് വോൾട്ടേജിന്റെ വിഛിന്ന വിലകൾ (descrete values) മാത്രമേ സാധ്യമാകുകയുള്ളൂ. ഇത്തരം സിഗ്നലുകളെ ബൈനറി സംഖ്യാ സമ്പ്രദായമുപയോഗിച്ച് പ്രതിനിധീകരിക്കാവുന്നതാണ്. ഒരു ബൈനറി സംഖ്യയ്ക്ക് രണ്ട് അക്കങ്ങൾ മാത്രമേയുള്ളൂ. - '0' യും (ഉദാഹരണമായി 0V) '1' ഉം (ഉദാഹരണമായി 5V). ചിത്രം 14.34 (b) യിൽ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഈ രണ്ടു വോൾട്ടേജ് നിലകൾ മാത്രമാണ് നാം ഡിജിറ്റൽ ഇലക്ട്രോണിക്സിൽ ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ഇത്തരം സിഗ്നലു

കളെ ഡിജിറ്റൽ സിഗ്നലുകൾ (digital signals) എന്നു പറയുന്നു. ഡിജിറ്റൽ സെർക്കീട്ടുകളിൽ ഇൻപുട്ട് വോൾട്ടേജിനും ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജിനും രണ്ടു വിലകൾ ('0' അഥവാ '1' ഉപയോഗിച്ച് രേഖപ്പെടുത്തുന്നു) മാത്രമാണ് അനുവദനീയം. ഡിജിറ്റൽ ഇലക്ട്രോണിക്സിനെ കുറിച്ചുള്ള ഒരു അവബോധമുണ്ടാക്കുന്നതിനായുള്ള ആദ്യപടിയായാണ് ഈ ഭാഗം നാം ചർച്ച ചെയ്യുന്നത്. നമ്മുടെ ചർച്ച ഇനി ഡിജിറ്റൽ ഇലക്ട്രോണിക്സിന്റെ അടിസ്ഥാനഘടകങ്ങളായ ലോജിക് ഗേറ്റുകളിലേക്ക് (Logic Gates) ചുരുക്കാം. ഇവ ചില പ്രത്യേക രീതിയിൽ ഡിജിറ്റൽ സിഗ്നലുകളെ കൈകാര്യം ചെയ്യുന്ന സെർക്കീട്ട് ഘടകങ്ങളാണ്. കാൽക്കുലേറ്ററിലും ഡിജിറ്റൽ വാച്ചുകളിലും കംപ്യൂട്ടറുകളിലും റോബോട്ടുകളിലും വ്യവസായശാലകളിലെ നിയന്ത്രണ സംവിധാനങ്ങളിലും വിദൂര വാർത്താവിനിമയത്തിലുമെല്ലാം നാം ലോജിക് ഗേറ്റുകളെ ഉപയോഗപ്പെടുത്താറുണ്ട്.

നമ്മുടെ വീടുകളിലെ വൈദ്യുത സ്വിച്ചിനെ ഒരു ഡിജിറ്റൽ സെർക്കീട്ടിന് ഉദാഹരണമായി കണക്കാക്കാം. സ്വിച്ചിന്റെ സ്ഥാനമനുസരിച്ച് ബൾബ് ON അഥവാ OFF ആകുന്നു. ബൾബ് പ്രകാശിക്കുമ്പോൾ - ON ആകുമ്പോൾ - ഔട്ട് പുട്ട് '1' ആണ്. ബൾബ് OFF ആകുമ്പോൾ ഔട്ട് പുട്ട് 'O' ആകുന്നു. സ്വിച്ചിന്റെ സ്ഥാനങ്ങളാണ് ഇവിടെ ഇൻപുട്ട്

ചിത്രം 14.34 (a) അനലോഗ് സിഗ്നൽ, (b) ഡിജിറ്റൽ സിഗ്നൽ.

ആയി പ്രവർത്തിക്കുന്നത്. സ്വിച്ചിനെ ON അഥവാ OFF സ്ഥാനങ്ങളിൽ ക്രമീകരിച്ച് ബൾബിനെ പ്രവർത്തന സജ്ജമാക്കുന്നു.

(a)

ഇൻപുട്ട്	ഔട്ട്പുട്ട്
A	Y
0	1
1	0

(b)

ചിത്രം 14.35 NOT ഗേറ്റിന്റെ (a) ലോജിക് അടയാളവും (b) ട്രൂത്ത് ടേബിളും

14.10 ലോജിക് ഗേറ്റുകൾ (Logic Gates)

ഇൻപുട്ട്, ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജുകൾക്കിടയിൽ ഒരു യുക്തിപരമായ ബന്ധം (Logical relationship) നിലനിർത്തുന്ന ഡിജിറ്റൽ സെർക്കീട്ടുകളാണ് ഗേറ്റുകൾ. അതിനാൽ അവ പൊതുവായി ലോജിക് ഗേറ്റുകൾ എന്നറിയപ്പെടുന്നു. 'വിവരങ്ങളുടെ ഒഴുക്കിനെ' ഇവ നിയന്ത്രിക്കുന്നു. സാധാരണയായി ഉപയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ലോജിക് ഗേറ്റുകളാണ് NOT, AND, OR, NAND, NOR എന്നിവ. ഓരോ ലോജിക്ഗേറ്റിനെയും ഒരു ലോജിക് അടയാളം (Symbol) ഉപയോഗിച്ച് പ്രതിനിധീകരിക്കാം. ഒരു ലോജിക് ഗേറ്റ് സെർക്കീട്ടിൽ സാധ്യമായ എല്ലാ ഇൻപുട്ട് വിലകളും അവയുടെ ഔട്ട്പുട്ടു വിലകളും സൂചിപ്പിക്കുന്ന പട്ടികയെ ട്രൂത്ത് ടേബിൾ എന്ന് വിളിക്കുന്നു. ലോജിക് ഗേറ്റുകളുടെ സ്വഭാവം മനസ്സിലാക്കാൻ ട്രൂത്ത് ടേബിൾ സഹായിക്കുന്നു. അർധചാലക ഘടകങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് ഈ ലോജിക് ഗേറ്റുകളെ നിർമിക്കാം.

(i) NOT ഗേറ്റ്

ഒരു ഇൻപുട്ടും ഒരു ഔട്ട്പുട്ടും ഉള്ള അടിസ്ഥാന ഗേറ്റാണിത്. ഇൻപുട്ട് '0' ആയാൽ ഔട്ട്പുട്ട് '1' ആകുന്നു. ഇൻപുട്ട് '1' ആയാൽ ഔട്ട്പുട്ട് '0' ഉം നൽകുന്നു. ഇൻപുട്ടിന്റെ ഒരു വിപരീതമായ പതിപ്പ് അത് ഔട്ട്പുട്ടിൽ നൽകുന്നു. അതിനാൽ ഇത് ഇൻവെർട്ടർ എന്നും അറിയപ്പെടുന്നു. സാധാരണ ഉപയോഗിക്കുന്ന ലോജിക് അടയാളവും, ട്രൂത്ത് ടേബിളും ചിത്രം 14.35 ൽ നൽകിയിരിക്കുന്നു.

(ii) OR ഗേറ്റ്

ഒരു OR ഗേറ്റിന് രണ്ടോ അതിലധികമോ ഇൻപുട്ട് ഉണ്ട്. എന്നാൽ ഒരു ഔട്ട് പുട്ട് മാത്രമേ ഉള്ളൂ. ഇതിന്റെ ലോജിക് അടയാളവും ട്രൂത്ത് ടേബിളും ചിത്രം 14.36 ൽ നൽകിയിരിക്കുന്നു. ഇൻപുട്ട് A യോ ഇൻപുട്ട് B യോ അല്ലെങ്കിൽ ഇവ രണ്ടുമോ 1

(a)

ഇൻപുട്ട്		ഔട്ട്പുട്ട്
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(b)

ചിത്രം 14.36 OR ഗേറ്റിന്റെ (a) ലോജിക് അടയാളവും (b) ട്രൂത്ത് ടേബിളും

ആയാൽ ഔട്ട്പുട്ട് Y യുടെ വില 1 എന്ന് ലഭിക്കും. അതായത് ഇൻപുട്ടുകളിൽ ഏതെങ്കിലും ഒന്ന് ഉയർന്നതാണെങ്കിൽ ഔട്ട്പുട്ട് ഉയർന്നതായിരിക്കും.

മുകളിലെ ഗണിത ലോജിക് പ്രവർത്തനത്തിന് പുറമേ താഴത്തെ ഉദാഹരണത്തിലേത് പോലെ സ്പന്ദനതരംഗങ്ങളിൽ മാറ്റം വരുത്താനും ലോജിക് ഗേറ്റ് കൊണ്ട് കഴിയും.

ഉദാഹരണം 14.11 : ചിത്രം 14.37 ൽ നൽകിയിരിക്കുന്ന A, B എന്നീ ഇൻപുട്ട് കൾക്ക് OR ഗേറ്റ് നൽകുന്ന ഔട്ട്പുട്ട് തരംഗരൂപം Y സാധൂകരിക്കുക.

- $t < t_1$ ൽ ; A = 0, B = 0; അതിനാൽ Y = 0
- t_1 മുതൽ t_2 വരെ; A = 1, B = 0; അതിനാൽ Y = 1
- t_2 മുതൽ t_3 വരെ: A = 1, B = 1; അതിനാൽ Y = 1
- t_3 മുതൽ t_4 വരെ: A = 0, B = 1; അതിനാൽ Y = 1
- t_4 മുതൽ t_5 വരെ: A = 0, B = 0; അതിനാൽ Y = 0
- t_5 മുതൽ t_6 വരെ; A = 1, B = 0; അതിനാൽ Y = 1
- $t > t_6$ ൽ; A = 0, B = 1; അതിനാൽ Y = 1

[അതുകൊണ്ട് തരംഗരൂപം Y ചിത്രം 14.37) ലേതു പോലെയാണ്.

ചിത്രം 14.37

ഉദാഹരണം 14.11

(iii) AND ഗേറ്റ്

രണ്ടോ അതിലധികമോ ഇൻപുട്ടുകളും ഒരു ഔട്ട്പുട്ടുമാണ് ഇതിനുള്ളത്. ഇൻപുട്ട് A യും ഇൻപുട്ട് B യും 1 ആയാൽ മാത്രം ഔട്ട്പുട്ട് 1 ആകും. ലോജിക് അടയാളവും ട്രൂത്ത് ടേബിളും ചിത്രം 14.38 ൽ നൽകിയിരിക്കുന്നു.

(a)

ഇൻപുട്ട്		ഔട്ട്പുട്ട്
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

(b)

ചിത്രം 14.38 AND ഗേറ്റിന്റെ (a) ലോജിക് അടയാളവും (b) ട്രൂത്ത് ടേബിളും

ഉദാഹരണം 14.12

ഉദാഹരണം 14.12: A, B എന്നീ ഇൻപുട്ട് തരംഗങ്ങളെ ഉദാഹരണം 14.11 ലേതായി എടുക്കുന്നു. AND ഗേറ്റ് നൽകുന്ന ഔട്ടപുട്ട് തരംഗം വരക്കുക.

ഉത്തരം:

- $t \le t_1$ ൽ; A = 0, B = 0; അതിനാൽ Y = 0
- t_1 മുതൽ t_2 വരെ; A = 1, B = 0; അതിനാൽ Y = 0
- t_2 മുതൽ t_3 വരെ: A = 1, B = 1; അതിനാൽ Y = 1
- t_3 മുതൽ t_4 വരെ: A = 0, B = 1; അതിനാൽ Y = 0
- t_4 മുതൽ t_5 വരെ; A = 0, B = 0; അതിനാൽ Y = 0
- t_5 മുതൽ t_6 വരെ; A = 1, B = 0; അതിനാൽ Y = 0
- $t > t_6$ ൽ: A = 0, B = 1; അതിനാൽ Y = 0

മുകളിലെ വിലകളെ അടിസ്ഥാനമാക്കി താഴെ തരുന്ന പ്രകാരം ഔട്ട്പുട്ട് തരംഗത്തെ വരക്കാം. (ചിത്രം 14.39)

ചിത്രം 14.39

(iv) NAND ഗേറ്റ്

ഒരു AND ഗേറ്റിന്റെ ഔട്ട്പുട്ട് NOT ഗേറ്റിന്റെ ഇൻപുട്ടുമായി യോജിപ്പിച്ചതാണ് NAND ഗേറ്റ് ഉണ്ടാക്കുന്നത്. ഇൻപുട്ടുകൾ A യും B യും 1 ആണെങ്കിൽ ഔട്ട്പുട്ട് 1 ആകില്ല. ഈ ഗേറ്റിന് ഈ പേര് ലഭിച്ചത് NOT, AND സ്വഭാവം മൂലമാണ്. NAND ഗേറ്റിന്റെ ലോജിക് അടയാളവും ട്രൂത്ത് ടേബിളും ചിത്രം 14.40 നൽകിയിരിക്കുന്നു.

NAND ഗേറ്റുകൾ സാർവത്രിക ഗേറ്റുകൾ എന്നറിയപ്പെടുന്നു. മറ്റ് അടിസ്ഥാന ഗേറ്റുകളായ OR, AND, NOT ഇവ NAND ഗേറ്റ് ഉപയോഗിച്ച് നിർമിക്കാൻ കഴിയും. പരിശീലന പ്രശ്നങ്ങൾ (14.16 ഉം 14.17 ഉം)

(a)

ഇൻപുട്ട്		ഔട്ട്പുട്ട്
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(b)

ചിത്രം 14.40 NAND ഗേറ്റിന്റെ (a) ലോജിക് അടയാളവും (b) ട്രൂത്ത് ടേബിളും

ഉദാഹരണം 14.13

ഉദാഹരണം 14.13: താഴെ പറയുന്ന A, B ഇൻപുട്ട് വിലകൾ ഉള്ള ഒരു NAND ഗേറ്റ് ചിത്രീകരിക്കുക.

ഉത്തരം:

- $t < t_1$ ൽ; A = 1, B = 1; അതിനാൽ Y = 0
- t_1 മുതൽ t_2 വരെ; A = 0, B = 0; അതിനാൽ Y = 1
- t_2 മുതൽ t_3 വരെ; A = 0, B = 1; അതിനാൽ Y = 1
- t_3 മുതൽ t_4 വരെ; A = 1, B = 0; അതിനാൽ Y = 1

- t_1 മുതൽ t_3 വരെ; A = 1, B = 1; അതിനാൽ Y = 0
- t_3 മുതൽ t_5 വരെ; A = 0, B = 0; അതിനാൽ Y = 1
- $t > t_5$ ൽ; A = 0, B = 1; അതിനാൽ Y = 1

ചിത്രം 14.41

(v) NOR ഗേറ്റ്

ഇതിന് രണ്ടോ അതിലധികമോ ഇൻപുട്ട് ഉണ്ട്. ഒരു ഔട്ട്പുട്ട് മാത്രമേ ഉള്ളു. OR ഗേറ്റിന്റെ ഔട്ട്പുട്ടിൽ ഒരു NOT ഗേറ്റ് ഘടിപ്പിച്ചാൽ NOT - OR ഗേറ്റ് അഥവാ NOR ഗേറ്റ് ലഭിക്കും. A, B എന്നീ രണ്ട് ഇൻപുട്ടുകളും '0' ആകുമ്പോൾ ഔട്ട് പുട്ട് Y യുടെ വില '1' എന്ന് ലഭിക്കും. ഇതിന്റെ ലോജിക് അടയാളവും ട്രൂത്ത് ടേബിളും ചിത്രം 14.42 ൽ നൽകിയിരിക്കുന്നു.

(a)

ഇൻപുട്ട്		ഔട്ട്പുട്ട്
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(b)

ചിത്രം 14.42 NOR ഗേറ്റിന്റെ (a) ലോജിക് അടയാളവും (b) ട്രൂത്ത് ടേബിളും

NOR ഗേറ്റുകളെ സാർവത്രിക ഗേറ്റുകളായി കരുതുന്നു. കാരണം NOR ഗേറ്റ് മാത്രമുപയോഗിച്ച് മറ്റ് അടിസ്ഥാന ഗേറ്റുകളായ AND, OR, NOT ഇവ നിർമിക്കാം. (പരിശീലന പ്രശ്നങ്ങൾ 14.18 ഉം 14.19)

14.11 ഇന്റഗ്രേറ്റഡ് സെർക്കീട്ടുകൾ (Integrated Circuits)

ഡയോഡുകൾ, ട്രാൻസിസ്റ്ററുകൾ, റസിസ്റ്ററുകൾ, ഇൻഡക്ടറുകൾ, കപ്പാസിറ്ററുകൾ മുതലായ ഘടകങ്ങളെ ആവശ്യാനുസരണം സോൾഡറിംഗ് വഴി കൂട്ടിയോജിപ്പിച്ചാണ് നാം സാധാരണയായി ഇലക്ട്രോണിക് സെർക്കീട്ടുകൾ നിർമിക്കാറുള്ളത്.

ട്രാൻസിസ്റ്ററുകളുടെ കണ്ടുപിടിത്തം പോലും ഇത്തരം സെർക്കീട്ടുകളുടെ വലുപ്പം ഗണ്യമായി കുറയ്ക്കാൻ സഹായകരമായിരുന്നില്ല. ഈ സെർക്കീട്ടുകൾ കേടുപാടുകൾ ഉണ്ടാകുന്നതിൽ നിന്നും പൂർണ്ണമായും മുക്തമായിരുന്നില്ല. എന്നാൽ ഒരു പൂർണ്ണ സെർക്കീട്ടിനെ ഒന്നാകെ (റസിസ്റ്ററുകൾ, കപ്പാസിറ്ററുകൾ തുടങ്ങിയ ഉദാസീന ഘടകങ്ങളും ഡയോഡുകൾ, ട്രാൻസിസ്റ്ററുകൾ മുതലായ സജീവ ഘടകങ്ങളും ഉൾക്കൊള്ളിച്ചുകൊണ്ട്) ഒരു ചെറിയ അർദ്ധചാലകപാളി (ചിപ്പിൽ) സൃഷ്ടിച്ചെടുക്കുക എന്ന ആശയം ഇലക്ട്രോണിക് സാങ്കേതിക വിദ്യയിൽ വലിയ വിപ്ലവം സൃഷ്ടിച്ചു. ഇത്തരം സെർക്കീട്ടുകൾ ഇന്റഗ്രേറ്റഡ് സെർക്കീട്ടുകൾ IC) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. മോണോലിത്തിക് ഇന്റഗ്രേറ്റഡ് സെർക്കീട്ട് (Monolithic Integrated Circute) സാങ്കേതികവിദ്യയാണ് ഇതിനായി സാധാരണയായി ഉപയോഗിച്ചു വരുന്നത്. 'ഒന്ന്' എന്നർഥമുള്ള 'മോണോസ്പാ' (Monospa) കല്ല് എന്നർഥമുള്ള 'ലിത്തോസ്' (Lithos) എന്നീ രണ്ടു ഗ്രീക്ക് പദങ്ങളിൽ നിന്നാണ് മോണോലിത്തിക് എന്ന പദം രൂപീകരിച്ചിരിക്കുന്നത്.

ചിത്രം 14.43 ഒരു IC യുടെ ചിത്രം .

അതായത് ഒരു സിലിക്കൺ പരലിൽ (ചിപ്പിൽ) ഒരു മുഴുവൻ സെർക്കീട്ടും രൂപപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നു. ഈ ചിപ്പിന്റെ വലുപ്പം 1mm x 1 mm - ഓ അതിൽ കുറവോ ആകാം. പ്ലാസ്റ്റിക് നിർമിത സംരക്ഷിത ആവരണത്തിൽ ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ചിപ്പിനെ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. സെർക്കീട്ടിൽ ഘടിപ്പിക്കുന്നതിന് സഹായിക്കുന്ന തരത്തിൽ ചിപ്പിൽ നിന്നുമുള്ള [ചിത്രം (14.13)] പിന്നുകളെയും ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിപ്പിലേക്കുള്ള ഇൻപുട്ട് സിഗ്നലിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ IC ചിപ്പുകളെ രണ്ടായി തരം തിരിച്ചിരിക്കുന്നു:

(a) ലീനിയർ അഥവാ അനലോഗ് IC, (b) ഡിജിറ്റൽ IC

ലീനിയർ IC കൾ തുടർച്ചയായ ഒരു കൂട്ടം വിലകളുടെ പരിധിയിലൂടെ വ്യതിയാനപ്പെടുന്ന അനലോഗ് സിഗ്നലുകളെ കൈകാര്യം ചെയ്യുന്നു. ഇവിടെ ഔട്ട്പുട്ട് ഇൻപുട്ടിനു നേർ അനുപാതത്തിലായിരിക്കും. ഇത്തരത്തിൽ വളരെ ഉപകാരപ്രദമായ ഒരു IC യാണ് ഓപ്പറേഷണൽ ആംപ്ലിഫയർ.

ഡിജിറ്റൽ IC കൾ കൈകാര്യം ചെയ്യുന്ന സിഗ്നലുകൾക്ക് രണ്ടു വിലകൾ മാത്രമേ സാധ്യമായിട്ടുള്ളൂ. ഈ IC കളിൽ ലോജിക് ഗേറ്റുകൾ എന്നറിയപ്പെടുന്ന സെർക്കീട്ടുകൾ അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു. ചിപ്പിലെ സെർക്കീട്ടുകളുടെ എണ്ണം (അതായത് സെർക്കീട്ട് ഘടകങ്ങളുടെ എണ്ണം അഥവാ ലോജിക് ഗേറ്റുകളുടെ എണ്ണം) അനുസരിച്ച് IC കളെ "സ്മാൾ സ്കെയിൽ ഇന്റഗ്രേഷൻ" (Small Scale Integration SSI) (10 – ഓ അതിൽ കുറവോ ലോജിക് ഗേറ്റുകൾ); മീഡിയം സ്കെയിൽ ഇന്റഗ്രേഷൻ (Medium Scale Integration MSI) (100 – ഓ അതിൽ കുറവോ ലോജിക് ഗേറ്റുകൾ); ലാർജ് സ്കെയിൽ ഇന്റഗ്രേഷൻ (Large Scale Integration LSI) (1000 – ഓ അതിൽ കുറവോ ലോജിക് ഗേറ്റുകൾ) വെരിലാർജ് സ്കെയിൽ ഇന്റഗ്രേഷൻ (Very large Scale Integration VLSI) (1000 – ഓ കൂടുതൽ ലോജിക് ഗേറ്റുകൾ) – എന്നിങ്ങനെ തരംതിരിച്ചിരിക്കുന്നു. സാങ്കേതിക വിദ്യയുടെ വികാസം ഇത്തരം ചിപ്പുകളെ വൻതോതിൽ ഉല്പാദിപ്പിക്കുന്നതിനും വളരെ കുറഞ്ഞ വിലയിൽ ലഭ്യമാക്കുന്നതിനും സഹായകരമാകുന്നു.

ദ്രുതവും കൃശവും – കംപ്യൂട്ടർ സാങ്കേതിക വിദ്യയുടെ ഭാവി
(Faster and Smaller: The future computer Technology)

എല്ലാ കംപ്യൂട്ടർ സംവിധാനങ്ങളുടെയും മർമപ്രധാനഭാഗമാണ് IC ചിപ്പുകൾ. കാറുകൾ, ടെലിവിഷനുകൾ, സി.ഡി. പ്ലെയറുകൾ, സെല്ലുലാർ ഫോണുകൾ തുടങ്ങിയ എല്ലാ ഇലക്ട്രോണിക് ഉപകരണങ്ങളിലും IC ചിപ്പുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നുണ്ട്. ആധുനിക വ്യക്തിഗത കംപ്യൂട്ടറുകളുടെ വലുപ്പം കുറയ്ക്കുന്നതിന് IC ചിപ്പുകൾ നൽകിയ സംഭാവന വളരെ പ്രാധാന്യമർഹിക്കുന്നതാണ്. വളരെയധികം ട്രാൻസിസ്റ്ററുകളും റസിസ്റ്ററുകളും കപ്പാസിറ്ററുകളും അവയെ ഘടിപ്പിക്കുന്ന കമ്പികളും എല്ലാം അടങ്ങിയ ഇലക്ട്രോണിക് സെർക്കീട്ടുകളുടെ ഒരു ഒറ്റ പാക്കേജാണ് IC ചിപ്പുകൾ. മൈക്രോ പ്രോസസ്സറുകളെ കുറിച്ച് നിങ്ങൾ കേട്ടിരിക്കും. മൈക്രോ പ്രോസസ്സർ – ഏതു "കീ"ആണോ അമർത്തിയിരിക്കുന്നത്, നിലവിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന പ്രോഗ്രാമുകൾ ഗെയിമുകൾ ഇവ ഏതെല്ലാം തുടങ്ങി കമ്പ്യൂട്ടറിലെ എല്ലാ വിവരങ്ങളും പ്രവർത്തിപ്പിക്കുന്നതും കൈകാര്യം ചെയ്യുന്നതും കമ്പ്യൂട്ടറിലെ IC യായ മൈക്രോപ്രോസസ്സർ ആണ്. 1958 – ൽ ടെക്സാസ് ഇൻസ്ട്രുമെന്റസിലെ (Texas Instruments) ജാക്ക് കിൽകി (Jack Kilky) യാണ് IC ആദ്യം കണ്ടുപിടിച്ചത്. ഇതിന് അദ്ദേഹത്തെ 2000–ൽ നോബൽ സമ്മാനം നൽകി ആദരിച്ചു. ഒരു അർദ്ധചാലക ചിപ്പിൽ ഫോട്ടോലിത്തോഗ്രാഫി (Photo-lithography) എന്ന സങ്കേതത്തിലൂടെയാണ് IC കൾ നിർമിക്കുന്നത്. വിവരസാങ്കേതിക വിദ്യാ വ്യവസായ മേഖല മുഴുവൻ അർദ്ധചാലകങ്ങളോടു കടപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. വർഷങ്ങൾ കഴിയുന്തോറും IC ചിപ്പുകളുടെ സങ്കീർണ്ണത വർദ്ധിക്കുകയും അവയുടെ വലുപ്പം ചെറുതായി വരികയും ചെയ്യുന്നു. കഴിഞ്ഞ അഞ്ചുദശകങ്ങളായി നടന്നുവരുന്ന ഇലക്ട്രോണിക് ഉപകരണങ്ങളുടെ ഹ്രസ്വവൽക്കരണ പ്രക്രിയകൾ (Miniaturisation) ആധുനിക കംപ്യൂട്ടറുകളുടെ വലുപ്പം ഗണ്യമായി കുറയ്ക്കുകയും അവയെ കൂടുതൽ ദ്രുതമാക്കി തീർക്കുകയും ചെയ്തു. INTEL ന്റെ സ്ഥാപകരിൽ ഒരാളായ ഗോർഡം മൂർ (Gordom Moore) IC ചിപ്പുകളുടെ മെമ്മറി ഓരോ ഒന്നര വർഷം കഴിയുമ്പോഴും ഏകദേശം ഇരട്ടിയായി വർദ്ധിക്കുമെന്ന് 1970 കളിൽ അഭിപ്രായപ്പെട്ടിരുന്നു. ഇത് മൂർ സിദ്ധാന്തം (Moore's Law) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഓരോ ചിപ്പിലുമുള്ള ട്രാൻസിസ്റ്ററുകളുടെ എണ്ണം വർഷം തോറും വളരെയധികം വർദ്ധിക്കുന്നതു മൂലം കംപ്യൂട്ടറുകളുടെ ശേഷി വളരെയധികം കൂടുകയും എന്നാൽ വില കുറയുകയും ചെയ്യുന്നുണ്ട്. ഇപ്പോഴത്തെ കണക്കുകൾ അനുസരിച്ച് 2020 ആകുമ്പോൾ കംപ്യൂട്ടറുകൾ 40 GHZ വേഗതയിൽ പ്രവർത്തിക്കുകയും അവയുടെ വലുപ്പവും വിലയും മുൻവർഷങ്ങളേക്കാൾ ഗണ്യമായി കുറയുകയും ചെയ്യും. അർദ്ധചാലക വ്യവസായ മേഖലയുടെയും കംപ്യൂട്ടർ സാങ്കേതിക വിദ്യയുടെയും കുതിച്ചുചാട്ടത്തെ കുറിച്ച് ഗോർഡൻ മൂർ ഇപ്രകാരം പരാമർശിക്കുന്നു.

"അർദ്ധചാലക വ്യവസായ മേഖലയിലേതുപോലുള്ള പുരോഗതി മോട്ടോർ വാഹന വ്യവസായരംഗത്തുണ്ടായിരുന്നു എങ്കിൽ ഒരു റോൾസ് റോയ്സ് കാർ ഒരു ഗാലൻ ഇന്ധനമുപയോഗിച്ച് ഏകദേശം അഞ്ചുലക്ഷം മൈൽ സഞ്ചരിക്കുകയും വഴിയിൽ ഉപേക്ഷിച്ചു പോകാൻ കഴിയുന്ന തരത്തിൽ അതിന്റെ വില കുറയുകയും ചെയ്തേനേ".

സംഗ്രഹം

1. നിലവിലെ ഖര ഇലക്ട്രോണിക് ഘടകങ്ങളായ ഡയോഡ്, ട്രാൻസിസ്റ്റർ, ഐസികൾ ഇവയുടെ നിർമാണത്തിലെ അടിസ്ഥാന വസ്തുക്കൾ അർദ്ധചാലകങ്ങളാണ്.

2. ഒരു പദാർഥം ലോഹം, അർദ്ധചാലകം, ഇൻസുലേറ്റർ ഇവയിൽ ഏതാണെന്ന് തീരുമാനിക്കുന്നത് പദാർഥത്തിലെ ഘടകമൂലകങ്ങളുടെ ലാറ്റിസ് ഘടനയും അറ്റോമിക ഘടനയുമാണ്.

3. ലോഹങ്ങൾക്ക് കുറഞ്ഞ പ്രതിരോധകതയും (10^{-2} മുതൽ 10^{-8} Ωm വരെ) ഇൻസുലേറ്ററുകൾക്ക് വളരെ ഉയർന്ന പ്രതിരോധകതയും ($>10^{5}$ Ω m) അർദ്ധചാലകങ്ങൾക്ക് ഇവയ്ക്കിടയിൽ പ്രതിരോധകതയും ഉണ്ട്.

4. അർദ്ധ ചാലകങ്ങൾ, മൂലക അർദ്ധചാലകങ്ങൾ (Si. Ge) സംയുക്ത അർദ്ധചാലകങ്ങൾ (Ga As, Cds) എന്നിങ്ങനെ 2 വിധത്തിൽ ഉണ്ട്.

5. ശുദ്ധമായ അർദ്ധചാലകങ്ങളെ ഇൻട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകങ്ങളെന്ന് വിളിക്കുന്നു. ചാർജ് വാഹകരുടെ സാന്നിധ്യം (ഇലക്ട്രോണുകളുടേയും ഹോളുകളുടേയും) ഓരോ പദാർഥത്തിന്റെയും ഇൻട്രിൻസിക് ഗുണത്തിന് അനുസൃതമാണ്. ഇവ ഉണ്ടാകുന്നത് താപീയ ഉത്തേജനം മൂലമാണ്. ഇൻട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകങ്ങളിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം (n_e) ഹോളുകളുടെ എണ്ണത്തിന് (n_h) തുല്യമാണ്. ഇലക്ട്രോണുകൾ ഒഴിവാക്കുന്നതു മൂലം സഫല പോസിറ്റീവ് ചാർജ് ഉണ്ടാകുന്ന ശൂന്യസ്ഥലങ്ങളാണ് ഹോളുകൾ

6. ഒരു ശുദ്ധ അർദ്ധ ചാലകത്തിൽ അനുയോജ്യമായ അപ്രദ്രവ്യം കൊണ്ട് ഡോപ് ചെയ്താൽ അവയിലെ ചാർജ് വാഹകരുടെ എണ്ണം ഗണ്യമായി വ്യത്യാസപ്പെടുത്താൻ കഴിയും. അത്തരം അർദ്ധചാലകങ്ങളെ എക്സ്ട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകങ്ങളെന്ന് വിളിക്കുന്നു. ഇവ p, n എന്നി രണ്ട് തരം ഉണ്ട്.

7. n അർദ്ധചാലകങ്ങളിൽ $n_e >>> n_h$ ഉം p തരം അർദ്ധ ചാലകങ്ങളിൽ $n_h >> n_e$ ഉം ആണ്.

8. പഞ്ച സംയോജക അപദ്രവ്യങ്ങളായ A_s, Sb, മുതലായവ ഉപയോഗിച്ച് S_i അല്ലെങ്കിൽ Ge ന ഡോപ് ചെയ്താൽ n തരം അർദ്ധചാലകങ്ങളും, ത്രിസംയോജക അപദ്രവ്യങ്ങളായ B. Al. In എന്നിവ കൊണ്ട് ഡോപ് ചെയ്താൽ p തരം അർദ്ധചാലകങ്ങളും ലഭിക്കും.

9. എല്ലാ സാഹചര്യങ്ങളിലും $n_e n_h = n_i^2$ ആണ്. കൂടാതെ പദാർഥം മൊത്തത്തിൽ എടുത്താൽ ആകെ ചാർജ് പൂജ്യമായിരിക്കും.

10. ഒരു പദാർഥത്തിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ നിലനിൽക്കുന്ന രണ്ട് വ്യത്യസ്ത ഊർജ ബാന്റുകൾ (വാലന്റ് ബാന്റും, കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റും) ഉണ്ട്. കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റിന്റെ ഊർജത്തെ അപേക്ഷിച്ച് വാലൻസ് ബാന്റിന് ഊർജം കുറവാണ്. വാലൻസ് ബാന്റിലെ എല്ലാ ഊർജ തലങ്ങളും പൂർണ്ണമായും നിറഞ്ഞതും എന്നാൽ കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റിൽ പൂർണ്ണമായും ഒഴിഞ്ഞതോ അല്ലെങ്കിൽ ഭാഗികമായി നിറഞ്ഞതോ ആണ്. കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റിലെ ഇലകട്രോണുകൾ ഖരവസ്തുവിൽ കൂടി സഞ്ചരിക്കത്തക്ക വിധം സ്വതന്ത്രവും ചാലകതയ്ക്ക് കാരണവുമാണ്. ചാലകതക്കുള്ള ശേഷി വാലൻസ് ബാന്റിന്റെ (E_v)മുകൾ ഭാഗത്തിനും കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റിന്റെ (E_c) താഴ്ഭാഗത്തിനും ഇടയിലുള്ള ഊർജ വിടവിനെ (E_g) ആശ്രയിക്കുന്നു. താപം, പ്രകാശം, വൈദ്യുതോർജം തുടങ്ങിയവക്ക് വാലൻസ് ബാന്റിലെ ഇലക്ട്രോണുകളെ ഉത്തേജിപ്പിച്ച് കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റിൽ എത്തിക്കാൻ കഴിയും. തൽഫലമായി അവയ്ക്ക് ഒരു അർദ്ധചാലകത്തിൽ കറന്റ് വ്യത്യാസം സൃഷ്ടിക്കാൻ കഴിയും.

11. ഇൻസുലേറ്ററുകൾക്ക് $E_g > 3$ eV യും അർദ്ധചാലകങ്ങൾക്ക് E_g 0.2 eV മുതൽ 3 eV വരെയും ലോഹങ്ങൾക്ക് $E_g \approx 0$ ഉം ആണ്.

12. എല്ലാ അർദ്ധചാലക ഘടകങ്ങളിലെയും അടിസ്ഥാന ഘടകമായി p-n ജംഗ്ഷൻ വർത്തിക്കുന്നു. ഇത്തരം ജംഗ്ഷൻ രൂപം കൊള്ളുമ്പോൾ അവിടെ ഇലക്ട്രോൺ അല്ലെങ്കിൽ ഹോളുകളെ നഷ്ടപ്പെടുത്തിയ, ചലനശേഷിയില്ലാത്ത അയോണുകൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ഡിപ്ലീഷൻ പാളി ഉണ്ടാകുന്നു. ജംഗ്ഷനിലെ പൊട്ടൻഷ്യൽ തടസ്സത്തിനു ഇത് കാരണമാകുന്നു.

13. ബാഹ്യമായി പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന വോൾട്ടേജ് വ്യതിയാനം വരുത്തി ജംഗ്ഷനിലെ ബാരിയർ വ്യത്യാസപ്പെടുത്താൻ കഴിയും. ഫോർവേഡ് ബയാസ്സിൽ ബാരിയർ തടസ്സം കുറയുകയും റിവേഴ്സ് ബയാസ്സിൽ ബാരിയർ തടസ്സം കൂടുകയും ചെയ്യുന്നു. അതിനാൽ ഫോർവേഡ് ബയാസ് കറന്റ് കൂടുതലും (mA) റിവേഴ്സ് ബയാസ് കറന്റ് വളരെ കുറവുമാണ് (μA).

14. ഒരു ac വോൾട്ടേജിനെ റെക്ടിഫൈ ചെയ്യാൻ ഡയോഡുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഒരു കപ്പാസിറ്റർ അല്ലെങ്കിൽ ഫിൽറ്ററിന്റെ സഹായത്താൽ ഇതിനെ ഒരു dc ആക്കി മാറ്റാം.

15. പ്രത്യേക ഉപയോഗത്തിനായുള്ള ചില **p - n** ജംഗ്ഷൻ ഡയോഡുകൾ ഉണ്ട്.

16. അത്തരം ഒരു സവിശേഷ ഉപയോഗ ഡയോഡ് ആണ് സെനർ ഡയോഡ്. റിവേഴ്സ് ബയാസിൽ, ഒരു പ്രത്യേക വോൾട്ടേജിൽ ഈ ഡയോഡിൽ കറന്റ് പെട്ടെന്ന് വർദ്ധിക്കുന്നു. ഈ ഗുണം ഇലക്ട്രോണിക് സെർക്കീട്ടുകളിലെ വോൾട്ടേജ് നിയന്ത്രണത്തിൽ പ്രയോജനപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നു.

17. ധാരാളം പ്രകാശിക ഒപ്റ്റോ ഇലക്ട്രോണിക് ഉപകരണങ്ങളുടെ നിർമാണത്തിനും **p - n** ജംഗ്ഷനുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഇവിടെ ഫോട്ടോണുകൾ വളരെ പ്രധാന പങ്കു വഹിക്കുന്നു.

   a) ഫോട്ടോ ഡയോഡുകളിൽ ഫോട്ടോൺ ഉത്തേജനം മൂലം റിവേഴ്സ് സാച്ചുറേഷൻ കറന്റിന് വ്യതിയാനമുണ്ടാകുകയും അത് കാരണമായി പ്രകാശ തീവ്രത അളക്കാൻ കഴിയുകയും ചെയ്യുന്നു.

   b) സോളാർ സെല്ലിൽ പ്രകാശ ഊർജത്തെ വൈദ്യുതിയാക്കി മാറ്റുന്നു.

   c) LED യിലും ഡയോഡ് ലേസറിലും ബയാസ് വോൾട്ടേജ് മൂലം ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉത്തേജിപ്പിക്കപ്പെടുകയും പ്രകാശം ഉൽപാദിപ്പിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

18. ഒരു **n - p - n** അല്ലെങ്കിൽ **p - n - p** ജംഗ്ഷൻ ഉപകരണമാണ് ട്രാൻസിസ്റ്റർ. ഇതിന്റെ മധ്യഭാഗം (നേർത്തതും ലഘുവായി ഡോപ് ചെയ്യപ്പെട്ടതും) ബെയ്സും മറ്റ് ഇലക്ട്രോഡുകൾ എമിറ്റർ കളക്ടർ എന്നിവയുമാണ്. എമിറ്റർ ബെയ്സ് ജംഗ്ഷൻ ഫോർവേഡ് ബയാസിലും കളക്ടർ ബെയ്സ് ജംഗ്ഷൻ റിവേഴ്സ് ബയാസിലും ആണ്.

19. ഇൻപുട്ടിനും ഔട്ട്പുട്ടിനും പൊതുവായി കളക്ടർ, എമിറ്റർ, ബെയ്സ് ഇവയിൽ ഏതെങ്കിലും ഒന്ന് വരത്തക്കവിധം ട്രാൻസിസ്റ്ററുകളെ ബന്ധിപ്പിക്കാം. ട്രാൻസിസ്റ്ററുകൾക്ക് 3 തരം വിന്യാസരീതികൾ ഉണ്ട്. എമിറ്റർ പൊതുവായത് (CE). കളക്ടർ പൊതുവായത് (CC). ബെയ്സ് പൊതുവായത് (CB). ഒരു നിശ്ചിത ബെയ്സ് കറന്റ് I_B യിൽ, കളക്ടർ കറന്റ് (I_c) യും V_{CE} യും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫാണ് ഔട്ട്പുട്ട് സവിശേഷതാ ഗ്രാഫുകൾ. സ്ഥിത V_{CE} യിൽ I_B യും V_{BE} യും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫാണ് ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ ഇൻപുട്ട് സവിശേഷതാ ഗ്രാഫുകൾ.

   C E വിന്യാസ രീതിയിൽ ഒരു ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ പ്രധാന സവിശേഷതകൾ ഇവയാണ്.

   ഇൻപുട്ട് പ്രതിരോധം $r_i = \left(\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE}}$ ഔട്ട് പുട്ട് പ്രതിരോധം, r_o $\left(\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}\right)_{I_B}$, കറന്റ് വർദ്ധനഘടകം, β $\left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE}}$

20. ട്രാൻസിസ്റ്ററുകളെ ആംപ്ലിഫയറായും, ഓസിലേറ്ററായും ഉപയോഗിക്കാം. യഥാർഥത്തിൽ ഒരു ഓസിലേറ്ററിനെ ഒരു സ്വയം പ്രവർത്തിക്കുന്ന (നിലനിൽക്കുന്ന) ആപ്ലിഫയർ ആയി കരുതാം. അതിൽ ഔട്ട്പുട്ടിന്റെ ഒരു ഭാഗം ഇൻപുട്ടിന്റെ അതേ ഫേസിൽ തിരിച്ച് നൽകുന്നു (പോസിറ്റീവ് ഫീഡ് ബാക്ക്) എമിറ്റർ പൊതുവായ വിന്യാസരീതിയിൽ ഒരു ട്രാൻസിസ്റ്റർ ആംപ്ലിഫയറിന്റെ വോൾട്ടേജ് ലാഭം,

$$A_v = \left(\frac{v_o}{v_i}\right) = \beta \frac{R_C}{R_B}$$

   സെർക്കീട്ടിലെ കളക്ടർ, ബെയ്സ് വശങ്ങളിലെ പ്രതിരോധങ്ങളാണ് യഥാക്രമം R_C, R_B എന്നിവ

21. പൂരിത അവസ്ഥയിലോ, കട്ട്ഓഫ് അവസ്ഥയിലോ ഒരു ട്രാൻസിസ്റ്റർ ഒരു സ്വിച്ച് ആയി വർത്തിക്കുന്നു.

22. ഡിജിറ്റൽ ഡാറ്റ 1 അല്ലെങ്കിൽ 0 തലങ്ങൾ കൈകാര്യം ചെയ്യുന്ന ചില പ്രത്യേക സെർക്കീട്ടുകൾ ഉണ്ട്. ഇവ ഡിജിറ്റൽ ഇലക്ട്രോണിക്സിന്റെ അടിസ്ഥാന ഘടകങ്ങളാണ്.

23. പ്രത്യേക യുക്തിപരമായ പ്രവർത്തനങ്ങൾ നടത്തുന്ന പ്രധാന ഡിജിറ്റൽ സെർക്കീട്ടുകളാണ് ലോജിക് ഗേറ്റുകൾ.

24. ആധുനിക യുഗത്തിൽ, ധാരാളം ലോജിക് ഗേറ്റുകൾ അല്ലെങ്കിൽ സെർക്കീട്ടുകൾ ഒരു ചിപ്പിൽ കൂട്ടിച്ചേർക്കുന്നു. അവയെ ഇന്റഗ്രേറ്റഡ് സെർക്കീട്ടുകൾ എന്ന് വിളിക്കുന്നു.

വിചിന്തന വിഷയങ്ങൾ

1. അർദ്ധചാലകങ്ങളിലെ ഊർജബാന്റുകൾ (E_C അല്ലെങ്കിൽ E_V) ഖരവസ്തുവിൽ ഒരു പ്രത്യേക സ്ഥലത്ത് മാത്രമായി സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നില്ല. ആകെ ഊർജത്തിന്റെ ശരാശരിയാണ് ഇവിടെ ഊർജമായി പരിഗണിക്കുന്നത്. ഏതെങ്കിലും ഒരു ചിത്രത്തിൽ E_C അല്ലെങ്കിൽ E_V നേർരേഖയായി കാണുന്നെങ്കിൽ അത് ലഘുവായി കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റിന്റെ ഊർജനിലകളുടെ താഴ്ഭാഗവും വാലന്റ്സ് ബാന്റ് ഊർജനിലകളുടെ മുകൾഭാഗവും യഥാക്രമം പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു.

2. മൂലക അർദ്ധചാലകങ്ങളിൽ (സിലിക്കൺ അല്ലെങ്കിൽ ജർമേനിയം) അപദ്രവ്യങ്ങൾ ചേർത്താൽ n തരം അല്ലെങ്കിൽ p തരം അർദ്ധചാലകങ്ങൾ ലഭിക്കും. സംയുക്ത അർദ്ധചാലകങ്ങളിൽ ആപേക്ഷിക സ്റ്റോക്കിയോമെട്രിക് അനുപാതത്തിലുണ്ടാകുന്ന മാറ്റം അർദ്ധചാലക തരത്തിൽ (n തരം/p തരം) മാറ്റങ്ങളുണ്ടാകും. ഉദാഹരണമായി GaAs ൽ ഗാലിയം-ആഴ്സനിക് അനുപാതം 1:1 ആണ്. എന്നാൽ സമ്പുഷ്ട ഗാലിയം അഥവാ സമ്പുഷ്ട ആഴ്സനിക് സംയുക്തത്തിൽ ഗാലിയം-ആഴ്സനിക് അനുപാതം $Ga_{1.1} : As_{0.9}$ അല്ലെങ്കിൽ $Ga_{0.9} : As_{1.1}$ ആണ്. ക്രിസ്റ്റൽ ന്യൂനതകളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം അർദ്ധചാലകങ്ങളുടെ സ്വഭാവങ്ങളെ പലവിധത്തിൽ സ്വാധീനിക്കുന്നു.

3. ഒരു ട്രാൻസിസ്റ്ററിൽ ബെയ്സ് ഭാഗം കനം കുറഞ്ഞതും ലഘുവായി ഡോപ്പ് ചെയ്യപ്പെട്ടതുമാകുന്നു. അല്ലെങ്കിൽ ഇൻപുട്ട് വശത്ത് നിന്ന് (CE വിന്യാസത്തിൽ എമിറ്റർ) വരുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളും ഹോളുകളും കളക്ടറിൽ എത്തിച്ചേരില്ലായിരുന്നു.

4. ഒരു ഓസിലേറ്ററിനെ പോസിറ്റീവ് ഫീഡ്ബാക്കുള്ള ഒരു ആംപ്ലിഫയറായി നാം വിശദീകരിച്ചു. സ്ഥിര ദോലനം ലഭിക്കാൻ, ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജിൽ (V_0) നിന്നുള്ള ഫീഡ്ബാക്ക് വോൾട്ടേജ് (V_{fb}) ആംപ്ലിഫിക്കേഷന് (A) ശേഷവും V_0 ആയി മാറണം. β' അംശം ഫീഡ്ബാക്ക് ചെയ്യപ്പെട്ടാൽ, $V_{fb} = V_0 . \beta'$ ഉം ആംപ്ലിഫിക്കേഷന് ശേഷം അതിന്റെ മൂല്യം $A(V_0 . \beta')$ ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജ് V_0 യ്ക്ക് തുല്യമാകണം. സ്ഥിരദോലനത്തിന്റെ മാനദണ്ഡം $A\beta' = 1$ എന്നാണ്. ഇതിനെ ബാർക്ക് ഹൗസൺ മാനദണ്ഡം എന്ന് വിളിക്കുന്നു.

5. ഒരു ഓസിലേറ്ററിൽ ഫീഡ്ബാക്ക് സമാനഫേസിലാണ് (പോസിറ്റീവ് ഫീഡ്ബാക്ക്). ഫീഡ്ബാക്ക് എതിർ ഫേസിലായാൽ (നെഗറ്റീവ് ഫീഡ്ബാക്ക്) നേട്ടം 1 നേക്കാൾ കുറവായിരിക്കും. അത് ഒരിക്കലും ഒരു ഓസിലേറ്ററായി പ്രവർത്തിക്കില്ല. നേട്ടം കുറഞ്ഞ ഒരു ആംപ്ലിഫയറായി ഇത് പ്രവർത്തിക്കുന്നു. എന്നിരുന്നാലും നെഗറ്റീവ് ഫീഡ്ബാക്ക് ഒരു ആംപ്ലിഫയറിലെ അപശബ്ദങ്ങളും, അപഭ്രംശങ്ങളും കുറക്കുന്നു. ഇതൊരു മികവാർന്ന പ്രത്യേകതയാണ്.

പരിശീലന പ്രശ്നങ്ങൾ

14.1 ഒരു n - തരം സിലിക്കണിനെ സംബന്ധിച്ച് താഴെപറയുന്ന ഏത് പ്രസ്താവനയാണ് ശരിയായത്.

(a) ഇലക്ട്രോണുകൾ മെജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരും ത്രിസംയോജക ആറ്റങ്ങൾ അപദ്രവ്യങ്ങളുമാണ്.

(b) ഇലക്ട്രോണുകൾ മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരും പഞ്ചസംയോജക ആറ്റങ്ങൾ അപദ്രവ്യങ്ങളുമാണ്.

(c) ഹോളുകൾ മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരും ത്രിസംയോജക ആറ്റങ്ങൾ അപദ്രവ്യങ്ങളുമാണ്.

(d) ഹോളുകൾ മെജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരും ത്രിസംയോജക ആറ്റങ്ങൾ അപദ്രവ്യങ്ങളുമാണ്.

14.2 P തരം അർദ്ധചാലകങ്ങളെ സംബന്ധിച്ച് പരിശീലനപ്രശ്നം 14.1 ൽ നൽകിയിരിക്കുന്ന പ്രസ്താവനകളിൽ ശരിയായത് ഏത്?

14.3 കാർബൺ, സിലിക്കൺ, ജെർമേനിയം ഇവയ്ക്ക് ഓരോന്നിനും 4 സംയോജക ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉണ്ട്. ഇവയ്ക്ക് അവയുടെ വാലൻസ് ബാന്റുകളേയും കണ്ടക്ഷൻ ബാന്റുകളെയും വേർതിരിച്ച് ഊർജവിടവുകൾ ഉണ്ട്. ഇവ യഥാക്രമം $(E_g)_C$, $(E_g)_{Si}$, $(E_g)_{Ge}$ എന്നിവയാണ്. താഴെ തന്നിരിക്കുന്നവയിൽ ശരിയായ പ്രസ്താവന ഏതാണ്?

(a) $(E_g)_{Si} < (E_g)_{Ge} < (E_g)_C$

(b) $(E_g)_C < (E_g)_{Ge} > (E_g)_{Si}$

(c) $(E_g)_C > (E_g)_{Si} > (E_g)_{Ge}$

(d) $(E_g)_C = (E_g)_{Si} = (E_g)_{Ge}$

14.4 ബയാസ് ചെയ്യാത്ത ഒരു ജംഗ്ഷനിൽ ഹോളുകൾ p ഭാഗത്ത് നിന്ന് n ഭാഗത്തേക്ക് അന്തർവ്യാപനം ചെയ്യുന്നു. എന്തുകൊണ്ടെന്നാൽ

(a) n ഭാഗത്തെ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾ അവയെ ആകർഷിക്കുന്നു.

(b) പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസം കാരണം അവ ജംഗ്ഷന് കുറുകെ സഞ്ചരിക്കുന്നു.

(c) n ഭാഗത്തെ അപേക്ഷിച്ച് p ഭാഗത്തെ ഹോൾ ഗാഢത കൂടുതലാണ്

(d) മുകളിൽ പറഞ്ഞവയെല്ലാം

14.5 ഒരു p-n ജംഗ്ഷനിൽ ഫോർവേഡ് ബയാസ് പ്രയോഗിച്ചാൽ. അത്

(a) പൊട്ടൻഷ്യൽ തടസ്സം വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നു

(b) മെജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹക കറന്റ് പൂജ്യത്തിലേക്ക് കുറക്കുന്നു.

(c) പൊട്ടൻഷ്യൽ തടസ്സം കുറയ്ക്കുന്നു.

(d) മുകളിലേത് ഒന്നുമല്ല.

14.6 ട്രാൻസിസ്റ്റർ പ്രവർത്തനത്തിൽ താഴെപറയുന്ന പ്രസ്താവനകളിൽ ശരിയായതേത്.

(a) എമിറ്റർ, ബെയ്സ്, കളക്ടർ ഭാഗങ്ങൾക്ക് ഒരേ വലിപ്പവും ഡോപ്പിംഗ് ഗാഢതയുമാണ്.

(b) ബെയ്സ് ഭാഗം കനം കുറഞ്ഞതും ലഘുവായി ഡോപ്പ് ചെയ്യപ്പെട്ടതും.

(c) എമിറ്റർ ജംഗ്ഷൻ ഫോർവേഡ് ബയാസിലും കളക്ടർ ജംഗ്ഷൻ റിവേഴ്സ് ബയാസിലും

(d) എമിറ്റർ ജംഗ്ഷൻ കളക്ടർ ജംഗ്ഷൻ ഇവ രണ്ടും ഫോർവേഡ് ബയാസിൽ

14.7 ഒരു ട്രാൻസിസ്റ്റർ ആംപ്ലിഫയറിൽ വോൾട്ടേജ് നേട്ടം

(a) എല്ലാ ആവൃത്തികൾക്കും സ്ഥിരമാണ്

(b) ഉയർന്നതും താഴ്ന്നതുമായി ആവൃത്തികളിൽ ഉയർന്നതും ഇതിനിടിയിലെ (മധ്യ) ആവൃത്തികളിൽ സ്ഥിരവുമാണ്.

(c) ഉയർന്നതും താഴ്ന്നതുമായ ആവൃത്തികളിൽ താഴ്ന്നതും മധ്യ ആവൃത്തികളിൽ സ്ഥിരവുമാണ്.

(d) മുകളിലേത് ഒന്നുമല്ല

14.8 ഇൻപുട്ട് ആവൃത്തി 50 Hz ആയാൽ, ഒരു അർദ്ധതരംഗ റെക്ടിഫിക്കേഷനിൽ, ഔട്ട്പുട്ട് ആവൃത്തി എത്ര? തുല്യ ഇൻപുട്ട് ആവൃത്തിയിൽ ഒരു പൂർണതരംഗ റെക്ടിഫയറിന്റെ ഔട്ട്പുട്ട് ആവൃത്തി എത്ര?

14.9 ഒരു CE ട്രാൻസിസ്റ്റർ ആംപ്ലിഫയറിൽ, 2kΩ കളക്ടർ പ്രതിരോധത്തിന് കുറുകെയുള്ള ശബ്ദതരംഗത്തിന്റെ വോൾട്ടത 2V ആണ്. ട്രാൻസിസ്റ്ററിന്റെ കറന്റ് ആവർദ്ധന ഘടകം 100 ആയി സങ്കൽപ്പിച്ചാൽ, ബെയ്സ് പ്രതിരോധം 1kΩ ൽ സിഗ്നലിന്റെ വോൾട്ടതയും ബെയ്സ് കറന്റും കണ്ടുപിടിക്കുക.

14.10 2.8eV ബാന്റ് വിടവുള്ള ഒരു അർദ്ധചാലകത്തിൽ നിന്നും ഒരു p n ഫോട്ടോ ഡയോഡ് നിർമിക്കുന്നു. 6000 nm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള പ്രകാശത്തെ കണ്ടെത്താൻ ഈ ഫോട്ടോ ഡയോഡിന് കഴിയുമോ?

അധിക പരിശീലന പ്രശ്നങ്ങൾ

14.11 ഒരു ക്യൂബിക് മീറ്ററിലെ സിലിക്കൺ ആറ്റങ്ങളുടെ എണ്ണം 5×10^{28} ആണ്. ഇതിനെ ക്യൂബിക് മീറ്ററിൽ 5×10^{22} ആറ്റങ്ങളുള്ള ആഴ്സനിക്കുമായും 5×10^{20} ആറ്റങ്ങളുള്ള ഇൻഡിയം കൊണ്ടും ഒരേ സമയം ഡോപ്പ് ചെയ്യുന്നു. $n_i - 1.5\times10^{16}m^{-3}$ എന്ന് നൽകിയിരിക്കുന്നു. ഈ പദാർഥം n തരമാണോ p തരമാണോ?

14.12 ഒരു ഇൻട്രിൻസിക് അർദ്ധചാലകത്തിന്റെ ഊർജവിടവ് 1.2eV ആണ്. അതിന്റെ ഹോൾ മൊബിലിറ്റി ഇലക്ട്രോൺ മൊബിലിറ്റിയേക്കാൾ കുറവാണ്. ഇത് താപനിലയെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. 600 K ലും 300 K ലും ഇതിനുള്ള ചാലകതകളുടെ അനുപാതം എത്ര? ഇൻട്രിൻസിക് ചാർജ് ഗാഢത n_i ന് താപനിലയോടുള്ള ആശ്രിതത്വം $n_i = n_0 \exp\left(\frac{-E_g}{2K_B T}\right)$ എന്ന സമവാക്യം ഉപയോഗിച്ചെഴുതാം. ഇവിടെ n_0 സ്ഥിര സംഖ്യയാണ്.

14.13 ഒരു p-n ജംഗ്ഷനിലെ കറന്റിന് നൽകിയിരിക്കുന്ന സമവാക്യപ്രകാരം $I = I_0 \exp\left(\frac{eV}{2k_B T} - 1\right)$ എന്നാണ്. I_0 റിവേഴ്സ് സാച്ചുറേഷൻ കറന്റും, ഡയോഡിന് കുറുകെയുള്ള വോൾട്ടേജ് V യുമാണ്. V യുടെ വില ഫോർവേഡ് ബയാസിൽ പോസിറ്റീവും റിവേഴ്സ് ബയാസിൽ നെഗറ്റീവും ആണ്. I ഡയോഡിലൂടെയുള്ള കറന്റും, k_B ബോൾട്ട്സ്മാൻ സ്ഥിരാങ്കവും (8.6×10^{-5}eV/K) T കേവല താപനിലയുമാണ്. ഒരു ഡയോഡിന് $I_0 = 5\times10^{-12}$A ഉം T=300k യും ആയാൽ

(a) 0.6V എന്ന ഫോർവേഡ് വോൾട്ടേജിൽ ഫോർവേഡ് കറന്റ് എത്ര?

(b) ഡയോഡിലെ വോൾട്ടേജ് 0.7 V യിലേക്ക് വർദ്ധിച്ചാൽ കറന്റിൽ ഉണ്ടാകുന്ന വർദ്ധനവ് എത്ര?

(c) ഡൈനാമിക് പ്രതിരോധം എത്ര?

(d) റിവേഴ്സ് ബയാസ് വോൾട്ടേജ് 1V ൽ നിന്ന് 2V ലേക്ക് മാറിയാൽ പുതിയ കറന്റ് എത്ര?

14.14 ചിത്രം 14.44 ൽ 2 സെർക്കീട്ടുകൾ നൽകിയിരിക്കുന്നു. സർക്കീട്ട് (a) ഒരു OR ഗേറ്റായും (b) ഒരു AND ഗേറ്റായും പ്രവർത്തിക്കും എന്നു കാണിക്കുക.

(a) (b)

14.15 ചിത്രം 14.45 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു NAND ഗേറ്റിന്റെ ട്രുത്ത് ടേബിൾ എഴുതുക.

ഈ സെർക്കിട്ട് ചെയ്യുന്ന യിറാർഥ ലോജിക്കൽ പ്രവർത്തനം കണ്ടെത്തുക

14.16 ചിത്രം 14.46 ൽ NAND ഗേറ്റുകൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന 2 സസെർക്കിട്ടുകൾ നൽകിയിരിക്കുന്നു. രണ്ട് സെർക്കിട്ടുകളും നടത്തുന്ന ലോജിക്കൽ പ്രവർത്തനം കണ്ടെത്തുക.

(a) (b)

14.17 ഗേറ്റുകൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ചിത്രം 14.47 ൽ നൽകിയിരിക്കുന്ന സെർക്കിട്ടിന്റെ ട്രുത്ത് ടേബിൾ എഴുതുക. ഈ സെർക്കിട്ട് നടത്തുന്ന ലോജിക്കൽ പ്രവർത്തനം (OR, AND, NOT) കണ്ടെത്തുക.

(സൂചന : A–0, B–1 രണ്ടാമത്തെ NOR ഗേറ്റിന്റെ A, B ഇൻപുട്ടുകൾ 0 ആണ്. അതിനാൽ Y–1. A, B ഇവയുടെ മറ്റ് സംയോജനങ്ങളുടെ Y വിലകൾ കണ്ടെത്തുക. OR, AND, NOT ഇവയുടെ ട്രുത്ത് ടേബിളുകളുമായി താരതമ്യം ചെയ്ത് ശരിയായത് കണ്ടെത്തുക)

14.18 NOR ഗേറ്റുകൾ മാത്രം ഉൾപ്പെട്ട ചിത്രം 14.48 ൽ നൽകിയിരിക്കുന്ന സെർക്കിട്ടിന്റെ ട്രുത്ത് ടേബിൾ എഴുതുക. രണ്ട് സെർക്കിട്ടുകളും നടത്തുന്ന ലോജിക്കൽ പ്രവർത്തനങ്ങൾ (OR, AND, NOT) തിരിച്ചറിയുക.

(a) (b)

14.19 രണ്ട് ആംപ്ലിഫയറുകളെ ഒന്നിന് പുറകിൽ ഒന്നായി ശ്രേണിയിൽ ഘടിപ്പിക്കുന്നു. ആദ്യ ആംപ്ലിഫയറിന്റെ വോൾട്ടേജ് നേട്ടം 10 ഉം രണ്ടാമത്തേതിന്റേത് 20 ഉം ആണ്. ഇൻപുട്ട് സിഗ്നൽ 0.01V ആയാൽ ഔട്ട്പുട്ട് ac സിഗ്നൽ വോൾട്ടത കണക്കാക്കുക.

അധ്യായം പതിനഞ്ച്

വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനങ്ങൾ (COMMUNICATION SYSTEMS)

J7W9G5

15.1. ആമുഖം

ഭൂമുഖത്തുള്ള എല്ലാ ജീവജാലങ്ങളുടെയും നിലനിൽപ്പിന് പരസ്പരമുള്ള ആശയവിനിമയം അത്യന്താപേക്ഷിതമാണ്. തന്റെ ഉള്ളിലുള്ള ആശയത്തെ മറ്റൊരാളിലേക്ക് പകർന്നു കൊടുക്കുന്നതിനെയാണ് ആശയവിനിമയം എന്നു നിർവചിക്കുന്നത്. രണ്ടു പേർ തമ്മിലുള്ള ആശയവിനിമയം ഫലപ്രദമാകണമെങ്കിൽ പ്രേഷിതനും (sender) സ്വീകർത്താവും (receiver) ഉപയോഗിക്കുന്നത് ഒരേ ഭാഷയായിരിക്കണം. ചരിത്രാതീതകാലം മുതൽക്കേ മനുഷ്യൻ തന്റെ വാർത്താവിനിമയത്തിന്റെ ഗുണനിലവാരം മെച്ചപ്പെടുത്താൻ ശ്രമിച്ചിരുന്നു. കാലഘട്ടത്തിന്റെ ആവശ്യത്തിനും വാർത്താവിനിമയത്തിന്റെ സങ്കീർണ്ണതയ്ക്കും വേഗതയ്ക്കും അനുസരിച്ചാണ് വിവിധ ഭാഷകളുടെയും വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനങ്ങളുടെയും വികാസം നടന്നിട്ടുള്ളത്. വാർത്താവിനിമയരംഗത്തെ പ്രധാന നാഴികക്കല്ലുകൾ പട്ടിക 15.1 ൽ ചേർത്തിരിക്കുന്നു.

ജെ.സി.ബോസ്, എഫ്.ബി. മോർസ്, ജി. മാർക്കോണി, അലക്സാണ്ടർ ഗ്രഹാം ബെൽ തുടങ്ങിയ മഹാരഥന്മാർ 19-ാം നൂറ്റാണ്ടിലും 20-ാം നൂറ്റാണ്ടിലും തങ്ങളുടെ പഠന നിരീക്ഷണങ്ങൾ കൊണ്ട് ഒരുക്കിയ വളക്കൂറുള്ള മണ്ണിലാണ് ആധുനിക വാർത്താവിനിമയ സാങ്കേതിക വിദ്യയുടെ വേരുകൾ ഉറപ്പിച്ചിട്ടുള്ളത്. 20-ാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ ഉത്തരാർധത്തിൽ ഈ രംഗത്തെ വളർച്ച അതിശയകരമായിരുന്നു. വാർത്താവിനിമയ രംഗത്ത് വരും ദശകങ്ങളിൽ അത്ഭുതകരമായ വളർച്ചയുണ്ടാകുമെന്ന് ശാസ്ത്രലോകം കരുതുന്നു. വാർത്താവിനിമയ സാങ്കേതിക വിദ്യയുടെ വിവിധ മേഖലകളായ, ആശയ വിനിമയരീതി, മോഡുലേഷൻ സാങ്കേതികവിദ്യയുടെ ആവശ്യകത, അതിന്റെ രീതി ശാസ്ത്രം, ആയതി മോഡുലേഷ (Amplitude Modulation) ന്റെ സന്നിവേശം തുടങ്ങിയവയാണ് ഈ അധ്യായത്തിൽ നാം പഠിക്കുവാൻ പോകുന്നത്.

15.2. വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനത്തിന്റെ അടിസ്ഥാന ഘടകങ്ങൾ (ELEMENTS OF A COMMUNICATION SYSTEM)

ജീവജാലങ്ങൾക്ക് അവയുടെ ദൈനംദിന ജീവിതത്തിൽ വാർത്താവിനിമയം അനിവാര്യമാണ്. ഏതൊരു വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനത്തിന്റെയും മൂന്ന് അടിസ്ഥാന ഘടകങ്ങ

പട്ടിക 15.1 വാർത്താവിനിമയ ചരിത്രത്തിലെ ചില നാഴികക്കല്ലുകൾ

വർഷം	സംഭവം	കുറിപ്പ്
1565 A.D.	അക്ബർ ചക്രവർത്തിയുടെ പത്നി കുഞ്ഞിന് ജന്മം നൽകിയത് പെരുമ്പറ മുഴക്കത്തിലൂടെ വളരെ അകലെയായിരുന്ന ചക്രവർത്തിയെ ധരിപ്പിച്ചു.	അക്ബർ ചക്രവർത്തിയും രാജ്ഞിയും താമസിച്ചിരുന്ന സ്ഥലങ്ങൾക്കിടയിൽ എത്ര പെരുമ്പറക്കാരെ നിയമിക്കണമെന്ന് മന്ത്രിയായ ബീർബൽ പരീക്ഷണത്തിലൂടെ കണക്കുകൂട്ടിയിരുന്നതായി വിശ്വസിക്കുന്നു.
1835	സാമുവൽ F.B മോഴ്സും സർ.ചാൾസ് വിക്സ്റ്റണും ചേർന്ന് ടെലിഗ്രാഫ് കണ്ടുപിടിച്ചു.	ടെലിഗ്രാഫിന്റെ കണ്ടുപിടിത്തം പോസ്റ്റോഫീസുകൾ വഴിയുള്ള സന്ദേശ കൈമാറ്റത്തിന്റെ തോത് വർദ്ധിപ്പിക്കുകയും സന്ദേശവാഹകരായ വ്യക്തികളുടെ യാത്രാക്ലേശം കുറയ്ക്കുകയും ചെയ്തു.
1876	അലക്സാണ്ടർ ഗ്രഹാംബെൽ, അന്തോണിയോ മ്യൂചി എന്നിവർ ചേർന്ന് ടെലിഫോൺ കണ്ടുപിടിച്ചു.	ഇന്ന് മനുഷ്യരാശിയുടെ ചരിത്രത്തിൽ ഏറ്റവും കൂടുതലായി ഉപയോഗിക്കുന്ന വാർത്താവിനിമയ ഉപാധിയാണ് ടെലിഫോൺ.
1895	ജഗദീശ് ചന്ദ്രബോസും ഗുഗ്ലിയേൽമോ മാർക്കോണിയും കമ്പിയില്ലാ ടെലിഗ്രാഫി (wireless telegraphy) അവതരിപ്പിച്ചു.	കമ്പികൾ ഉപയോഗിച്ചുള്ള ആശയവിനിമയത്തിൽ നിന്നുമുള്ള ഒരു കുതിച്ചുചാട്ടത്തിന് കമ്പിയില്ലാക്കമ്പി വഴിയുള്ള (wireless) വാർത്താവിനിമയം ഇടയാക്കി.
1936	ടെലിവിഷൻ സംപ്രേഷണം (ജോൺ ലോഗി ബയേഡ്)	ബി.ബി.സി.യുടെ ആദ്യ ടെലിവിഷൻ സംപ്രേഷണം
1955	ഭൂഖണ്ഡങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള ആദ്യ റേഡിയോ ഫാക്സ് സംപ്രേഷണം	1843-ൽ അലക്സാണ്ടർബെയ്ൻ ഫാക്സ് (FAX) എന്ന ആശയത്തിന്റെ പേറ്റന്റ് നേടിയെടുത്തു.
1968	ആദ്യ ഇന്റർനെറ്റ് സങ്കേതം -ARPANET നിലവിൽവന്നു. (ജെ.സി.ആർ. ലിക്ക് ലൈഡർ)	അമേരിക്കൻ പ്രതിരോധവകുപ്പിന്റെ കീഴിലുള്ള ഒരു പ്രോജക്ടായിരുന്നു ARPANET. ശൃംഖലയിൽ ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു കമ്പ്യൂട്ടറിൽനിന്നും മറ്റൊരു കമ്പ്യൂട്ടറിലേക്ക് ഫയൽ ട്രാൻസ്ഫർ നടത്താൻ ഇതുമൂലം സാധ്യമായി.
1975	ബെൽ പരീക്ഷണശാലയിൽ ഫൈബർ ഒപ്റ്റിക്സ് വികസിപ്പിച്ചെടുത്തു	പരമ്പരാഗത വാർത്താവിനിമയ സങ്കേതങ്ങളേക്കാൾ മേന്മയേറിയതും ചെലവു കുറഞ്ഞതുമാണ് ഒപ്റ്റിക്കൽ ഫൈബർ സിസ്റ്റം.
1989-91	റ്റിംബർണേഴ്സ് ലീ വേൾഡ് വൈഡ് വെബ് (Word Wide Web) രൂപീകരിച്ചു.	സാധാരണക്കാർക്കുപോലും ഏതു സമയത്തും പ്രാപ്യമായ ബൃഹത്തായ സർവവിജ്ഞാനകോശമാണ് www.

ളാണ് പ്രക്ഷേപിണി (transmitter), ചാനൽ (channel), സ്വീകരണി (receiver) എന്നിവ. ഒരു വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനത്തിന്റെ ബ്ലോക്ക് ഡയഗ്രം ചുവടെ ചേർക്കുന്നു.

ചിത്രം 15.1 ഒരു വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനത്തിന്റെ ബ്ലോക്ക് ഡയഗ്രം

ഒരു വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനത്തിലെ പ്രക്ഷേപിണിയും (transmitter) സ്വീകരണിയും (receiver) വ്യത്യസ്ത ഇടങ്ങളിലാണ് സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നത്. ഇവയെ തമ്മിൽ ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന ഭൗതിക മാധ്യമമാണ് ചാനൽ. വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനത്തിനനുസൃതമായി ഈ ചാനൽ പ്രക്ഷേപിണിയെയും സ്വീകരണിയെയും തമ്മിൽ ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന കമ്പികളോ കേബിളുകളോ ആകാം. ചിലപ്പോൾ ഇത് വായുവോ ശൂന്യതയോ ആകാം. ഒരു സ്രോതസ്സിൽ നിന്നുമുള്ള സന്ദേശം (message signal) ചാനലിലൂടെ സംപ്രേഷണം ചെയ്യുന്നതിന് അനുയോജ്യമാക്കി മാറ്റുകയെന്നതാണ് പ്രക്ഷേപിണിയുടെ ധർമ്മം. ശബ്ദ സിഗ്നലുകൾ പോലുള്ള വൈദ്യുത സ്വഭാവമില്ലാത്ത സിഗ്നലുകളാണ് വിവരസ്രോതസ്സിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്നതെങ്കിൽ അത്തരം സിഗ്നലുകളെ ഒരു പരിവർത്തകം (transducer) വൈദ്യുത സിഗ്നലുകളാക്കി മാറ്റി പ്രക്ഷേപിണിയിലേക്കെത്തിക്കുന്നു. ഈ സിഗ്നലിനെ ഒരു ചാനലിലൂടെ സംപ്രേഷണം ചെയ്യുമ്പോൾ ചാനലിന്റെ ചില പ്രത്യേകതകൾ മൂലം അവയ്ക്ക് വൈകല്യങ്ങൾ ഉണ്ടാകാൻ സാധ്യതയുണ്ട്. കൂടാതെ ഈ സിഗ്നലുകൾ, അപസ്വരം പോലുള്ള അനാവശ്യ സിഗ്നലുകളുമായി കൂടിക്കലർന്ന് കൂടുതൽ വികലമാകുന്നതിനും ഇടയാകും. മിക്ക സ്വീകരണിയിലും എത്തിച്ചേരുന്നത് ഇപ്രകാരം വൈകല്യം സംഭവിച്ച സിഗ്നലുകളാണ്. ഇതിൽ നിന്നും സന്ദേശ സിഗ്നലുകളെ വേർതിരിച്ചെടുത്ത് തനതു രൂപത്തിലാക്കി സ്വീകർത്താവിന്/ഉപഭോക്താവിന് എത്തിക്കുകയെന്നതാണ് സ്വീകരണിയുടെ ധർമ്മം.

വാർത്താവിനിമയം പ്രധാനമായും രണ്ടുതരത്തിലാണുള്ളത്. (1) പോയിന്റ് - ടു-പോയിന്റ് (Point-to-Point), (2) ബ്രോഡ്കാസ്റ്റ് (Broadcast)

ഒരു പ്രക്ഷേപിണിയും ഒരു സ്വീകരണിയും തമ്മിൽ മാത്രം നടക്കുന്ന വാർത്താവിനിമയത്തെ പോയിന്റ് - ടു-പോയിന്റ് വിഭാഗത്തിൽ ഉൾപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നു. എന്നാൽ ഒരു പ്രക്ഷേപിണിയിൽ നിന്നുമുള്ള സന്ദേശങ്ങളെ ഒന്നിലധികം സ്വീകരണികൾ സ്വീകരിക്കുന്നുവെങ്കിൽ അത്തരം വാർത്താവിനിമയത്തെ ബ്രോഡ്കാസ്റ്റിംഗ് എന്നു പറയുന്നു. റേഡിയോ പ്രക്ഷേപണവും ടെലിവിഷൻ സംപ്രേഷണവും ഇത്തരത്തിലുള്ളതാണ്.

15.3. ഇലക്ട്രോണിക് വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുന്ന അടിസ്ഥാന പദാവലി (BASIC TERMINOLOGY USED IN ELECTRONIC COMMUNICATION SYSTEMS)

ഈ പാഠഭാഗത്ത് ഇതിനകം തന്നെ പ്രക്ഷേപിണി, ചാനൽ, അപസ്വരം (Noise) തുടങ്ങിയ പദങ്ങൾ നിങ്ങൾ കേട്ടു കഴിഞ്ഞു. ഏതൊരു ആശയവിനിമയ സാങ്കേതിക വിദ്യയ്ക്കും അടിസ്ഥാന ആശയങ്ങൾ മനസ്സിലാക്കുന്നതിന്, താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന ഏതാനും പദങ്ങൾ അർഥമാക്കുന്നതെന്താണെന്നു മനസ്സിലാക്കുന്നത് അത്യന്താപേക്ഷിതമാണ്.

ജഗദീശ് ചന്ദ്രബോസ് (1858 – 1937)

ജഗദീശ് ചന്ദ്രബോസ് (1858 – 1937)

വളരെ ചെറിയ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങളെ സൃഷ്ടിക്കാൻ കഴിയുന്ന ഉപകരണത്തെ രൂപകല്പന ചെയ്ത് അദ്ദേഹം ഇത്തരം തരംഗങ്ങളുടെ പ്രകാശ സമാന സവിശേഷതകളെ (quasi optical properties) കുറിച്ചു പഠിച്ചു. വൈദ്യുത കാന്തിക തരംഗങ്ങളെ വേർതിരിച്ചെടുക്കുന്നതിന് ഗലീന എന്ന അർദ്ധചാലകമുപയോഗിച്ച് ഒരു ഉപകരണം, ആദ്യമായി രൂപകല്പന ചെയ്തത് ജഗദീശ് ചന്ദ്രബോസാണ്.

1895 ഡിസംബർ 27 - ാം തീയതി 'ദി ഇലക്ട്രീഷ്യൻ' എന്ന ബ്രിട്ടീഷ് മാഗസിനിൽ അദ്ദേഹം തന്റെ മൂന്നു പ്രബന്ധങ്ങൾ പ്രസിദ്ധീകരിച്ചു. 1899 ഏപ്രിൽ 27 ന്റെ "റോയൽ സൊസൈറ്റിയുടെ പ്രൊസീഡിങ്സിൽ" (Proceedings of the Royal Society) അദ്ദേഹത്തിന്റെ കണ്ടുപിടുത്തം പ്രസിദ്ധീകരിച്ചിരുന്നു. ഇത് 1901 ഡിസംബർ 31 ന് മാർക്കോണി ആദ്യ വയർലെസ് വാർത്താവിനിമയം കണ്ടെത്തുന്നതിന് ഏകദേശം രണ്ടു വർഷം മുമ്പാണ്. ഇതു കൂടാതെ ബാഹ്യ ഉത്തേജനങ്ങൾ ജീവജാലങ്ങളിൽ ഉണ്ടാക്കുന്ന തീരെ ദുർബലമായ പ്രതികരണങ്ങൾ പോലും കണ്ടെത്താൻ കഴിയുന്ന അതീവ സംവേദനക്ഷമതയുള്ള ഉപകരണങ്ങൾ ബോസ് കണ്ടു പിടിച്ചു. മാത്രമല്ല ജന്തുകലകളും സസ്യകലകളും തമ്മിലുള്ള സാദൃശ്യം സ്ഥാപിക്കാനും അദ്ദേഹത്തിന് കഴിഞ്ഞു.

1. **പരിവർത്തകം (Transducer)**: ഒരു രൂപത്തിലുള്ള ഊർജത്തെ മറ്റൊരു രൂപത്തിലേക്കു മാറ്റുന്ന ഉപകരണങ്ങളെയാണ് പരിവർത്തകങ്ങൾ എന്നുപറയുന്നത്. ഇലക്ട്രോണിക് വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനങ്ങളിൽ ഉപയോഗിക്കുന്ന ഉപകരണങ്ങൾ സ്വീകരിക്കുന്നതും പുറപ്പെടുവിക്കുന്നതും വൈദ്യുത സിഗ്നലുകളാണ്. പരിവർത്തകം മർദ്ദം, താപനില, സ്ഥാനാന്തരം, ബലം തുടങ്ങിയ ഭൗതിക അളവുകളെ അനുയോജ്യമായ വൈദ്യുത സിഗ്നലുകളാക്കി മാറ്റുന്നു.

2. **സിഗ്നൽ (signal)**: സംപ്രേഷണത്തിനുതകുന്നവിധത്തിൽ വൈദ്യുത രൂപത്തിലേക്കു മാറ്റിയെടുത്ത വിവരങ്ങളെ അഥവാ സന്ദേശങ്ങളെയാണ് സിഗ്നൽ എന്നു നിർവചിക്കുന്നത്. സിഗ്നലുകൾ രണ്ടു തരത്തിലുണ്ട്. അനലോഗ് സിഗ്നലുകളും ഡിജിറ്റൽ സിഗ്നലുകളും. കറന്റിന്റെയോ വോൾട്ടതയുടെയോ തുടർച്ചയായ വ്യതിയാനത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്നതാണ് അനലോഗ് സിഗ്നലുകൾ. ഇവ സമയത്തിന്റെ ഏകമൂല്യഫലനങ്ങളാണ് (single valued functions of time). സൈൻ തരംഗങ്ങൾ (sine waves) അനലോഗ് സിഗ്നലുകൾക്ക് ഉദാഹരണമാണ്. എല്ലാ അനലോഗ് സിഗ്നലുകളെയും അവയുടെ സൈൻ തരംഗഘടകമുപയോഗിച്ച് വിശകലനം ചെയ്യാൻ സാധിക്കും. ടെലിവിഷൻ സംപ്രേഷണത്തിലെ ശബ്ദവും ചിത്രവും അനലോഗ് സിഗ്നലുകളാണ്. നിശ്ചിത സ്റ്റെപ്പ് മൂല്യ (step value) മുള്ള സിഗ്നലുകളാണ് ഡിജിറ്റൽ സിഗ്നലുകൾ. ഇത്തരം സിഗ്നലുകളെ ബൈനറി സംഖ്യാ സമ്പ്രദായത്തിലെ '0', '1' ഇവ ഉപയോഗിച്ചാണ് സൂചിപ്പിക്കാറുള്ളത്. '0' (പൂജ്യം) എന്നത് താഴ്ന്ന മൂല്യത്തെയും '1' (ഒന്ന്) എന്നത് ഉയർന്ന മൂല്യത്തെയും സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഉപയോഗപ്രദമായ പല കോഡിംഗ് സങ്കേതങ്ങളും ഡിജിറ്റൽ വാർത്താവിനിമയരംഗത്ത് ഉപയോഗിക്കാറുണ്ട്. ബൈനറി കോഡഡ് ഡെസിമൽ BCD* പോലെയുള്ള സംഖ്യാ സമ്പ്രദായത്തിന്റെ സാധ്യതകളെ ഡിജിറ്റൽ വാർത്താവിനിമയ രംഗം പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്നു. ഇപ്രകാരം ഉപയോഗിക്കുന്ന മറ്റൊരു ഡിജിറ്റൽ കോഡ് സമ്പ്രദായമാണ് അമേരിക്കൻ സ്റ്റാൻഡേർഡ് കോഡ് ഫോർ ഇൻഫോർമേഷൻ ഇന്റർചേയ്ഞ്ച് (ASCII)** ഇതിൽ സംഖ്യകളും, അക്ഷരങ്ങളും ചില പ്രത്യേക ചിഹ്നങ്ങളും ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഇന്ന് പ്രകാശ സിഗ്നലുകളും വാർത്താവിനിമയ രംഗത്ത് ധാരാളമായി ഉപയോഗിച്ചുവരുന്നു.

3. **അപസ്വരം (Noise)**: സന്ദേശ സിഗ്നലുകളെ സംപ്രേഷണം ചെയ്യുമ്പോൾ അവയുമായി കൂടിച്ചേരുന്ന അനാവശ്യ സിഗ്നലുകളാണ് അപസ്വരം (Noise). ഇത്തരം അനാവശ്യ സിഗ്നലുകളുടെ ഉറവിടം വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനത്തിന്റെ ഉള്ളിലോ പുറത്തോ ആകാം.

4. **പ്രക്ഷേപിണി (Transmitter)**: ഒരു മാധ്യമത്തിലൂടെ സ്വീകരണിയിലേക്ക് എത്തിക്കുന്നതിനായി അനുയോജ്യമായ തരത്തിൽ സ്രോതസ്സിൽ നിന്നുമുള്ള സിഗ്നലുകളെ രൂപപ്പെടുത്തിയെടുക്കുന്നത് പ്രക്ഷേപിണിയാണ്.

* BCD സമ്പ്രദായത്തിൽ നാല് ബൈനറി (പൂജ്യം അഥവാ ഒന്ന്) ബിറ്റുകൾ ഉപയോഗിച്ചാണ് ഒരു ഡിജിറ്റിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നത്. ഉദാഹരണത്തിന് 0,1,2,3,4 എന്ന ദശാംശ സമ്പ്രദായത്തിലെ സംഖ്യകളെ 0000, 0001, 0010, 0011, 0100 എന്നിങ്ങനെയാണ് സൂചിപ്പിക്കുന്നത്. 1000 എന്നത് എട്ടിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

** ഇത് ഇംഗ്ലീഷ് അക്ഷരമാലയിലെ അക്ഷരങ്ങളെ അടിസ്ഥാനമാക്കിയുള്ള സംഖ്യകളെ ഉപയോഗിച്ചുള്ള കോഡിംഗ് സമ്പ്രദായമാണ്, കാരണം കംപ്യൂട്ടറുകളുടെ ഭാഷ സംഖ്യകളാണ്.

5. **സ്വീകരണി (Receiver)** : മാധ്യമത്തിലൂടെ സ്വീകരണിയിലെത്തുന്ന സിഗ്നലുകളിൽ നിന്നും, സ്വീകരണി ആവശ്യമായ സന്ദേശത്തെ മാത്രം വേർതിരിച്ചെടുക്കുന്നു.

6. **അവശോഷണം (Attenuation)** : മാധ്യമത്തിലൂടെ സംപ്രേഷണം ചെയ്യുമ്പോൾ സിഗ്നലിന്റെ ശക്തി കുറയുന്നതിനെ അവശോഷണം എന്നു പറയുന്നു.

7. **ആവർധനം/പ്രവർധനം (Amplification)** : സംപ്രേഷണം ചെയ്യുന്ന സിഗ്നലിന്റെ ആയതി (Amplitude) ഇലക്ട്രോണിക് സർക്കീട്ടുപയോഗിച്ച് വർദ്ധിപ്പിക്കുന്ന പ്രക്രിയയാണ് പ്രവർധനം. ചാനലിലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോൾ സിഗ്നലിനുണ്ടാകുന്ന അവശോഷണത്തെ അതിജീവിക്കുവാൻ പ്രവർധനം സഹായിക്കുന്നു. ഒരു ഡി.സി. ഊർജ സ്രോതസ്സിൽ നിന്നുള്ള ഊർജ്ജം ഉപയോഗിച്ചാണ് ഇത്തരത്തിൽ സിഗ്നലുകളുടെ ശക്തി വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നത്. പ്രക്ഷേപിണിക്കും സ്വീകരണിക്കുമിടയിൽ എവിടെയെല്ലാം സിഗ്നൽ ദുർബലമാകുന്നുവോ അവിടെയെല്ലാം പ്രവർധനം വഴി സിഗ്നലിന്റെ ശക്തി അഭിലഷണീയമായ തലത്തിലേക്ക് ഉയർത്താറുണ്ട്.

8. **പ്രേഷണപരിധി (Range)** : പ്രക്ഷേപിണിയിൽ നിന്നും സംപ്രേഷണം ചെയ്യുന്ന ഒരു സിഗ്നലിന് അഭിലഷണീയമായ ശക്തിയോടെ എത്തിച്ചേരാൻ കഴിയുന്ന പരമാവധി ദൂരമാണ് പ്രേക്ഷണ പരിധി (Range).

9. **ബാൻഡ് വിഡ്ത്ത് (Bandwidth)** : ഒരു സിഗ്നലിന്റെ ആവൃത്തിയുടെ വ്യാപ്തി അഥവാ ഒരു ഉപകരണം പ്രവൃത്തിക്കുന്ന ആവൃത്തിയുടെ പരിധിയെ ബാൻഡ്‌വിഡ്ത്ത് എന്നു പറയുന്നു.

10. **മോഡുലേഷൻ (Modulation):** കുറഞ്ഞ ആവൃത്തിയിലുള്ള സന്ദേശ സിഗ്നലുകളെ വളരെ അകലെയുള്ള സ്വീകരണിയിലേക്കു സംപ്രേഷണം ചെയ്യുവാൻ സാധിക്കില്ല. അങ്ങനെ ചെയ്യുമ്പോൾ ഉണ്ടാകുന്ന പ്രശ്നങ്ങളെ കുറിച്ച് സെക്ഷൻ 15.7ൽ വിശദമായി പ്രതിപാദിച്ചിട്ടുണ്ട്. താഴ്ന്ന ആവൃത്തിയിലുള്ള സന്ദേശ സിഗ്നലുകളെ ഉയർന്ന ആവൃത്തിയിലുള്ള വാഹക തരംഗങ്ങളുമായി കൂട്ടിച്ചേർത്താണ് വളരെ ദൂരേക്ക് സംപ്രേഷണം ചെയ്യുന്നത്. ഇതിനെയാണ് മോഡുലേഷൻ എന്നു പറയുന്നത്. AM, FM, PM എന്നിങ്ങനെ വിവിധതരം മോഡുലേഷനുകൾ സാധാരണയായി ഉപയോഗിക്കാറുണ്ട്.

11. **ഡീ-മോഡുലേഷൻ (De-modulation):** വാഹക തരംഗങ്ങളിൽ നിന്നും സന്ദേശ സിഗ്നലുകളെ വേർതിരിച്ചെടുക്കുന്ന പ്രക്രിയയാണ് ഡീ-മോഡുലേഷൻ. ഇത് മോഡുലേഷന്റെ നേർവിപരീത പ്രക്രിയയാണ്.

12. **റിപ്പീറ്റർ (Repeater)** : പ്രക്ഷേപിണിയും സ്വീകരണിയും സംയോജിച്ചതാണ് റിപ്പീറ്റർ. പ്രക്ഷേപിണിയിൽ നിന്നുമുള്ള സിഗ്നലിനെ റിപ്പീറ്റർ സ്വീകരിക്കുകയും പ്രവർധനം ചെയ്ത ശേഷം പുനഃപ്രേഷണം ചെയ്യുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇങ്ങനെ റിപ്പീറ്റർ പുനഃപ്രേഷണം ചെയ്യുമ്പോൾ വാഹക തരംഗത്തിന്റെ ആവൃത്തിയിൽ വ്യതിയാനം സംഭവിക്കാറുണ്ട്. റിപ്പീറ്റർ ഉപയോഗിച്ച് വാർത്താവിനിമയ സങ്കേതങ്ങളുടെ പ്രേഷണപരിധി (range) വർദ്ധിപ്പിക്കാൻ സഹായിക്കുന്നത് ചിത്രം 15.2 ൽ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. ശൂന്യാകാശത്തു സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന റിപ്പീറ്റർ സ്റ്റേഷനുകളാണ് വാർത്താവിനിമയ ഉപഗ്രഹങ്ങൾ.

ചിത്രം 15.2 വാർത്താവിനിമയത്തിന്റെ പ്രേഷണ പരിധി ഉയർത്തുന്നതിനായുള്ള റിപ്പീറ്ററുകളുടെ ഉപയോഗം

15.4 സിഗ്നലുകളുടെ ബാൻഡ്‌വിഡ്ത്ത് (BAND WIDTH OF SIGNALS)

ഒരു വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനത്തിൽ ശബ്ദം, ചിത്രം, സംഗീതം, കമ്പ്യൂട്ടർ ഡാറ്റ എന്നിങ്ങനെ വിവിധതരം സന്ദേശ സിഗ്നലുകൾ വിനിമയം ചെയ്യേണ്ടതായി വരും. ഇവ ഓരോന്നിന്റെയും ആവൃത്തിയുടെ പരിധി വ്യത്യസ്തമാണ്. വാർത്താവിനിമയത്തിന് ആവശ്യമായ ആവൃത്തിയുടെ പരിധിക്കനുസരിച്ചാണ് ഒരു സിഗ്നൽ സംപ്രേഷണം ചെയ്യാനുള്ള വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനം രൂപപ്പെടുത്തുന്നത്.

നാം സംസാരിക്കുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന ശബ്ദസിഗ്നലുകളെ സംപ്രേഷണം ചെയ്യാൻ ആവശ്യമായ ആവൃത്തിയുടെ പരിധി 300Hz മുതൽ 3100Hz വരെയാണെന്ന് കണക്കാക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. തന്മൂലം സംസാരിക്കുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന സിഗ്നലുകളെ (speech signal) ടെലിഫോൺ വഴി സംപ്രേഷണം ചെയ്യാനാവശ്യമായ ബാൻഡ് വിഡ്ത്ത് 2800Hz (3100 - 300 Hz) ആണ്. സംഗീതം സംപ്രേഷണം ചെയ്യുമ്പോൾ സംഗീതോപകരണങ്ങളുടെ ഉയർന്ന ആവൃത്തിയിലുള്ള ശബ്ദതരംഗങ്ങളെ കൂടി ഉൾപ്പെടുത്തണമെന്നുള്ളതിനാൽ ബാൻഡ്‌വിഡ്ത് 20 kHz വരെയാകാറുണ്ട്. നമ്മുടെ ശ്രവണപരിധിയുടെ ബാൻഡ് വിഡ്ത് 20Hz മുതൽ 20000Hz വരെയാണ്.

വീഡിയോ സിഗ്നലുകളെ സംപ്രേഷണം ചെയ്യാൻ 4.2MHz ബാൻഡ്‌വിഡ്ത്ത് ആവശ്യമാണ്. ടെലിവിഷൻ സിഗ്നലുകളിൽ ചിത്രവും ശബ്ദവും സന്നിവേശിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നതിനാൽ ബാൻഡ്‌വിഡ്ത്ത് ഏകദേശം 6MHz വരെ അനുവദിക്കേണ്ടി വരുന്നു.

ചിത്രം 15.3 അടിസ്ഥാന സൈൻതരംഗങ്ങളുടെയും അതിന്റെ ഹാർമോണിക്കുകളുടെയും സഹായത്തോടെ ഒരു ചതുരതരംഗത്തിന്റെ ഏകദേശ ദൃശ്യം (approximation)

മുൻ ഖണ്ഡികകളിൽ നാം ചർച്ച ചെയ്തത് അനലോഗ് സിഗ്നലുകളെ കുറിച്ചാണ്. ചിത്രം 15.3-ൽ ചതുരാകൃതിയിലുള്ള (rectangular) ഡിജിറ്റൽ സിഗ്നലിനെ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. ഈ ചതുര തരംഗത്തെ ν_0, $2\nu_0$, $3\nu_0$, $4\nu_0$..... എന്നിങ്ങനെ ആവൃത്തിയുള്ള സൈൻ തരംഗങ്ങളുടെ സൂപ്പർപൊസിഷൻ (Superposition) ആയി കണക്കാക്കാവുന്നതാണ്. ഇങ്ങനെ വരുമ്പോൾ ഇത് അനന്തമായ ബാൻഡ്‌വിഡ്ത്തിന്റെ ആവശ്യകതയിലേക്ക് വിരൽ ചൂണ്ടുന്നു. എന്നാൽ പ്രായോഗികതലത്തിൽ, ഉയർന്ന ഹാർമോണിക്കുകളിൽ നിന്നുള്ള സംഭാവനയെ ഒഴിവാക്കി സിഗ്നലിന്റെ ബാൻഡ്‌വിഡ്ത്തിനെ പരിമിതപ്പെടുത്തുന്നു. തന്മൂലം സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന സിഗ്നലുകൾ സംപ്രേഷണം ചെയ്യപ്പെട്ട സിഗ്നലുകളേക്കാൾ അൽപം രൂപമാറ്റം സംഭവിച്ചവയായിരിക്കും. എന്നാൽ സിഗ്നലിന് ഹാർമോണിക്കുകളെ ഉൾക്കൊള്ളിക്കാൻ കഴിയുന്ന തരത്തിൽ ഉയർന്ന ബാൻഡ്‌വിഡ്ത്താണെങ്കിൽ സിഗ്നലിലെ സന്ദേശത്തെയും ചതുരാകൃതിയിലുള്ള സിഗ്നലിനെയും ഏകദേശം പൂർണ്ണമായും വേർതിരിച്ചെടുക്കുന്നതിനു കഴിയും. ഉയർന്ന ഹാർമോണിക്കുകൾ തരംഗത്തിന്റെ രൂപത്തിന് (waveform) നൽകുന്ന സംഭാവന തീരെ ചെറുതായതാണിതിനു കാരണം.

15.5 പ്രക്ഷേപണം നടക്കുന്ന മാധ്യമത്തിന്റെ ബാൻഡ്‌വിഡ്ത്ത് (BANDWIDTH OF TRANSMISSION MEDIUM)

സന്ദേശ സിഗ്നലുകളെ പോലെ സിഗ്നലുകളെ സംപ്രേഷണം ചെയ്യുന്ന വ്യത്യസ്ഥ മാധ്യമങ്ങൾ വ്യത്യസ്ത ബാൻഡ്‌വിഡ്ത്താണ് പ്രധാനം ചെയ്യുന്നത്. നാം സർവ്വസാധാരണയായി ഉപയോഗിക്കുന്ന മാധ്യമങ്ങളാണ് ലോഹക്കമ്പി (wire), ശൂന്യാകാശം (free space) ഒപ്റ്റിക്കൽ ഫൈബർ എന്നിവ. വാർത്താവിനിമയരംഗത്ത് വ്യാപകമായി ഉപയോഗിച്ചു വരുന്ന കോ-ആക്സിയൽ (coaxial) കേബിളുകൾ നൽകുന്ന ബാൻഡ് വിഡ്ത്ത് ഏകദേശം 750 മെഗാ ഹെട്സ് (750MHz) ആണ്. ഇത്തരം കേബിളുകളെ സാധാരണ പ്രവർത്തിപ്പിക്കുന്നത് 18GHz ആവൃത്തിയിൽ താഴെയാണ്. ശൂന്യാകാശത്തുകൂടെയുള്ള റേഡിയോ തരംഗങ്ങളുടെ സംപ്രേഷണത്തിന് വളരെ ഉയർന്ന ആവൃത്തി പരിധി ആവശ്യമാണ്, നുറുകണക്കിന് kHz മുതൽ GHz വരെ ഉയർന്ന ബാൻഡ്‌വിഡ്ത്താണ് ഇവിടെ ഉപയോഗിച്ചു വരുന്നത്. വിവിധ സേവനങ്ങൾക്കായി അനുവദിച്ചിരിക്കുന്ന ആവൃത്തികളുടെ പരിധിയെ പട്ടിക 15.2 ൽ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. ഒപ്റ്റിക്കൽ ഫൈബർ കേബിളുകളിലൂടെയുള്ള വാർത്താവിനിമയത്തിന് 1THz മുതൽ 1000THz വരെ (മൈക്രോവേവ് മുതൽ അൾട്രാവയലറ്റ് വരെ) ഉള്ള ആവൃത്തി പരിധിയിലാണ് ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ഒരു ഒപ്റ്റിക്കൽ ഫൈബർ കേബിളിലൂടെ സംപ്രേഷണത്തിന് ലഭ്യമായ ബാൻഡ് വിഡ്ത് 100GHz ലും അധികമാണ്.

അന്തർദേശീയ തലത്തിലുള്ള ഒരു ഉടമ്പടിയുടെ അടിസ്ഥാനത്തിലാണ് വിവിധ സേവനങ്ങൾക്കാവശ്യമായ 'സ്പെക്ട്രം' അനുവദിക്കുന്നത്. ഇപ്പോൾ ഇന്റർനാഷണൽ ടെലികമ്മ്യൂണിക്കേഷൻ യൂണിയൻ (ITU) ആണ് ഇത്തരത്തിൽ ആവൃത്തി പരിധി അനുവദിക്കുന്നതിന്റെ ചുമതല നിർവഹിക്കുന്നത്.

പട്ടിക 15.2: കമ്പിയില്ലാക്കമ്പി (wireless communication) വഴിയുള്ള വാർത്താവിനിമയത്തിലെ ചില പ്രധാന ആവൃത്തി പരിധികൾ (frequency bands)

സേവനം	ഫ്രീക്വൻസി ബാൻഡ്	കുറിപ്പുകൾ
സ്റ്റാൻഡേർഡ് AM സംപ്രേഷണം	540-1600 kHz	
FM സംപ്രേഷണം	88-108 MHz	
ടെലിവിഷൻ	54-72 MHz 76-88 MHz 174-216 MHz 420-890 MHz	VHF (വെരി ഹൈ ഫ്രീക്വൻസി) (വളരെ ഉയർന്ന ആവൃത്തി) TV UHF (അൾട്രാ ഹൈ ഫ്രീക്വൻസി) TV
സെല്ലുലാർ മൊബൈൽ റേഡിയോ	896-901 MHz 840-935 MHz	മൊബൈൽ മുതൽ ബേസ് സ്റ്റേഷൻ വരെ ബേസ് സ്റ്റേഷൻ മുതൽ മൊബൈൽ വരെ
ഉപഗ്രഹ വാർത്താവിനിമയം	5.925-6.425 GHz 3.7-4.2 GHz	അപ്‌ലിങ്ക് ഡൗൺലിങ്ക്

15.6 വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങളുടെ പ്രസരണം (PROPAGATION OF ELECTROMAGNETIC WAVES)

പ്രക്ഷേപിണിയിൽ ഉള്ള ആന്റിനയിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന വൈദ്യുത കാന്തിക തരംഗങ്ങൾ അന്തരീക്ഷത്തിലൂടെ സഞ്ചരിച്ച് സ്വീകരണിയിലെ ആന്റിനയിലെത്തിച്ചേരുമ്പോഴാണ് വാർത്താവിനിമയം സാധ്യമാകുന്നത്. പ്രക്ഷേപിണിയിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന വൈദ്യുത കാന്തിക തരംഗങ്ങൾ അന്തരീക്ഷത്തിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ അവയുടെ ശക്തി ക്ഷയിക്കുന്നു. വൈദ്യുത കാന്തിക തരംഗങ്ങളുടെ സംചരണത്തെയും അവ കടന്നുപോകുന്ന പാതയെയും സ്വാധീനിക്കുന്ന വളരെയധികം ഘടകങ്ങളുണ്ട്. അതുപോലെ ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തിന്റെ ഘടനയും വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങളുടെ സംചരണത്തിൽ അതിന്റെ പ്രാധാന്യവും മനസ്സിലാക്കേണ്ടത് അത്യന്താപേക്ഷിതമാണ്. ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തിന്റെ വിവിധ പാളികളുടെ വിശദാംശങ്ങൾ പട്ടിക 15.3ൽ തന്നിരിക്കുന്നു.

15.6.1 പ്രതലതരംഗം (Ground wave)

കാര്യക്ഷമമായി ഒരു സിഗ്നലിനെ പുറപ്പെടുവിക്കണമെങ്കിൽ ആന്റിനയുടെ വലുപ്പം സിഗ്നലിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം λ യുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തക്കതായിരിക്കണം (ചുരുങ്ങിയ പക്ഷം ~ $\lambda/4$ എങ്കിലും). ഉയർന്ന തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള (അതായത് താഴ്ന്ന ആവൃത്തിയിലുള്ള) തരംഗങ്ങളെ സംപ്രേഷണം ചെയ്യണമെങ്കിൽ ആന്റിനയുടെ വലുപ്പം വളരെ കൂടുതലായിരിക്കണം. മാത്രമല്ല അവ ഭൗമോപരിതലത്തിനടുത്തായി സ്ഥാപിക്കണം. സ്റ്റാൻഡേർഡ് AM സംപ്രേഷണത്തിൽ ഭൂപ്രതലത്തിൽ സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്ന ടവറുകളെയാണ് സംപ്രേഷണത്തിനുള്ള ആന്റിനകളായി ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ഇത്തരം ആന്റിനകൾ ഉപയോഗിച്ചുള്ള സിഗ്നലിന്റെ പ്രേഷണത്തിൽ ഭൗമോപരിതലം (ground) ഗണ്യമായ പങ്കുവഹിക്കുന്നുണ്ട്. അതിനാൽ ഇത്തരത്തിൽ നടക്കുന്ന തരംഗങ്ങളുടെ സംപ്രേഷണത്തെ പ്രതലതരംഗങ്ങളുടെ സംപ്രേഷണം എന്നു പറയുന്നു. ഈ തരംഗങ്ങൾ ഭൂമിയുടെ പ്രതലത്തിലൂടെ ഒഴുകി നീങ്ങുന്നു. ഇവ കടന്നുപോകുന്ന ഭൗമപ്രതലത്തിൽ അവ ഒരു പ്രേരിത വൈദ്യുതി (induced current) ഉൽപാദിപ്പിക്കുന്നു. ഭൂമി ഈ തരംഗങ്ങളുടെ ഊർജം ആഗിരണം ചെയ്യുന്നതു കൊണ്ട് അവയ്ക്ക് അവശോഷണം (attenuation) സംഭവിക്കുന്നു. തരംഗങ്ങളുടെ ആവൃത്തി ഉയരുന്നതിനനുസരിച്ച് അവശോഷണവും വർദ്ധിക്കുന്നു. പ്രതലതരംഗങ്ങൾ സംപ്രേഷണം ചെയ്യാനാകുന്ന പ്രേഷണപരിധി (range) സംപ്രേഷണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന തരംഗങ്ങളുടെ പവറിനെയും ആവൃത്തിയെയും (ഏതാനും മെഗാഹെട്സുകളേക്കാൾ കുറവ്) ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു.

15.6.2. ആകാശ തരംഗങ്ങൾ (Sky Waves)

ഏതാനും മെഗാഹെർട്സ് (MHz) മുതൽ 30 – 40 MHz വരെയുള്ള ആവൃത്തി ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ ഈ റേഡിയോ തരംഗങ്ങൾ അയണോസ്ഫിയറിൽ നിന്നും ഭൗമോപരിതലത്തിലേക്ക് പ്രതിഫലനം ചെയ്യപ്പെടുന്നതുമൂലമാണ് വളരെ ദൂരെയുള്ള സ്ഥലങ്ങളിലേക്ക് വാർത്താവിനിമയം നടത്തുവാൻ കഴിയുന്നത്. ഇത്തരത്തിലുള്ള സംപ്രേക്ഷണത്തെ ആകാശതരംഗ സംപ്രേക്ഷണം എന്നു പറയുന്നു. ഷോർട്ട് വേവ് സംപ്രേഷണത്തിനാണ് ഈ സാങ്കേതികവിദ്യ ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ചാർജുള്ള കണികകളുടെയും അയോണുകളുടെയും സാന്നിദ്ധ്യമാണ് അയണോസ്ഫിയറിന് ആ പേരു ലഭിക്കാനുള്ള കാരണം. ഭൗമോപരിതലത്തിൽ നിന്നും ഏകദേശം 65കി.മീ. മുതൽ 400 കി.മീ. വരെ അയണോസ്ഫിയർ വ്യാപിച്ചു കിടക്കുന്നു. സൂര്യനിൽ നിന്നുള്ള അൾട്രാവയലറ്റ് കിരണങ്ങളെയും മറ്റ് ഉയർന്ന ഊർജമുള്ള കിരണങ്ങളെയും അന്തരീക്ഷത്തിലെ വായുതന്മാത്രകൾ ആഗിരണം ചെയ്ത് അവ അയോണുകളായി മാറുന്നു. അയണോസ്ഫിയറിനെ പലഭാഗങ്ങ

പട്ടിക 15.3 ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തിലെ വിവിധ പാളികളും വൈദ്യുത കാന്തികതരംഗങ്ങളും സംചരണത്തിൽ അവയുടെ പരസ്പര പ്രവർത്തനവും

ഭൗമാന്തരീക്ഷപാളിയുടെ പേര്		ഭൂമിയുടെ പ്രതലത്തിൽ നിന്നുള്ള ഏകദേശ ഉയരം	നിലനിൽക്കുന്ന സമയം	ഏറ്റവും കൂടുതൽ ബാധിക്കുന്ന ആവൃത്തി
ട്രോപ്പോസ്ഫിയർ		10 കി.മീ	പകലും രാത്രിയും	VHF (വളരെയധികം GHz വരെ)
D (സ്ട്രാറ്റോസ്ഫിയറിന്റെ ഭാഗം)	അയണോസ്ഫിയറിന്റെ ഭാഗങ്ങൾ	65 മുതൽ 75 കി.മീ വരെ	പകൽ മാത്രം	LFനെ പ്രതിഫലിപ്പിക്കുന്നു. MFനെയും HFനെയും ഒരു പരിധി വരെ ആഗിരണം ചെയ്യുന്നു.
E (സ്ട്രാറ്റോസ്ഫിയറിന്റെ ഭാഗം)		100 കി.മീ	പകൽ മാത്രം	പ്രതല തരംഗങ്ങളെ സഹായിക്കുന്നു. HF നെ പ്രതിഫലിപ്പിക്കുന്നു.
F_1 (മിസോസ്ഫിയറിന്റെ ഭാഗം)		170 - 190 കി.മീ	പകൽ സമയം, രാത്രിയിൽ F_2 വുമായി സംയോജിക്കുന്നു.	HF തരംഗങ്ങളെ ഭാഗികമായി ആഗിരണം ചെയ്യുന്നുവെങ്കിലും അവയെ F_2 വിൽ എത്താൻ അനുവദിക്കുന്നു.
F_2 (തെർമോസ്ഫിയർ)		300 കി.മീ.(രാത്രി) 250 - 400 കി.മീ. (പകൽ സമയത്ത്)	പകലും രാത്രിയും	HFതരംഗങ്ങളെ ഫലപ്രദമായി പ്രതിഫലിപ്പിക്കുന്നു, പത്യേകിച്ച് രാത്രികാലങ്ങളിൽ

ളായി വീണ്ടും തരംതിരിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇവ പട്ടിക 15.3ൽ വിശദീകരിച്ചിട്ടുണ്ട്. വായുതന്മാത്രകളുടെ അയോണീകരണം ഭൗമോപരിതലത്തിൽ നിന്നുമുള്ള ഉയരത്തിനനുസരിച്ച് വ്യത്യാസപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. അന്തരീക്ഷത്തിന്റെ സാന്ദ്രത ഭൗമോപരിതലത്തിൽ നിന്നുമുള്ള ഉയരത്തിനനുസരിച്ച് കുറയുന്നു. അന്തരീക്ഷത്തിന്റെ വളരെ ഉയർന്ന ഭാഗങ്ങളിൽ അതിതീവ്രതയോടെ സൗരവികിരണങ്ങൾ പതിക്കുന്നുവെങ്കിലും അവിടെ വായുവിന്റെ സാന്ദ്രത കുറവായതു കൊണ്ട് അയോണീകരിക്കപ്പെടുന്ന തന്മാത്രകളുടെ എണ്ണം വളരെ കുറവാണ്. എന്നാൽ ഭൗമോപരിതലത്തിനു വളരെ അടുത്ത് വായുതന്മാത്രകളുടെ സാന്ദ്രത കൂടുതലാണെങ്കിലും എത്തിച്ചേരുന്ന സൗരവികിരണങ്ങളുടെ തീവ്രത വളരെ കുറവാണ്. തന്മൂലം അയോണീകരണം വളരെ കുറച്ചു മാത്രമേ നടക്കാറുള്ളു. എന്നാൽ ഇതിനു രണ്ടിനുമിടയിലുള്ള ചില ഉയരങ്ങളിൽ അയോണീകരണ സാന്ദ്രത വളരെ കൂടുതലാണ്. 3 മുതൽ 30 വരെ MHz ആവൃത്തി പരിധിയിലുള്ള തരംഗങ്ങളെ പ്രതിഫലിപ്പിക്കാൻ അയണോസ്ഫിയറിനു കഴിയും. എന്നാൽ 30 MHz നു മുകളിൽ ആവൃത്തിയുള്ള വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങൾ അയണോസ്ഫിയറിനെ തുളച്ച് പുറത്തേക്കു പോകാറുണ്ട്. ഈ പ്രതിഭാസത്തെ ചിത്രം 15.4ൽ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇത്തരത്തിൽ വൈദ്യുതകാന്തികതരംഗങ്ങൾക്കുണ്ടാകുന്ന പ്രതിഫലനവും അവ ഭൗമോപരിതലത്തിലേക്കു തിരിച്ചെത്തുന്നതും പ്രകാശത്തിന്റെ പൂർണ്ണആന്തരിക പ്രതിഫലനത്തിനു സമാനമാണ്.*

* മരീചികയുമായി ഇതിനെ താരതമ്യം ചെയ്യുക.

ചിത്രം 15.4 ആകാശതരംഗ സംചരണം വിവിധ പാളികളുടെ നാമകരണം പട്ടിക 15.3ൽ തന്നിരിക്കുന്നു.

15.6.3 സ്പേയ്സ് തരംഗം (Space Wave)

റേഡിയോ തരംഗങ്ങൾ സംചരണം ചെയ്യുന്ന മറ്റൊരു രീതിയാണ് ബഹിരാകാശതരംഗങ്ങൾ. ബഹിരാകാശതരംഗങ്ങൾ പ്രക്ഷേപിണിയിലെ ആന്റിനയിൽ നിന്നും പുറപ്പെട്ട് നേർരേഖയിലൂടെ സഞ്ചരിച്ച് സ്വീകരണിയിലെ ആന്റിനയിലെത്തിച്ചേരുന്നു. ബഹിരാകാശ തരംഗങ്ങളെ ലൈൻ ഓഫ് സൈറ്റ് (LOS) വാർത്താവിനിമയത്തിനും ഉപഗ്രഹവാർത്താവിനിമയത്തിനും ഉപയോഗിക്കുന്നു. 40 MHz നു മുകളിൽ ആവൃത്തിയിലുള്ള തരംഗങ്ങളെ ലൈൻ-ഓഫ്-സൈറ്റ് വാർത്താവിനിമയത്തിന്റെ പരിധിയിലാണുൾപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നത്. ഈ ആവൃത്തി ഉപയോഗിക്കുന്ന ആന്റിനകളുടെ വലുപ്പം കുറവാണ്. മാത്രമല്ല തരംഗദൈർഘ്യത്തിന്റെ പല മടങ്ങ് ഉയരത്തിൽ ഇവയെ സ്ഥാപിക്കുകയും ചെയ്യാം. ലൈൻ-ഓഫ്-സൈറ്റ് വാർത്താവിനിമയത്തിൽ ഒരു ആന്റിനയിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന നേർരേഖയിലുള്ള സിഗ്നലുകൾ മറ്റൊരു ആന്റിനയിലെത്തുന്നത് പലപ്പോഴും ഭൂമിയുടെ വക്രത മൂലം തടസ്സപ്പെടാറുണ്ട്. ഇത് ചിത്രം 15.5ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ചക്രവാള പരിധിക്കപ്പുറത്തേക്കു സിഗ്നലിനെ എത്തിക്കണമെങ്കിൽ സ്വീകരണിയിലെ ആന്റിന ലൈൻ-ഓഫ്-സൈറ്റ് തരംഗങ്ങളെ നേരിട്ടു ലഭിക്കുവാൻ തക്ക ഉയരമുള്ളതായിരിക്കണം.

ചിത്രം 15.5 ബഹിരാകാശതരംഗങ്ങളുപയോഗിച്ചുള്ള ലൈൻ ഓഫ് സൈറ്റ് വാർത്താവിനിമയം

ഭൂമിയുടെ ആരം R (ഏകദേശം 6400 കി.മീ.), പ്രക്ഷേപിണിയുടെ ഉയരം h_T, പ്രക്ഷേപിണിയുടെ ചക്രവാള സീമ d_T ഇവയാണെങ്കിൽ $d_T = \sqrt{2Rh_T}$ എന്നു കണക്കാക്കാൻ സാധിക്കും. (R ഏകദേശം 6400 കി.മീ. ആണ്) d_Tയെ സംപേഷണ ആന്റീനയുടെ റേഡിയോ ചക്രവാളസീമ എന്നും വിളിക്കാറുണ്ട്. ചിത്രം 15.5 ൽ നിന്നും h_T, h_R എന്നിങ്ങനെ ഉയരമുള്ള രണ്ട് ആന്റിനകൾ തമ്മിലുള്ള ലൈൻ-ഓഫ്-സൈറ്റ് ദൂരം d_M എന്നത്

$d_m = \sqrt{2Rh_T} + \sqrt{2Rh_R}$ എന്നെഴുതാം.

$h_R \rightarrow$ സ്വീകരണിയിലെ ആന്റിനയുടെ ഉയരം.

ടെലിവിഷൻ സംപ്രേഷണം, മൈക്രോവേവ് ലിങ്ക്, ഉപഗ്രഹ വാർത്താവിനിമയം എന്നിവ ബഹിരാകാശ തരംഗങ്ങളുടെ സഹായത്തോടെ നടക്കുന്ന വാർത്താവിനിമയത്തിനുദാഹരണങ്ങളാണ്. ചിത്രം 15.6 ൽ വൈദ്യുത കാന്തിക തരംഗങ്ങളുടെ വിവിധ സംചരണരീതികൾ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നതു ശ്രദ്ധിക്കുക.

ചിത്രം 15.6 വൈദ്യുത കാന്തിക തരംഗങ്ങളുടെ വിവിധ സംചരണ രീതികൾ

ഉദാഹരണം 15.1 ഒരു ടവറിനുമുകളിൽ സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്ന പ്രക്ഷേപിണിയിലെ ആന്റിനയുടെ ഉയരം 32 മീറ്ററും സ്വീകരണിയിലെ ആന്റിനയുടെ ഉയരം 50 മീറ്ററും ആണ്. ഈ രണ്ടു ആന്റിനകൾ തമ്മിൽ ഫലപ്രദമായ രീതിയിൽ വാർത്താവിനിമയം ദൃശ്യരേഖാ (ലൈൻ-ഓഫ്-സൈറ്റ്) രീതിയിൽ നടക്കണമെങ്കിൽ അവ തമ്മിലുള്ള കൂടിയ അകലം എത്രയായിരിക്കണം? ഭൂമിയുടെ ആരം = 6.4×10^6 മീറ്റർ

ഉത്തരം:-

$$d_m = \sqrt{2 \times 64 \times 10^5 \times 32} + \sqrt{2 \times 64 \times 10^5 \times 50} \text{ m}$$

$$= 64 \times 10^2 \times \sqrt{10} + 8 \times 10^3 \times \sqrt{10} \text{ m}$$

$$= 144 \times 10^2 \times \sqrt{10} \text{ m} = 45.5 \text{ km}$$

ഉദാഹരണം 15.1

15.7. മോഡുലേഷനും അതിന്റെ ആവശ്യകതയും (MODULATION AND ITS NECESSITY)

ഒരു വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനത്തിന്റെ ഉദ്ദേശ്യം സന്ദേശ സിഗ്നലുകളെ പ്രേഷണം ചെയ്യുകയെന്നതാണ്. സന്ദേശ സിഗ്നലുകളെ സാധാരണയായി ബേയ്സ് ബാൻഡ് സിഗ്നലുകൾ (base band signals) എന്നു പറയുന്നു. ഇവ സ്രോതസ്സിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന സ്വാഭാവിക സിഗ്നലുകളെ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്ന ആവൃത്തികളുടെ ഒരു കൂട്ടമാണ് (frequency band). ഒരു സിഗ്നലും ഒരു പ്രത്യേക ആവൃത്തി മാത്രമുള്ള തരംഗ രൂപ

സിഗ്നലുകൾ (Sinsoidal signal) അല്ല. പകരം ഇവ ഒരു ആവൃത്തി പരിധിയിൽ അഥവാ ബാൻഡ്‌വിഡ്ത്തിൽ (bandwidth) ഉൾക്കൊള്ളുന്നതായാണ് കാണുന്നത്. 20kHz ബേസ് ബാൻഡ്‌വിഡ്ത് ആവൃത്തിയിൽ താഴെയുള്ള ശബ്ദാവൃത്തി (audio frequency) പരിധിയിലുള്ള ഒരു ഇലക്ട്രോണിക് സിഗ്നലിനെ വളരെ ദൂരേക്ക് പ്രേഷണം ചെയ്യണമെന്നിരിക്കട്ടെ. ഈ പ്രേഷണത്തിന് വിഘാതമായി വരുന്ന ഘടകങ്ങൾ ഏതൊക്കെയാണെന്നും അവയെ എങ്ങനെ മറികടക്കാനാകുമെന്നും നമുക്കു പരിശോധിക്കാം.

15.7.1 ആന്റിനയുടെ അഥവാ ഏരിയലിന്റെ വലുപ്പം (Size of the Antenna or aerial)

ഏതൊരു സിഗ്നലിനെയും സംപ്രേഷണം ചെയ്യാൻ ഒരു ആന്റിന അത്യന്താപേക്ഷിതമാണ്. ഈ ആന്റിനയുടെ വലുപ്പം സിഗ്നലിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യവുമായി (ഏകദേശം $\lambda/4$) താരതമ്യപ്പെടുത്തത്തക്കതായിരിക്കണം. എങ്കിൽ മാത്രമേ സിഗ്നലിലുള്ള സമയവ്യതിയാനങ്ങൾ ആന്റിനയ്ക്ക് കൃത്യമായി തിരിച്ചറിയാൻ കഴിയൂ. 20kHz ആവൃത്തിയുള്ള ഒരു വൈദ്യുതകാന്തികതരംഗത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം ഏകദേശം 15km ആണ്. ഈ സിഗ്നലിന്റെ സംപ്രേഷണത്തിനായി ഇത്രയും നീളമുള്ള ഒരു ആന്റിന നിർമിക്കുകയും പ്രവർത്തിപ്പിക്കുകയും ചെയ്യുന്നത് തികച്ചും അപ്രായോഗികമാണ്. അതായത് ഇത്തരം ആവൃത്തി കുറഞ്ഞ ബേസ് ബാൻഡ് സിഗ്നലുകളെ നേരിട്ട് സംപ്രേഷണം ചെയ്യുന്നത് പ്രായോഗികമല്ല. സംപ്രേഷണം ചെയ്യുന്ന സിഗ്നലിന്റെ ആവൃത്തി ഉയർന്നതാണെങ്കിൽ (ഉദാ: ആവൃത്തി 1MHz ആണെങ്കിൽ തരംഗദൈർഘ്യം 300m) ആന്റിനയുടെ ഉയരം തരംഗദൈർഘ്യത്തിന് ആനുപാതികമായി കുറയ്ക്കാൻ സാധിക്കും. അതുകൊണ്ട് താഴ്ന്ന ആവൃത്തിയിലുള്ള യഥാർഥ ബേസ്ബാൻഡ് സിഗ്നലുകളിലുള്ള വിവരങ്ങളെ ഉയർന്ന ആവൃത്തിയിലേക്ക് അഥവാ റേഡിയോ ആവൃത്തിയിലേക്ക് സംപ്രേഷണത്തിനു മുൻപേ സന്നിവേശിപ്പിക്കേണ്ടത് അത്യാവശ്യമായി വരുന്നു.

15.7.2. ആന്റിനയിൽ നിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന പവർ (Effective Power Radiated by an Antenna)

'ℓ' നീളമുള്ള ഒരു ആന്റിനയിൽ നിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന പവർ ഏകദേശം $(\ell/\lambda)^2$ നു നേർഅനുപാതത്തിലാണെന്ന് കണക്കാക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. ഇതനുസരിച്ച് തരംഗദൈർഘ്യം കുറയുന്തോറും അഥവാ ആവൃത്തി കൂടുന്തോറും ഒരു ആന്റിനയിൽ നിന്നും പ്രസരിപ്പിക്കപ്പെടുന്ന പവർ കൂടുന്നതായി കാണാം. തരംഗദൈർഘ്യം കൂടുതലുള്ള ഒരു ബേസ് ബാൻഡ് സിഗ്നൽ മൂലം ആന്റിനയിൽ നിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന പവർ കുറവായിരിക്കും ഫലപ്രദമായ രീതിയിൽ സിഗ്നലിന്റെ സംപ്രേഷണം സാധ്യമാകണമെങ്കിൽ ആന്റിനയിൽ നിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന പവർ ഉയർന്നതായിരിക്കണം. തന്മൂലം ഉയർന്ന ആവൃത്തിയുള്ള തരംഗങ്ങളെ സംപ്രേഷണത്തിനായി ഉപയോഗിക്കേണ്ടത് അത്യാവശ്യമാണ്.

15.7.3. വിവിധ ട്രാൻസ്മിറ്ററുകളിൽ നിന്നുമുള്ള സിഗ്നലുകളുടെ പരസ്പര കൂടിച്ചേരൽ (Mixing up of signals from different transmitters)

ഒരേ സമയത്ത് വിവിധ വ്യക്തികൾ സംസാരിക്കുന്നതും ഒന്നിൽ കൂടുതൽ പ്രക്ഷേപിണികൾ ബേസ് ബാൻഡ് സിഗ്നലിനെ ഒരുമിച്ച് ഒരേ സമയം സംപ്രേഷണം ചെയ്യുന്നതും വാർത്താവിനിമയരംഗത്ത് ഒഴിച്ചു കൂടാനാകാത്തതാണ്. ഇത്തരം സന്ദർഭങ്ങളിൽ സിഗ്നലുകൾ കൂടിക്കലരാനുള്ള സാധ്യത വളരെയേറെയാണ്.

ഇങ്ങനെ സിഗ്നലുകൾ പരസ്പരം കൂടിക്കലരുന്നതിനാൽ ഓരോ സിഗ്നലിനെയും വേർതിരിച്ചറിയുകയെന്നത് അസാധ്യമാണ്. ഈ പ്രശ്നത്തിനുള്ള പരിഹാരം ഉയർന്ന ആവൃത്തിയിലുള്ള സിഗ്നലുകളുപയോഗിച്ചുള്ള വാർത്താവിനിമയവും ഓരോ സന്ദേശസിഗ്നലിനും ഒരു നിശ്ചിത ആവൃത്തി പരിധി നിശ്ചയിച്ച് സംപ്രേഷണം നടത്തുകയെന്നുള്ളതുമാണ്.

മുകളിൽ പ്രതിപാദിച്ച വസ്തുതകളിൽ നിന്നും താഴ്ന്ന ആവൃത്തിയിലുള്ള തനതു സിഗ്നലിനെയും അതിൽ ഉൾക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന സന്ദേശങ്ങളെയും ഉയർന്ന ആവൃത്തിയിലുള്ള ഒരു സിഗ്നലിലേക്ക് സന്നിവേശിപ്പിക്കേണ്ടത് സംപ്രേഷണത്തിന് ആവശ്യമാണെന്നു മനസ്സിലാക്കാം. ഇപ്രകാരം ഉയർന്ന ആവൃത്തിയിലുള്ള സിഗ്നലുമായി കൂടിച്ചേർക്കുമ്പോൾ സന്ദേശ സിഗ്നലിലെ വിവരങ്ങൾ നഷ്ടപ്പെടാൻ ഇടയാകാത്ത വിധത്തിലായിരിക്കണം സംപ്രേഷണത്തിനുള്ള സിഗ്നലിനെ രൂപപ്പെടുത്തുന്നത് എന്ന് ഉറപ്പുവരുത്തേണ്ടതുണ്ട്. ഇങ്ങനെ സന്ദേശത്തെ ചേർത്തു വയ്ക്കുന്നതിനായി ഉയർന്ന ആവൃത്തിയിലുള്ള വാഹകതരംഗങ്ങൾ (carrier waves) ആവശ്യമാണ്. വാഹകതരംഗങ്ങൾ തുടർച്ചയായുള്ളതോ (സൈൻ രൂപത്തിലുള്ളതോ) പൾസുകളുടെ രൂപത്തിലുള്ളതോ ആകാം. ചിത്രം 15.7 ശ്രദ്ധിക്കുക.

ചിത്രം 15.7 (a) സൈൻരൂപത്തിലുള്ള സിഗ്നലുകൾ, (b) പൾസ് ആകൃതിയിലുള്ള സിഗ്നലുകൾ

സൈൻ രൂപത്തിലുള്ള ഒരു വാഹക തരംഗത്തെ താഴെ പറയുന്നപ്രകാരം പ്രതിനിധാനം ചെയ്യാവുന്നതാണ്.

$$c(t) = A_c Sin(\omega_c t + \phi) \qquad 15.2$$

ഇവിടെ c(1) എന്നത് സിഗ്നലിന്റെ ക്ഷണിക ആയതിയും (വോൾട്ടതയോ കറന്റോ), A_c എന്നത് ആയതി (Amplitude) യും $\omega_c (= 2\pi \nu_0)$ എന്നത് കോണീയ ആവൃത്തിയും (angular frequency) ϕ എന്നത് വാഹകതരംഗത്തിന്റെ ആദ്യ ഫേസും (Initial phase) ആണ്. മോഡുലേഷൻ എന്ന പ്രക്രിയ നടക്കുമ്പോൾ വാഹകതരംഗത്തിന്റെ മേൽപറഞ്ഞ ഘടകങ്ങളിലെ, അതായത് A_c, ω_c, ϕ ഇവയിലെ, ഏതെങ്കിലും ഒന്ന് സന്ദേശ സിഗ്നലുകളാൽ നിയന്ത്രിക്കപ്പെടുന്നതായി മാറും. ഇത് ചിത്രം 15.8 ലേതു പോലെ മൂന്നു തരം മോഡുലേഷനുകൾക്ക് കാരണമാകുന്നു: i) ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷൻ (Amplitude Modulation) AM, ii) ഫ്രീക്വൻസി മോഡുലേഷൻ FM (Frequency Modulation), iii) ഫേസ് മോഡുലേഷൻ PM (Phase Modulation)

ചിത്രം 15.8 വാഹകതരംഗത്തിനുണ്ടാകുന്ന മോഡുലേഷൻ (a) സൈൻ രൂപത്തിലുള്ള വാഹകതരംഗം (Carrier Waves), (b) മോഡുലേറ്റ് ചെയ്യുന്ന സിഗ്നൽ, (Modulating Signal), (c) ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷൻ (Amplitude Modulation), (d) ഫ്രീക്വൻസി മോഡുലേഷൻ (Frequency Modulation), (e) ഫേസ് മോഡുലേഷൻ (Phase Modulation)

Modulation and Demodulation
http://e-g.v-lab.co.in/?s=e-%%content-16&sectr-%%content-30
PHYSICS

ചിത്രം 15.7 (b) യിൽ സൂചിപ്പിക്കുന്നതുപോലെ ഒരു പൾസ് തരംഗത്തിന്റെ സ്വഭാവ സവിശേഷതകളാണ് പൾസ് ആയതി (Pulse amplitude), പൾസ് ഇടവേള (Pulse duration) അഥവാ പൾസ് വീതി (Pulse width), പൾസിന്റെ സ്ഥാനം [(pulse position) പൾസിന്റെ ആയതി കൂടുന്നതോ കുറയുന്നതോ സൂചിപ്പിക്കുന്ന സമയം] തുടങ്ങിയവ. വിവിധതരം പൾസ് മോഡുലേഷനുകൾ താഴെ പറയുന്ന പ്രകാരമാണ്.

a) പൾസ് ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷൻ (Pulse Amplitude Modulation, PAM)

b) പൾസ് ഡ്യൂറേഷൻ മോഡുലേഷൻ (Pulse Duration Modulation, PDM) അഥവാ പൾസ് വിഡ്ത്ത് മോഡുലേഷൻ (Pulse Width Modulation, PWM)

c) പൾസ് പൊസിഷൻ മോഡുലേഷൻ (Pulse Position Modulation, PPM)

ഈ അധ്യായത്തിൽ ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷനെ കുറിച്ചു മാത്രമാണ് നാം ചർച്ച ചെയ്യുന്നത്.

15.8. ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷൻ (Amplitude Modulation)

ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷനിൽ വാഹകതരംഗത്തിന്റെ ആയതി സന്ദേശ സിഗ്നലിന് അനുസൃതമായി മാറ്റം വരുത്തുകയാണ് ചെയ്യുന്നത്. ഇവിടെ, സൈൻ രൂപത്തിലുള്ള ഒരു സിഗ്നലിനെ മോഡുലേറ്റിംഗ് സിഗ്നൽ ആയി ഉപയോഗിച്ചുകൊണ്ടുള്ള മോഡുലേഷനെക്കുറിച്ച് നമുക്ക് ചർച്ച ചെയ്യാം.

$c(t) = A_c \sin\omega_c t$ എന്നത് ഒരു വാഹകതരംഗവും $m(t) = A_m \sin\omega_m t$ എന്നത് ഒരു സന്ദേശ സിഗ്നൽ അഥവാ മോഡുലേറ്റിംഗ് സിഗ്നലും ആണെന്നിരിക്കട്ടെ $\omega_m = 2\pi f_m$ എന്നത് സന്ദേശ സിഗ്നലിന്റെ കോണീയ ആവൃത്തിയാണ്. മോഡുലേഷനുശേഷം ലഭിക്കുന്ന സിഗ്നലിനെ (Modulated Signal) നമുക്ക് താഴെ പറയുന്ന പ്രകാരം സൂചിപ്പിക്കാം.

$$c_m(t) = (A_c + A_m \sin\omega_m t)\sin\omega_c t$$

$$= A_c\left(1 + \frac{A_m}{A_c}\sin\omega_m t\right)\sin\omega_c t \qquad (15.3)$$

മോഡുലേഷനുശേഷം ലഭിക്കുന്ന സിഗ്നലിൽ സന്ദേശ സിഗ്നലും അടങ്ങിയിരിക്കുന്നുവെന്നത് ശ്രദ്ധിക്കുക. ചിത്രം 15.8 (c) യിൽ നിന്നും ഇത് മനസ്സിലാക്കാവുന്നതാണ്. സമവാക്യം (15.3) ൽ നിന്നും

$$c_m(t) = A_c \sin\omega_c t + \mu A_c \sin\omega_m t \sin\omega_c t \qquad (15.4)$$

എന്നു ലഭിക്കുന്നു.

ഇവിടെ $\mu = \frac{A_m}{A_c}$ ഇതിലെ μ എന്നത് മോഡുലേഷൻ സൂചിക (Modulation Index) ആണ്.

പ്രായോഗികതലത്തിൽ സിഗ്നലിനുണ്ടാകുന്ന വൈകല്യം (distortion) തടയുന്നതിനായി $\mu \le 1$ ആയി ക്രമീകരിക്കുന്നു.

സമവാക്യം (15.4)ൽ നിന്നുമുള്ള $c_m(t)$ = യുടെ വിലയെ ത്രികോണമിതിയിലെ $\sin A \sin B = \frac{|\cos(A-B) - \cos(A+B)|}{2}$ എന്ന സൂത്രവാക്യമുപയോഗിച്ചു കണക്കാക്കാം.

$$c_m(t) = A_c \sin\omega_c t + \frac{\mu A_c}{2}\cos(\omega_c - \omega_m)t - \frac{\mu A_c}{2}\cos(\omega_c + \omega_m)t \qquad (15.5)$$

ഇവിടെ $(\omega_c - \omega_m)$, $(\omega_c + \omega_m)$ ഇവ യഥാക്രമം ലോവർ സൈഡ് (Lower side), അപ്പർ സൈഡ് (upper side) ആവൃത്തികൾ എന്നറിയപ്പെടുന്നു. മോഡുലേഷനുശേഷം ലഭിക്കുന്ന സിഗ്നലിൽ വാഹകതരംഗത്തിന്റെ ആവൃത്തിയായ ω_c യെ കൂടാതെ ആവൃത്തികൾ തമ്മിൽ അല്പമാത്രം വ്യത്യാസമുള്ള രണ്ട് സൈൻരൂപതരംഗങ്ങൾ കൂടി അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു. ഈ രണ്ടു തരംഗങ്ങളെയും സൈഡ്ബാൻഡുകൾ (side bands) എന്നു പറയുന്നു. ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷൻ ചെയ്യപ്പെട്ട ഒരു സിഗ്നലിന്റെ ഫ്രീക്വൻസി സ്പെക്ട്രം ചിത്രം 15.9 ൽ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 15.9 ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷൻ ചെയ്ത ഒരു തരംഗത്തിന്റെ ആയതിയും കോണീയ ആവൃത്തി (ω) യും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ്

സൈഡ് ബാൻഡുകൾ തമ്മിൽ അഭിലഷണീയമായ അകലമുണ്ടാകുന്ന തരത്തിലാണ് (അവ അതിവ്യാപനം ചെയ്യാത്തവിധത്തിൽ) സംപ്രേഷണത്തിലെ ആവൃത്തികൾ (വാഹകതരംഗങ്ങൾ) എങ്കിൽ പരസ്പരം തടസ്സപ്പെടുത്താതെ വിവിധ സ്റ്റേഷനുകൾ പ്രവർത്തിപ്പിക്കാൻ സാധിക്കും.

ഉദാഹരണം 15.2 10 kHz ആവൃത്തിയും 10V പീക്ക് (ശൃംഗ) വോൾട്ടതയുമുള്ള (peak voltage) ഒരു സന്ദേശ സിഗ്നൽ ഉപയോഗിച്ച് 1MHz ആവൃത്തിയും 20V ശൃംഗവോൾട്ടതയുമുള്ള വാഹകതരംഗത്തെ മോഡുലേറ്റ് ചെയ്യുന്നു. (a) മോഡുലേഷൻ ഇൻഡക്സ് (b) ഉണ്ടാകുന്ന സൈഡ് ബാൻഡുകൾ ഇവ കണക്കാക്കുക.

ഉത്തരം:-

(a) മോഡുലേഷൻ ഇൻഡക്സ് = $\frac{10}{20} = 0.5$

(b) സൈഡ് ബാൻഡുകൾ (1000−10kHz)− 1010kHz ഉം (1000-10kHz)− 990kHz ഉം ആണ്.

ഉദാഹരണം 15.2

15.9. ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷൻ തരംഗങ്ങളുടെ രൂപീകരണം (Production of Amplitude Modulated wave)

വിവിധ സങ്കേതങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് നമുക്ക് ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷൻ സൃഷ്ടിക്കാൻ കഴിയും. ആശയപരമായി വളരെ ലളിതമായ ഒരു മോഡുലേഷൻ സങ്കേതത്തിനെ ചിത്രം 15.10 ൽ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 15.10 AM സിഗ്നൽ ലഭിക്കുന്നതിനുള്ള ലളിതമായ ഒരു മോഡുലേറ്ററിന്റെ ബ്ലോക്ക് ഡയഗ്രം.

ഇവിടെ $A_m sin\omega_m t$ എന്ന മോഡുലേറ്റിംഗ് സിഗ്നലിനെ $A_c sin\omega_c t$ എന്ന വാഹക സിഗ്നലുമായി കൂട്ടിചേർത്ത് x(t) എന്ന സിഗ്നൽ രൂപപ്പെടുത്തുന്നു. $x(t) = A_m sin\omega_m t + A_c sin\omega_c t$ എന്ന സിഗ്നലിനെ രേഖീയമല്ലാത്ത (Nonlinear), വർഗ്ഗനിയമം പാലിക്കുന്ന (Square law device) ഒരു ഉപകരണത്തിലൂടെ കടത്തി വിടുമ്പോൾ ലഭിക്കുന്ന സിഗ്നൽ

$$y(t) = Bx(t) + Cx(t)^2 \tag{15.6}$$

ഇവിടെ B, C ഇവ സ്ഥിരാങ്കങ്ങളാണ്. അപ്പോൾ

$$y(t) = BA_m \sin\omega_m t + BA_c \sin\omega_c t$$

$$+C\left[A_m^2 \sin^2\omega_m t + A_c^2 \sin^2\omega_c t + 2A_m A_c \sin\omega_m t \sin\omega_c t\right] \tag{15.7}$$

$$= BA_m \sin\omega_m t + BA_c \sin\omega_c t$$

$$+\frac{CA_m^2}{2} + \frac{C}{2}A_c^2 - \frac{CA_m^2}{2}\cos 2\omega_m t - \frac{CA_c^2}{2}\cos 2\omega_c t$$

$$+ CA_m A_c \cos(\omega_c - \omega_m)t - CA_m A_c \cos(\omega_c + \omega_m)t \tag{15.8}$$

ഇവിടെ $\sin^2 A = (1 - \cos 2A)/2$ എന്ന ത്രികോണമിതിസൂത്രവാക്യവും നേരത്തെ നാം പരിഗണിച്ച $\sin A \sin B$ എന്ന സൂത്രവാക്യവും ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്നു.

സമവാക്യം 15.8-ൽ $\frac{C}{2}(A_m^2 + A_c^2)$ എന്ന നേർധാരയെ സൂചിപ്പിക്കുന്ന (dc) പദവും ω_m, $2\omega_m$, ω_c $2\omega_c$, $(\omega_c - \omega_m)$, $(\omega_c - \omega_m)$ എന്നീ സൈൻ രൂപ - ആവൃത്തികളും കാണാൻ കഴിയും. ഈ സിഗ്നലിനെ ചിത്രം 15.10 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഒരു ബാൻഡ് പാസ് ഫിൽറ്ററിലൂടെ* കടത്തിവിടുമ്പോൾ ω_m, $2\omega_m$, $2\omega_c$ എന്നീ സൈൻ രൂപ ആവൃത്തികളെ ഒഴിവാക്കുകയും ω_c, $\omega_c - \omega_m$, $\omega_c + \omega_m$ എന്നീ ആവൃത്തികളെ നിലനിർത്തുകയും ചെയ്യും. അപ്പോൾ ബാൻഡ് പാസ് ഫിൽറ്ററിൽ നിന്നും പുറത്തുവരുന്ന സിഗ്നൽ സമവാക്യം 15.5 ലേതിനു തുല്യമായിരിക്കും. ഇത് ഒരു AM തരംഗമാണ്.

മോഡുലേഷനുശേഷം ലഭിക്കുന്ന സിഗ്നലിനെ നമുക്ക് അതേപടി സംപ്രേഷണം ചെയ്യാൻ സാധിക്കുകയില്ല. മോഡുലേറ്ററിനുശേഷം ഒരു പവർ ആംപ്ലിഫയറിലൂടെ കടത്തിവിട്ട് ഈ സിഗ്നലിനെ ആവശ്യമുള്ള തരത്തിൽ ശക്തിപ്പെടുത്തുകയും പ്രക്ഷേപണം നടത്തുന്നതിനായി ശരിയായ വലുപ്പത്തിലുള്ള ഒരു ആന്റിനയിലേക്ക് അയയ്ക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ചിത്രം 15.11 ശ്രദ്ധിക്കുക.

ചിത്രം 15.11 ഒരു ട്രാൻസ്മിറ്ററിന്റെ ബ്ലോക്ക് ഡയഗ്രം.

* ഒരു ബാൻഡ്പാസ് ഫിൽറ്റർ താഴ്ന്ന ആവൃത്തിയിലും ഉയർന്ന ആവൃത്തിയിലുമുള്ള സിഗ്നലുകളെ തിരസ്ക്കരിക്കുകയും ആവൃത്തികളുടെ ഒരു പ്രത്യേക ബാൻഡിനെ മാത്രം കടന്നു പോകാൻ അനുവദിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

15.10 ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷൻ തരംഗത്തിന്റെ വേർതിരിച്ചെടുക്കൽ (Detection of Amplitude Modulated Wave)

ഒരു മാധ്യമത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോൾ സംപ്രേഷണം ചെയ്ത സന്ദേശത്തിന് അവശോഷണം (Attenuation) സംഭവിക്കുന്നതിനാൽ ഊർജശോഷണം സംഭവിച്ചിരിക്കും. അതിനാൽ സ്വീകരണിയിലെ ആന്റിനയിൽ ലഭിക്കുന്ന സിഗ്നലിനെ ഒരു ആംപ്ലിഫയറിലൂടെ കടത്തിവിട്ട് ആവർധനം നടത്തുന്നു. (Amplifier). തുടർന്ന് ഒരു ഡിറ്റക്ടറിലേക്ക് കടത്തിവിടുന്നു. ഇതിനു പുറമേ വാഹകതരംഗങ്ങളുടെ ആവൃത്തി താഴ്ന്ന ആവൃത്തിയിലേക്ക് കുറയ്ക്കുന്നതിനായി ഒരു മധ്യവർത്തി ആവൃത്തി ഘട്ടം (Intermediate Frequency Stage (IF Stage)) ഡിറ്റക്ഷനു മുൻപ് ഉപയോഗിക്കുന്നുണ്ട്. വേർതിരിച്ചെടുക്കപ്പെട്ട സിഗ്നലിന് ഉപയോഗയോഗ്യമാക്കുന്നതിനാവശ്യമായ ശക്തി ഉണ്ടാകണമെന്നില്ല. അതിനാൽ ഈ സിഗ്നലിനെ വീണ്ടും പ്രവർധനം (amplify) ചെയ്യേണ്ടതുണ്ട്. ഒരു സ്വീകരണിയുടെ, ബ്ലോക്ക് ഡയഗ്രം ചിത്രം 15.12 ൽ ചേർത്തിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 15.12 സ്വീകരണിയുടെ ബ്ലോക്ക് ഡയഗ്രം

മോഡുലേഷൻ ചെയ്യപ്പെട്ട വാഹക തരംഗത്തിൽ (Modulated carrier wave) നിന്നും മോഡുലേറ്റു ചെയ്യുന്ന സിഗ്നലിനെ (Modulating signal) വേർതിരിച്ചെടുക്കുന്ന പ്രക്രിയയാണ് ഡീമോഡുലേഷൻ (Demodulation). മോഡുലേറ്റു ചെയ്യപ്പെട്ട വാഹകതരംഗത്തിൽ $\omega_c, \omega_c \pm \omega_m$ എന്നീ ആവൃത്തികൾ അടങ്ങിയിട്ടുണ്ടെന്ന് നമുക്കറിയാം. ω_m കോണീയ ആവൃത്തിയിലുള്ള m(t) എന്ന ബേയ്സ് ബാൻഡ് സിഗ്നലിനെ വേർതിരിച്ചെടുക്കുന്നതിനുള്ള ലളിതമായ ഒരു പ്രക്രിയ ഒരു ബ്ലോക്ക് ഡയഗ്രത്തിലൂടെ ചിത്രം 15.13-ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു

ചിത്രം 15.13 AM സിഗ്നലിന്റെ ഡിറ്റക്ടറിന്റെ ബ്ലോക്ക് ഡയഗ്രം.
y- അക്ഷത്തിൽ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നത് കറന്റോ വോൾട്ടതയോ ആകാം.

ചിത്രം 15.13(a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന മോഡുലേറ്റു ചെയ്യപ്പെട്ട സിഗ്നലിനെ ഒരു റെക്ടിഫയറിലൂടെ കടത്തിവിടുമ്പോൾ (b) യിൽ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന തരംഗമാണ് പുറത്തേക്കു വരുന്നത്. (b) ഈ സിഗ്നലിന്റെ ആവരണ തരംഗമാണ് സന്ദേശ സിഗ്നൽ. m(t) യെ വേർതിരിച്ചെടുക്കുന്നതിനായി സിഗ്നലിനെ ഒരു എൻവലപ് ഡിറ്റക്ടറിലൂടെ (Envelope Detector) (ഇത് വളരെ ലളിതമായ RC സർക്യൂട്ടിനാൽ നിർമിതമാണ്) കടത്തി വിടുന്നു.

ഈ അദ്ധ്യായത്തിൽ വാർത്താവിനിമയത്തിന്റെ ചില അടിസ്ഥാന ആശയങ്ങളെക്കുറിച്ചും വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനങ്ങളെ കുറിച്ചുമാണ് നാം ചർച്ച ചെയ്തത്. കൂടാതെ ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷനെ പറ്റിയും നാം വിശദമായി ചർച്ച ചെയ്തു. ആധുനിക വാർത്താവിനിമയ രംഗത്ത് വിവിധതരം മോഡുലേഷനുകൾക്കും ഡിജിറ്റൽ വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനങ്ങൾക്കും സുപ്രധാനമായ പങ്കുണ്ട്. നമുക്കു ചുറ്റും ഇത്തരത്തിലുള്ളതും ഇതിനേക്കാൾ ആവേശമുണർത്തുന്നതുമായ ആവിഷ്കാരങ്ങൾ ദിനംപ്രതി രൂപപ്പെടുന്നുണ്ട്.

നമ്മുടെ ചർച്ച ചില അടിസ്ഥാന വാർത്താവിനിമയ സങ്കേതങ്ങളെക്കുറിച്ചു മാത്രമായി ചുരുക്കിയിരുന്നു. ഈ അധ്യായം ഉപസംഹരിക്കുന്നതിനു മുമ്പ് നമ്മുടെ ദൈനംദിന ജീവിതത്തിൽ പോലും ആശയവിനിമയം നടത്തുന്നതിന് വിപ്ലവകരമായ മാറ്റങ്ങൾ സൃഷ്ടിച്ച ചില വാർത്താവിനിമയ സംവിധാനങ്ങളിലേക്കൊരു എത്തിനോട്ടം നടത്താം.

കൂടുതൽ അറിവുകൾ

ഇന്റർനെറ്റ് (The Internet)

ലോകത്താകമാനം ഒരു ബില്യനോളം ഉപഭോക്താക്കൾ ഇന്റർനെറ്റ് ഉപയോഗിക്കുന്നുണ്ട്. വളരെ ബൃഹത്തും സങ്കീർണ്ണവുമായ ഒരു നെറ്റ്‌വർക്കിലൂടെ പരസ്പരം ബന്ധിപ്പിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന രണ്ടോ അതിൽ കൂടുതലോ കമ്പ്യൂട്ടറുകൾ തമ്മിൽ ഏതുതരം ആശയവും വിനിമയം ചെയ്യുന്നതിന് ഇന്റർനെറ്റ് സഹായിക്കുന്നു. 1960-കളിലാണ് ഇന്റർനെറ്റ് നിലവിൽ വന്നതെങ്കിലും പൊതുജനങ്ങൾക്ക് ഉപയോഗത്തിനായി തുറന്നു കൊടുത്തത് 1990 കളിലാണ്. കാലക്രമേണ വളരെ ദ്രുതഗതിയിലുള്ള വളർച്ചയ്ക്കും വികാസത്തിനും വിധേയമായ ഇന്റർനെറ്റിന് ഇപ്പോഴും വികാസ പരിണാമങ്ങൾ സംഭവിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുകയാണ്. താഴെ പറയുന്നവ ഇന്റർനെറ്റിന്റെ ചില പ്രായോഗികതലങ്ങളാണ്.

1) ഇ-മെയിൽ (E-mail)

ഒരു ഇ-മെയിൽ സോഫ്റ്റ്‌വെയർ സങ്കേതത്തിലൂടെ വാക്കുകളോ (text) ചിത്രങ്ങളോ (graphic materials) കൈമാറ്റം ചെയ്യുന്നതിന് അനുവദിക്കുന്നു. നാമെഴുതിയ ഒരു കത്ത് ഒരു ISP (ഇന്റർനെറ്റ് സർവീസ് പ്രൊവൈഡർ (Internet Service Provider) യുടെ സഹായത്തോടെ മറ്റൊരാൾക്ക് കൈമാറാൻ സാധിക്കുന്നു. ഇവിടെ ISP കൾ കത്തുകൾ ശേഖരിച്ച് വിതരണം ചെയ്യുന്ന പോസ്റ്റോഫീസുകൾക്ക് തത്തുല്യമായി പ്രവർത്തിക്കുന്നു.

2) ഫയൽ കൈമാറ്റം (File Transfer)

ഒരു കമ്പ്യൂട്ടറിൽ നിന്നും ഇന്റർനെറ്റിലൂടെ ബന്ധിപ്പിച്ചിട്ടുള്ള മറ്റൊരു കമ്പ്യൂട്ടറിലേക്ക് ഫയലുകളോ സോഫ്റ്റ്‌വെയറുകളോ കൈമാറ്റം ചെയ്യാൻ FTP (File Transfer Programme) സഹായിക്കുന്നു.

3) വേൾഡ് വൈഡ് വെബ് [World Wide Web (www)]

കമ്പ്യൂട്ടറുകളിൽ ശേഖരിച്ചിരിക്കുന്ന പ്രത്യേക വിവരങ്ങൾ മറ്റുള്ളവരുമായി പങ്കുവയ്ക്കുന്നതിലേക്കായി നേരിട്ട് വെബ്സൈറ്റുകൾ ലഭ്യമാക്കുകയോ മറ്റ് വെബ് സേവന ദാതാക്കളുടെ (Web service providers) സഹായം തേടുകയോ ചെയ്യാറുണ്ട്. സർക്കാർ വകുപ്പുകൾ, കമ്പനികൾ, എൻ.ജി.ഒ. കൾ (Non-Government Organisations), വ്യക്തികൾ എന്നിവർക്കെല്ലാം തങ്ങളുടെ പ്രവർത്തനങ്ങളെ സംബന്ധിച്ചുള്ള വിവരങ്ങൾ തങ്ങളുടെ വെബ് സൈറ്റിലൂടെ സൗജന്യമായോ നിയന്ത്രണങ്ങൾക്കു വിധേയമായോ ഉപയോഗിക്കാവുന്ന തരത്തിൽ അവതരിപ്പിക്കാം. ഈ വിവരങ്ങൾ ഉപഭോക്താക്കൾക്ക് ലഭ്യമാകുന്നു. ഗൂഗിൾ, യാഹൂ! (Google, Yahoo!) മുതലായ സെർച്ച് എഞ്ചിനുകൾ നമുക്ക് ആവശ്യമായ വിവരങ്ങൾ അടങ്ങിയ അനുയോജ്യമായ വെബ്സൈറ്റുകളെക്കുറിച്ചുള്ള

വിവരങ്ങൾ നൽകി സഹായിക്കുന്നു. ഒരു വെബ് പേജിൽ അടങ്ങിയിരിക്കുന്ന പ്രസക്തമായ വിവരങ്ങളെ മറ്റൊരു വെബ് പേജുമായി സ്വയം ബന്ധിപ്പിക്കാൻ HTML (hypertext markup language) വഴി സഹായിക്കുന്ന വളരെ ഫലപ്രദമായ ഒന്നാണ് ഹൈപർടെക്സ്റ്റ് (Hypertext).

4) ഇ-കോമേഴ്സ് (E-commerce)

ക്രഡിറ്റുകാർഡുകൾ പോലുള്ള ഇലക്ട്രോണിക് സങ്കേതങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് ഇന്റർനെറ്റിന്റെ സഹായത്തോടെ ബിസിനസ്സ് ചെയ്യാൻ സഹായിക്കുന്നതാണ് ഇ-കോമേഴ്സ്. ചിത്രങ്ങളുടെ സഹായത്തോടെ കമ്പനികളുടെ സേവനങ്ങളെ കുറിച്ചോ ഉൽപന്നങ്ങളെക്കുറിച്ചോ ഉള്ള വിവരങ്ങൾ തങ്ങളുടെ വെബ്സൈറ്റ് മുഖേന ഉപഭോക്താക്കൾക്ക് ലഭ്യമാക്കുന്നു. കമ്പനി മെയിൽ/കൊറിയർ വഴി ചരക്കുകൾ അയയ്ക്കുകയോ സേവനങ്ങൾ ലഭ്യമാക്കുകയോ ചെയ്യുന്നു.

5) ചാറ്റ് (chat)

സമാന താത്പര്യങ്ങളുള്ള വ്യക്തികൾ ടൈപ്പു ചെയ്യപ്പെടുന്ന സന്ദേശങ്ങൾ വഴി പരസ്പരം തത്സമയം നടത്തുന്ന സംവാദത്തെയാണ് ചാറ്റ് എന്നു പറയുന്നത്. ചാറ്റ് ഗ്രൂപ്പിലെ (chat group) എല്ലാ അംഗങ്ങൾക്കും ഒരേ സമയം തന്നെ സന്ദേശം ലഭിക്കുകയും ഉടൻ തന്നെ പ്രതികരണം അറിയിക്കാൻ സാധിക്കുകയും ചെയ്യും.

ഫാക്സിമിലി (Facsimile FAX)

ഒരു രേഖയുടെ ഉള്ളടക്കത്തെ സ്കാൻ ചെയ്ത് (എഴുത്ത് ആയല്ല ചിത്രമായി) ഇലക്ട്രോണിക് സിഗ്നലുകളാക്കി മാറ്റുന്നു. ഈ സിഗ്നലുകളെ ടെലിഫോൺ കമ്പികൾ വഴി സാധാരണ രീതിയിൽ നിർദ്ദിഷ്ട ലക്ഷ്യസ്ഥാനത്തേക്ക് (മറ്റൊരു FAX യന്ത്രത്തിലേക്ക്) അയയ്ക്കുന്നു. ഈ ലക്ഷ്യസ്ഥാനത്ത് സിഗ്നലുകളെ തിരികെ മാറ്റി യഥാർത്ഥ രേഖയുടെ ഒരു പകർപ്പ് സൃഷ്ടിക്കുന്നു. ഫാക്സ് ഒരു രേഖയുടെ നിശ്ചലമായ പ്രതിരൂപമാണ് സൃഷ്ടിക്കുന്നത് അല്ലാതെ ടെലിവിഷനിലേതുപോലെ ചലനാത്മകമായ പ്രതിരൂപമല്ല.

മൊബൈൽ ടെലിഫോണി (Mobile Telephony)

മൊബൈൽ ടെലിഫോണി എന്ന ആശയം 1970 കളിലാണ് ആദ്യമായി അവതരിപ്പിക്കപ്പെട്ടത്. അടുത്ത ദശകത്തിൽത്തന്നെ ഇതിനെ പ്രായോഗികതലത്തിലെത്തിക്കാൻ സാധിച്ചു. സേവന പരിധിയിൽ വരുന്ന പ്രദേശത്തെ MTSO (Mobile Telephone Switching Office) എന്ന ഒരു കേന്ദ്രീകൃത ഓഫീസിന്റെ നിയന്ത്രണത്തിൽ വരുന്ന അനുയോജ്യമായ എണ്ണം സെല്ലുകൾ (Cells) ആയി വിഭജിക്കുക എന്നതാണ് ഇതിന്റെ പ്രധാന ആശയം. ഓരോ സെല്ലിലും ഒരു ശക്തി കുറഞ്ഞ ബേസ് സ്റ്റേഷൻ (Base station) എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഒരു പ്രക്ഷേപിണി (transmitter) ഉണ്ടായിരിക്കും. ഈ സ്റ്റേഷൻ വളരെയധികം മൊബൈൽ സ്വീകരണികളിലേക്ക് (സാധാരണയായി സെൽഫോണുകൾ എന്നു വിളിക്കുന്നു.) സന്ദേശ കൈമാറ്റം നടത്തുന്നു. ഓരോ സെല്ലിന്റെയും സേവന പരിധിയിലുള്ള പ്രദേശം ഉപഭോക്താക്കളുടെ എണ്ണത്തിനനുസൃതമായി ഏതാനും ചതുരശ്ര കിലോമീറ്ററുകളോ അതിൽ കുറവോ ആകാം. ഒരു ബേസ് സ്റ്റേഷന്റെ സേവന പരിധിയിലുള്ള പ്രദേശത്തു നിന്നും ഒരു മൊബൈൽ സ്വീകരണി പുറത്തേക്കു കടക്കുമ്പോൾ ആ ഉപഭോക്താവിനെ മറ്റൊരു ബേസ് സ്റ്റേഷന്റെ പരിധിയിലേക്ക് കൈമാറ്റം ചെയ്യേണ്ടതായി വരുന്നു. ഇതിനെ ഹാൻഡ് ഓവർ അഥവാ ഹാൻഡ് ഓഫ് (Handover or Handoff) എന്നു പറയുന്നു. ഈ പ്രക്രിയ വളരെ വേഗത്തിൽ സംഭവിക്കുന്നതുമൂലം സാധാരണയായി ഈ കൈമാറ്റം ഉപഭോക്താവിന്റെ ശ്രദ്ധയിൽപെടാറില്ല. മൊബൈൽ ടെലിഫോണുകൾ സാധാരണയായി UHF പരിധിയിലുള്ള ആവൃത്തികളിലാണ് (ഏകദേശം 800-950MHz) പ്രവർത്തിക്കുന്നത്.

സംഗ്രഹം

1. ഒരു സ്ഥലത്തു നിന്നും മറ്റൊരു സ്ഥലത്തേക്ക് വിശ്വാസ്യത കാത്തു സൂക്ഷിച്ചു കൊണ്ട് സന്ദേശങ്ങൾ അഥവാ വിവരങ്ങൾ (അത് ഇലക്ട്രിക് വോൾട്ടതയുടെയോ കറന്റിന്റെയോ രൂപത്തിലാകാം) കൈമാറ്റം ചെയ്യുന്നതിനെയാണ് ഇലക്ട്രോണിക് വാർത്താവിനിമയം എന്നു പറയുന്നത്.
2. പ്രക്ഷേപിണി (Transmitter), പ്രക്ഷേപണ മാധ്യമം (Transmission channel) സ്വീകരണി (receiver) ഇവയാണ് ഒരു വാർത്താവിനിമയ സങ്കേതത്തിന്റെ മൂന്ന് അടിസ്ഥാന ഘടകങ്ങൾ
3. അനലോഗ് (Analog) ഡിജിറ്റൽ (Digital) എന്നിവ വാർത്താവിനിമയ രംഗത്തെ രണ്ടു സുപ്രധാന സങ്കേതങ്ങളാണ്. ആദ്യത്തെ സങ്കേതത്തിൽ (Analog) സാധാരണയായി പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യുന്ന തരംഗരൂപം തുടർച്ചയുള്ളതാണ്. എന്നാൽ ഡിജിറ്റൽ വാർത്താവിനിമയത്തിൽ വിച്ഛിന്നമായതോ (discrete) ക്വാണ്ടീകരിക്കപ്പെട്ടതോ (quantized) ആയ തരംഗരൂപങ്ങളാണ് ഉപയോഗിക്കുന്നത്.
4. എല്ലാ സന്ദേശ സിഗ്നലുകളും ഒരു ആവൃത്തി പരിധി ഉൾക്കൊള്ളുന്നതാണ്. സിഗ്നലിൽ അടങ്ങിയിരിക്കുന്ന വിവരങ്ങളെ തൃപ്തികരമായ വിധത്തിൽ പ്രേഷണം ചെയ്യുന്നതിനാവശ്യമായ ആവൃത്തികളുടെ ബാൻഡിനെയാണ് സന്ദേശ സിഗ്നലിന്റെ ബാൻഡ് വിഡ്ത് (Bandwidth) എന്നു പറയുന്നത്.
5. താഴ്ന്ന ആവൃത്തിയിലുള്ള സിഗ്നലുകളെ വളരെ അകലേക്കു പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യാൻ കഴിയുകയില്ല. അതുകൊണ്ട് അവയെ ഉയർന്ന ആവൃത്തിയിലുള്ള വാഹകതരംഗങ്ങളുമായി അതിവ്യാപനം (Superimpose) ചെയ്യുന്നു. ഈ പ്രക്രിയയാണ് മോഡുലേഷൻ.
6. മോഡുലേഷൻ നടക്കുമ്പോൾ വാഹകതരംഗത്തിന്റെ ആയതി (Amplitude), ആവൃത്തി (frequency). ഫേസ് (Phase) തുടങ്ങിയ സ്വഭാവ സവിശേഷതകളിൽ ഏതെങ്കിലും ഒന്നിന്, സന്ദേശ സിഗ്നലിന് അഥവാ മോഡുലേറ്റ് ചെയ്യുന്ന സിഗ്നലിന് അനുസരിച്ച് വ്യത്യാസം വരുന്നു. ഇവ യഥാക്രമം ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേറ്റഡ് തരംഗങ്ങൾ (AM Waves), ഫ്രീക്വൻസി മോഡുലേറ്റഡ് തരംഗങ്ങൾ (FM waves), ഫേസ് മോഡുലേറ്റഡ് തരംഗങ്ങൾ (PM waves) എന്നിങ്ങനെ അറിയപ്പെടുന്നു.
7. പൾസ് മോഡുലേഷൻ (Pulse Modulation), പൾസ് ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷൻ (Pulse Amplitude Modulation (PAM)). പൾസ് ഡ്യൂറേഷൻ മോഡുലേഷൻ (Pulse Duration Modulation (PDM)) അഥവാ പൾസ് വിഡ്ത്ത് മോഡുലേഷൻ (Pulse width Modulation (PWM)), പൾസ് പൊസിഷൻ മോഡുലേഷൻ (Pulse Position Modulation (PPM)) എന്നിങ്ങനെ തരംതിരിച്ചിരിക്കുന്നു.
8. വളരെ അകലേക്ക് പ്രക്ഷേപണം നടത്തുന്നതിനായി സിഗ്നലുകളെ ആന്റിനകളുടെ സഹായത്തോടെ വികിരണം (radiate) ചെയ്യുന്നു. ഇങ്ങനെ വികിരണം ചെയ്യപ്പെട്ട സിഗ്നലുകൾ വൈദ്യുതകാന്തികതരംഗങ്ങളായി സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ അവയുടെ സംചരണത്തിൽ ഭൂമിയുടെയും അന്തരീക്ഷത്തിന്റെയും പ്രഭാവം ഉണ്ടാകുന്നു. ഭൂമിയുടെ ഉപരിതലത്തിനു വളരെ അടുത്തായി വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങൾ പ്രതല തരംഗങ്ങൾ (surface waves) ആയി സഞ്ചരിക്കുന്നു. പ്രതല തരംഗങ്ങളുടെ സംചരണം ഏതാനും മെഗാഹെർട്സ് ആവൃത്തികൾ വരെ ഫലപ്രദമാണ്.

9. അയണോസ്ഫിയറിൽ നിന്നും വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങളെ പ്രതിഫലിപ്പിക്കുന്നതു വഴിയാണ് ഭൂമിയിലെ വളരെ അകലെ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന രണ്ടു സ്ഥലങ്ങൾക്കിടയിൽ വാർത്താവിനിമയം സാധ്യമാക്കുന്നത്. ഇത്തരം തരംഗങ്ങളെ ആകാശതരംഗങ്ങൾ (Sky waves) എന്നു പറയുന്നു. ഏകദേശം 30MHz ആവൃത്തിവരെയുള്ള സിഗ്നലുകൾ ആകാശതരംഗങ്ങളുടെ രൂപത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു. ഇതിനു മുകളിലുള്ള ആവൃത്തികളിൽ വൈദ്യുത കാന്തിക തരംഗങ്ങൾ ബഹിരാകാശ തരംഗങ്ങളുടെ (space waves) രൂപത്തിലാണ് സഞ്ചരിക്കുന്നത്. ലൈൻ-ഓഫ്-സൈറ്റ് വാർത്താവിനിമയത്തിനും (Line - of -sight communication) ബഹിരാകാശ തരംഗങ്ങൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു.
10. ഒരു ആന്റിന h_T ഉയരത്തിൽ നിന്നും വൈദ്യുത കാന്തിക തരംഗങ്ങളെ വികിരണം ചെയ്യുമ്പോൾ ഈ തരംഗങ്ങൾക്ക് എത്തിച്ചേരാൻ കഴിയുന്ന ദൂരപരിധി (Range) d_r എന്നത് $\sqrt{2Rh_T}$ എന്ന സൂത്രവാക്യമുപയോഗിച്ച് കണക്കാക്കാൻ സാധിക്കും. R എന്നത് ഭൂമിയുടെ ആരമാണ്.
11. ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷൻ ചെയ്തശേഷം ലഭിക്കുന്ന സിഗ്നലിൽ $(\omega_c - \omega_m), \omega_c, (\omega_c + \omega_m)$ എന്നീ ആവൃത്തികൾ അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു.
12. ഒരു സന്ദേശ സിഗ്നലിനെയും വാഹകതരംഗത്തിനേയും ഒരു നോൺ-ലീനിയർ (non-linear) ഉപകരണത്തിലൂടെയും അതിനുശേഷം ഒരു ബാൻഡ് പാസ് ഫിൽറ്ററിലൂടെയും കടത്തിവിട്ട് ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേറ്റഡ് തരംഗങ്ങളെ സൃഷ്ടിക്കാൻ സാധിക്കും.
13. മോഡുലേറ്റു ചെയ്യുന്ന സിഗ്നലിനെ AM തരംഗരൂപത്തിൽ നിന്നും വേർതിരിച്ചെടുക്കുന്ന പ്രക്രിയയാണ് AM ഡിറ്റക്ഷൻ. ഇതിനായി ഒരു റക്ടിഫയറിനെയും എൻവലപ് ഡിറ്റക്ടറിനെയും ഉപയോഗിക്കുന്നു.

വിചിന്തന വിഷയങ്ങൾ

1. സന്ദേശ സിഗ്നലുകളെ പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യുമ്പോൾ അവയിൽ ഒച്ച (noise) എന്നറിയപ്പെടുന്ന അനാവശ്യ സിഗ്നലുകൾ കൂടിക്കലരാനിടവരുന്നു. ഇത് വിവരത്തിന്റെ സ്രോതസ്സിനും സ്വീകർത്താവിന്റെ സ്ഥാനത്തിനുമിടയിൽ എവിടെ വേണമെങ്കിലും സംഭവിക്കാവുന്നതാണ്. ഒച്ചയുടെ (noise) ഏതാനും സ്രോതസ്സുകളെ നിങ്ങൾക്ക് കണ്ടെത്താൻ കഴിയുമോ?
2. മോഡുലേഷൻ പ്രക്രിയ നടക്കുമ്പോൾ വാഹകതരംഗത്തിന്റെ ആവൃത്തിയുടെ ഇരുവശത്തുമായി (വാഹകതരംഗത്തിന്റെ ആവൃത്തിയേക്കാൾ കൂടിയതും കുറഞ്ഞതുമായി) ഏറ്റവും ഉയർന്ന മോഡുലേറ്റു ചെയ്യുന്ന ആവൃത്തിക്ക് തുല്യമാകുന്ന തരത്തിൽ സൈഡ് ബാൻഡുകൾ (side bands) എന്ന പുതിയ ആവൃത്തികൾ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്നു. സിഗ്നലിനെ പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യുമ്പോൾ (a) സൈഡ് ബാൻഡുകൾ മാത്രമായോ (b) ഏതെങ്കിലും ഒരു സൈഡ് ബാൻഡ് മാത്രമായോ പ്രക്ഷേപണം ചെയ്താൽ സന്ദേശത്തെ വേർതിരിച്ചെടുക്കാൻ സാധിക്കുമോ?
3. ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷനിൽ മോഡുലേഷൻ സൂചിക $\mu \leq 1$ ആയാണ് ഉപയോഗിക്കുന്നത്. $\mu \geq 1$ ആയാൽ എന്തു സംഭവിക്കും?

പരിശീലന പ്രശ്നങ്ങൾ

15.1 ചക്രവാളത്തിനപ്പുറത്തേക്ക് ആകാശതരംഗങ്ങളുപയോഗിച്ച് വാർത്താവിനിമയം നടത്തുന്നതിന് താഴെ പറഞ്ഞിരിക്കുന്ന ആവൃത്തികളിൽ ഏതാണ് ഏറ്റവും അനുയോജ്യമായത്?

(a) 10kHz

(b) 10MHz

(c) 1GHz

(d) 1000 GHz

15.2 UHF പരിധിയിലുള്ള ആവൃത്തികൾ സാധാരണയായി സംചരണം ചെയ്യുന്നത്.

(a) ഭൗമതരംഗങ്ങളായി (Ground waves)

(b) ആകാശതരംഗങ്ങളായി (Sky waves)

(c) പ്രതലതരംഗങ്ങളായി (Surface waves)

(d) ബഹിരാകാശതരംഗങ്ങളായി (Space waves)

15.3 ഡിജിറ്റൽ സിഗ്നലുകൾ

(i) തുടർച്ചയായ ഒരു കൂട്ടം വിലകൾ നൽകുന്നില്ല.

(ii) വിഭിന്നമായ (വേറിട്ടു നിൽക്കുന്ന) ഘട്ടങ്ങളിലുള്ള വിലകളെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു.

(iii) ബൈനറി സമ്പ്രദായം ഉപയോഗിക്കാൻ സാധിക്കും.

(iv) ദശാംശ സമ്പ്രദായവും ബൈനറി സമ്പ്രദായവും ഉപയോഗിക്കാൻ സാധിക്കും.

മുകളിൽ തന്നിരിക്കുന്ന പ്രസ്താവനകളിൽ ശരിയായവയേത്?

(a) (i) ഉം (ii) ഉം മാത്രം

(b) (ii) ഉം (iii) ഉം മാത്രം

(c) (i), (ii), (iii) ശരിയാണ്, (iv) ശരിയല്ല

(d) (i), (ii), (iii), (iv) ഇവയെല്ലാം ശരിയാണ്.

15.4 ലൈൻ-ഓഫ്- സൈറ്റ് കമ്മ്യൂണിക്കേഷനിൽ പ്രക്ഷേപണം നടത്തുന്ന ആന്റിനയ്ക്കും സ്വീകരിക്കുന്ന ആന്റിനയ്ക്കും തുല്യ ഉയരം ആവശ്യമാണോ? TV പ്രക്ഷേപണത്തിനായുള്ള ഒരു ആന്റിനയുടെ ഉയരം 81 മീ. ആണ്. സ്വീകരണിയിലെ ആന്റിന തറനിരപ്പിലാണെങ്കിൽ പ്രക്ഷേപിണിയിലെ ആന്റിന ഉപയോഗിച്ച് എത്രത്തോളം സർവീസ് ഏരിയയിലേക്ക് സിഗ്നൽ എത്തിക്കാൻ സാധിക്കും?

15.5 12V ശൃംഗവോൾട്ടത (peak voltage) ഉള്ള ഒരു വാഹകതരംഗം (carrier wave) ഉപയോഗിച്ച് ഒരു സന്ദേശസിഗ്നലിനെ പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യുന്നു. മോഡുലേഷൻ സൂചിക (Modulation Index) 75% ആയാൽ മോഡുലേറ്റ് ചെയ്യുന്ന സിഗ്നലിന്റെ ശൃംഗവോൾട്ടത (peak voltage) എത്രയെന്നു കണക്കാക്കുക.

15.6 ചതുരതരംഗരൂപത്തിലുള്ള ഒരു മോഡുലേറ്റിംഗ് സിഗ്നലിനെ ചിത്രം 15.14 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 15.14

വാഹകതരംഗം $c(t)=2\,Sin(8\pi t)$ volts ആണ്.

i) ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷൻ ചെയ്തശേഷമുള്ള സിഗ്നലിന്റെ ചിത്രം വരയ്ക്കുക.

ii) മോഡുലേഷൻ സൂചിക എത്രയാണ്?

15.7 ആംപ്ലിറ്റ്യൂഡ് മോഡുലേഷൻ ചെയ്തശേഷമുള്ള ഒരു തരംഗത്തിന്റെ പരമാവധി ആയതി (Maximum Amplitude)10V ഉം ഏറ്റവും കുറവ് ആയതി (Minimum Amplitude)2V ഉം ആണ്. മോഡുലേഷൻ സൂചിക μ എത്രയെന്ന് കണക്കാക്കുക.

15.8 ചെലവു ചുരുക്കുന്നതിന്റെ ഭാഗമായി AM തരംഗത്തിന്റെ ഉപരി സ്ഥിതമായ ബൈഡ് ബാൻഡ് (upper side band) മാത്രമാണ് പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യുന്നത്. എന്നാൽ സ്വീകരിക്കുന്ന സ്റ്റേഷനിൽ വാഹകതരംഗങ്ങളെ ഉൽപാദിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള സൗകര്യം ഉണ്ട്. രണ്ടു സിഗ്നലുകളെ തമ്മിൽ ഗുണനം ചെയ്യുന്നതിനുള്ള ഒരു ഉപകരണം ലഭ്യമാണെങ്കിൽ സ്വീകരിക്കുന്ന സ്റ്റേഷനിൽ മോഡുലേറ്റു ചെയ്യുന്ന സിഗ്നലിനെ വീണ്ടെടുക്കാൻ കഴിയുമെന്നു തെളിയിക്കുക.

ഉത്തരങ്ങൾ

അധ്യായം 9

9.1 $v = -54$ cm. യഥാർഥവും തലകീഴായതും ആവർധനം സംഭവിച്ചതുമാണ് പ്രതിബിംബം. പുതിയ ബിംബത്തിന്റെ വലുപ്പം 5.0 cm ആണ്. $u \to f$. ആകുമ്പോൾ $v \to \infty$ ആകുന്നു. $u < f$ ആകുമ്പോൾ പ്രതിബിംബം മിഥ്യയാകുന്നു.

9.2 $v = 6.7$cm. ആവർധനം $= 5/9$,. അതായത് പ്രതിബിംബത്തിന്റെ വലുപ്പം 2.5 cm ആണ്. $u \to \infty$ ആകുമ്പോൾ $v \to f$.

9.3 1.33; 17 cm

9.4 $n_{ga} = 1.51$; $n_{wa} = 1.32$; $n_{gw} = 1.144$; ഇത് $\sin r = 0.6181$ എന്ന് തരുന്നു. അതായത് $r \simeq 38$.

9.5 $r = 0.8$ $\tan i_c$ യും $\sin i_c = 1/1.33 \cong 0.75$ യുമാണ്. r എന്നത് പ്രകാശം പുറത്ത് വരുന്ന ഏറ്റവും വലിയ വൃത്തത്തിന്റെ ആരമാണ്. i_c എന്നത് വെള്ളം - വായും സമ്പർക്കമുഖങ്ങളിലുള്ള കാന്തിക കോൺ (critical angle) ആണ്. പരപ്പളവ് $2.6 m^2$

9.6 $n \cong 1.53$ ഉം വെള്ളത്തിൽ പ്രിസത്തിന്റെ $D_m \cong 10°$ ആണ്.

9.7 R=22 cm

9.8 ഇവിടെ വസ്തു മിഥ്യയും പ്രതിബിംബം യഥാർഥവുമാണ്. $u = +12$ cm (വലതു വശത്തുള്ള വസ്തു മിഥ്യയാണ്).

(a) $f = +20$ cm. പ്രതിബിംബം യഥാർഥമാണ്. ലെൻസിന്റെ വലതു വശത്ത് 7.5 cm അകലെയാണ് പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം.

(b) $f = -16$ cm പ്രതിബിംബം യഥാർഥമാണ്. ലെൻസിന്റെ വലതുവശത്ത് 48 cm അകലെയാണ് പ്രതിബിംബത്തിന്റെ സ്ഥാനം.

9.9 $v = 8.4$ cm പ്രതിബിംബം നിവർന്നതും മിഥ്യയുമാണ്. പ്രതിബിംബത്തിന്റെ വലുപ്പം 1.8 cm. ആയി ചുരുങ്ങുന്നു $u \to \infty$, ആകുമ്പോൾ $v \to f$ ആകുന്നു. വസ്തു കോൺകേവ് ലെൻസിന്റെ ഫോക്കസിൽ (21 cm) വെച്ചാൽ, പ്രതിബിംബം 10.5 cm രൂപപ്പെടുന്നു (അനന്തതയിലല്ല)

9.10 60 cm ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള കോൺകേവ് ലെൻസായിട്ടാണ് പെരുമാറുക.

9.11 (a) $v_e = 25$ cm ഉം $f_e = 6.25$ cm ആണ്
$u_e = 5$ cm; $v_o = (15 \quad 5)$ cm $= \quad 10$ cm,
$f_o = u_o = -2.5$ cm;
ആവർധനം = 20

(b) $u_o = 2.59$ cm.
ആവർധനം = 13.5.

9.12 25 cm അകലത്തിൽ ലഭിക്കുന്ന പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഐപീസ് ലെൻസുമായുള്ള കോണീയ ആവർധനം

$= \frac{25}{2.5} + 1 = 11$; $u_e = \frac{25}{11}$ cm $= 2.27$ cm ; $v_o = 7.2$ cm രണ്ട് ലെൻസുകളും തമ്മിലുള്ള ദൂരം = 9.47 cm; ആവർധനം = 88

9.13 24; 150 cm

9.14 (a) കോണീയ ആവർധനം = 1500

(b) പ്രതിബിംബത്തിന്റെ വ്യാസം = 13.7 cm

9.15 ദർപ്പണ സമവാക്യം നിബന്ധനകളും ഉപയോഗിച്ച്

(a) $f < 0$ (കോൺകേവ് ദർപ്പണം); $u < 0$ ഇടത് വശത്താണ് വസ്തു)

(b) $f > 0$; $u < 0$

(c) $f > 0$ (കോൺവെക്സ് ദർപ്പണം) $u < 0$

(d) $f < 0$ (കോൺകേവ് ദർപ്പണം) $f < u < 0$

9.16 മൊട്ടു സൂചി 5.0 cm ഉയർന്നതായി കാണപ്പെടും. ഉത്തരം ഗ്ലാസ് കട്ടയുടെ സ്ഥാനത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല (ചെറിയ പതന കോണിൽ)

9.17 (a) $\sin i'_c = 1.44/1.68$ ഇതിൽ നിന്ന് $i'_c = 59$ എന്ന് ലഭിക്കും. $i > 59^\circ$ അല്ലെങ്കിൽ $r < r_{max} = 30^\circ$ ആകുമ്പോളാണ് പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിഫലനം നടക്കുന്നത്. $(\sin i_{max}/\sin r_{max}) = 1.68$ ആകുമ്പോൾ $i_{max} = 60^\circ$ ലഭിക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട് പതന കോൺ $0 < i < 60^\circ$ വരുന്ന എല്ലാ പതന രശ്മികൾക്കും പൈപ്പിൽ പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിഫലനം സംഭവിക്കുന്നു.

(b) പൈപ്പിന് ആവരണമില്ലെങ്കിൽ $i'_c = \sin^{-1}(1/1.68) = 36.5^\circ$. $i = 90^\circ$ ആകുമ്പോൾ $r = 36.5^\circ$ യും $i' = 53.5^\circ$ യുമാകും ഇത് i'_c നേക്കാൾ കൂടുതലാണ്. അതുകൊണ്ട് എല്ലാ പതന രശ്മികൾക്കും ($53.5^\circ < i < 90$) പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിഫലനം സംഭവിക്കുന്നു.

9.18 (a) വസ്തു മിഥ്യയാകുമ്പോൾ സമതല ദർപ്പണവും കോൺവെക്സ് ദർപ്പണവും യഥാർഥ പ്രതിബിംബം ലഭിക്കുന്നു.

(b) അകന്ന് പോകുന്ന പ്രതിഫലന രശ്മികളും അപവർത്തന രശ്മികളും മിഥ്യാ പ്രതിബിംബങ്ങളാണുണ്ടാക്കുന്നത്. അകന്നുപോകുന്ന രശ്മികളെ സ്ക്രീനിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നത് അനുയോജ്യമായ കോൺവെക്സ് ലെൻസ് ഉപയോഗിച്ചാണ്. കണ്ണിലെ കോൺവെക്സ് ലെൻസാണ് ഇപ്രകാരം ചെയ്യുന്നത്. ഇവിടെ യാതൊരുവിധ വൈരുധ്യവുമില്ല.

(c) വലുതായി

(d) ചെരിഞ്ഞ് നോക്കുന്നതിന്റെ അളവ് അനുസരിച്ച് വ്യത്യസ്തപ്പെടുന്നു. അവാസ്തവ താഴ്ച കുറയുകയാണ് ചെയ്യുന്നത്.

(e) വജ്രത്തിന്റെ അപവർത്തനാങ്കം 2.42 ആണ്. ഇത് സാധാരണ ഗ്ലാസിനേക്കാൾ (1.5) കൂടുതലാണ്. വജ്രത്തിന്റെ ക്രാന്തിക കോൺ 24° യാണ്. ഇത് ഗ്ലാസിനേക്കാൾ വളരെ കുറവാണ്. ഒരു വിദഗ്ധ വജ്രശില്പി 24° മുതൽ 90° ക്ക് ഇടയ്ക്കു പതനകോൺ പരമാവധി ഉപയോഗപ്പെടുത്തി വജ്രത്തിലേക്ക് പ്രവേശിച്ച പ്രകാശം പല തവണ നിരവധി തലങ്ങളിലേക്ക് പൂർണ്ണാന്തര പ്രതിഫലനം നടന്ന് മിന്നിതിളങ്ങുന്നു.

9.19 വസ്തുവും സ്ക്രീനും തമ്മിലുള്ള നിശ്ചിത അകലത്തിൽ ലെൻസ് സമവാക്യത്തിന്റെ നിർദ്ധാരണം f ന്റെ അളവ് $s/4$ നേക്കാൾ കൂടുതലായാൽ ലഭിക്കുകയില്ല $f_{max} = 0.75$ m.

9.20 21.4 cm

9.21 (a) (i) ഇടതു വശത്ത് നിന്ന് ഒരു സമാന്തര രശ്മികൾ കോൺവെക്സ് ലെൻസിൽ വന്നിടിക്കുന്നുവെന്നിരിക്കട്ടെ.

$f_1 = 30$ cm ഉം $u_1 = -\infty$, give $v_1 = +30$ cm. കൊടുക്കുക. ഈ പ്രതിബിംബം രണ്ടാമത്തെ ലെൻസിന് മിഥ്യാബിംബം ആകുന്നു.

$f_2 = -20$ cm. $u_2 = -(30-8)$ cm $= -22$ cm ഇത് $v_2 = -220$ cm എന്ന് തരുന്നു. സമാന്തര പതന രശ്മി, ഇരട്ട ലെൻസ് വ്യൂഹത്തിന്റെ കേന്ദ്രത്തിൽ നിന്നും 216 cm ദൂരത്തുള്ള ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നും അകലേക്ക് പോകുന്നതായി കാണപ്പെടുന്നു.

(ii) സമാന്തര രശ്മികൾ, ഇടത്തുനിന്നും ആദ്യം കോൺകേവ് ലെൻസിൽ പതിക്കുന്നു എന്നിരിക്കട്ടെ. $f_1 = -20$ cm, $u_1 = -\infty$, give $v_1 = -20$ cm. എന്ന് കൊടുക്കുക. ഈ പ്രതിബിംബം രണ്ടാമത്തെ ലെൻസിന് ഒരു യഥാർത്ഥ വസ്തുവാകുന്നു. $f_2 = +30$ cm, $u_2 = -(20+8)$ cm ഇത് $v_2 = -420$ cm. എന്ന് തരുന്നു. സമാന്തര പതന രശ്മികൾ, ഇരട്ടലെൻസ് വ്യൂഹത്തിന്റെ കേന്ദ്രത്തിന്റെ ഇടത്തു 416 cm ദൂരത്തുള്ള ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നും അകന്ന് പോകുന്നതായി കാണപ്പെടുന്നു.

വ്യക്തമായും ലെൻസ് വ്യൂഹത്തിന്റെ ഏതു വശത്തുനിന്നുമാണ് സമാന്തര രശ്മി പതിക്കുന്നത് എന്നതിനെ ഉത്തരം ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. കൂടുതലായി വ്യൂഹത്തിന്റെ ഒരു നിശ്ചിത സ്ഥിരാങ്കത്തിന്റെ പദത്തിൽ (സ്ഥിരാങ്കത്തിനെ നിർണ്ണയിക്കുന്നത് f_1 ഉം f_2 ഉം ലെൻസുകൾ തമ്മിലുള്ള അകൽച്ചയെയുമാണ്) എല്ലാ u വിനും (v യ്ക്കും) ബാധകമായ ഒരു ലളിത ലെൻസ് സമവാക്യം നമ്മൾക്ക് ലഭ്യമല്ല. അതിനാൽ സഫല ഫോക്കൽ നീളമെന്ന ആശയം ഈ വ്യൂഹത്തിന് അർഥവത്താണെന്ന് തോന്നുന്നില്ല.

(b) $u_1 = -40$ cm, $f_1 = 30$ cm. $v_1 = 120$ cm എന്ന് തരുന്നു. ആദ്യത്തെ കോൺവെക്സ് ലെൻസ് കാരണമുള്ള ആവർധനത്തിന്റെ അളവ് 3 ആണ് $u_2 = +(120-8)$ cm $= -112$ cm (വസ്തു മിഥ്യയാണ്) $f_2 = -20$ cm ഇത് $v_2 = -\frac{112 \times 20}{92}$ cm എന്ന് തരുന്നു. രണ്ടാമത്തെ ലെൻസ് (കോൺകേവ്) കാരണമുള്ള ആവർധനത്തിന്റെ അളവ് 20/92. ആണ്. ആവർധനത്തിന്റെ സഫല അളവ് = 0.652

പ്രതിബിംബത്തിന്റെ വലുപ്പം = 0.98 cm

9.22 പ്രിസത്തിൽ അപവർത്തന രശ്മി രണ്ടാമത്തെ പ്രതലത്തിൽ ക്രാന്തിക കോൺ i_c യിൽ പതിക്കുകയാണെന്നിരിക്കട്ടെ, ആദ്യത്തെ പ്രതലത്തിലെ അപവർത്തനത്തിന്റെ കോൺ $(60 - i_c)$ ആണ്.

ഇപ്പോൾ $i_c = \sin^{-1}(1/1.524) \simeq 41°$

അതിനാൽ $r = 19°$

$\sin i = 0.4962$; $i \simeq 30$

9.23 ഒരേ ഗ്ലാസ്സു കൊണ്ടുണ്ടാക്കിയ രണ്ട് സമാനമായ പ്രിസങ്ങൾ അവയുടെ പാദങ്ങൾ വിപരീത വശങ്ങളിലും (വെളുത്ത പതന രശ്മിയുടെ) മുഖങ്ങൾ സ്പർശനത്തിൽ (അല്ലെങ്കിൽ സമാന്തരം), വ്യതിചലിക്കുകയോ പ്രകീർണ്ണനം നടത്തുകയോ ചെയ്യുന്നില്ല, പകരം പ്രകാശരശ്മിയ്ക്ക് സമാന്തര സ്ഥാനാന്തരം ഉണ്ടാക്കുക മാത്രം ചെയ്യുന്നു.

(a) പ്രകീർണ്ണനം കൂടാതെ വ്യതിചലിക്കാൻ, ആദ്യത്തെ പ്രിസത്തിനെ ക്രൗൺ ഗ്ലാസ്സായി എടുക്കുകയും രണ്ടാമത്തെ പ്രിസത്തിന്, ആദ്യത്തേത് കാരണമുള്ള പ്രകീർണ്ണനത്തെ ഇല്ലാതാക്കുന്ന തരത്തിൽ തിരഞ്ഞെടുക്കപ്പെട്ട അപവർത്തന കോണോടുകൂടിയ (ഫ്ളിന്റ് ഗ്ലാസ്സ് പ്രിസം കൂടുതൽ പ്രകീർണ്ണനം ചെയ്യുന്നതിനാൽ ക്രൗൺ ഗ്ലാസ്സ് പ്രിസത്തേക്കാൾ കുറവ്) ഫ്ളിന്റ് ഗ്ലാസ്സ് ഉപയോഗിക്കുകയും ചെയ്യുക.

(b) വ്യതിചലനം ഇല്ലാതെ പ്രകീർണ്ണനം നടത്താൻ, ഫ്ളിന്റ് ഗ്ലാസ്സ് പ്രിസത്തിന്റെ കോൺ വർദ്ധിപ്പിക്കുക. അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ, രണ്ടു പ്രിസങ്ങൾ കാരണമുള്ള വ്യതിചലനങ്ങൾ തുല്യവും വിപരീതവുമാണ് (ഫ്ളിന്റ് ഗ്ലാസ്സിന് ക്രൗൺ ഗ്ലാസ്സിനേക്കാൾ കൂടുതൽ അപവർത്തനാങ്കം ഉള്ളതിനാൽ ഫ്ളിന്റ് ഗ്ലാസ്സ് പ്രിസം കോൺ ക്രൗൺ ഗ്ലാസ്സിനെക്കാൾ ഇപ്പോഴും ചെറുതായിരിക്കും). പല നിറങ്ങൾക്ക് വേണ്ടിവരുന്ന ക്രമീകരണങ്ങൾ കാരണം, ഈ ഉദ്ദേശത്തിന് ആവശ്യമായ കൃത്യമായ സജ്ജീകരണങ്ങൾ അല്ല ഇവ.

9.24 വസ്തുക്കളെ അനന്തതയിൽ കാണാൻ കണ്ണുകൾ അതിന്റെ കേന്ദ്രീകരിക്കാനുള്ള പവർ ഏറ്റവും കുറവ് ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഇത് (40−20) ഡയോപ്റ്ററുകൾ − 60 ഡയോപ്റ്റർ ആണ്. ഇത് റെറ്റീനയ്ക്കും കോർണിയ - നേത്രലെൻസിനുമിടയിലുള്ള ദൂരത്തേക്കുറിച്ച് ഏകദേശ ഐഡിയ തരുന്നു. ഇത് (5/3) cm ആണ്. ഒരു വസ്തുവിനെ റെറ്റീനയിലെ (v − 5/3 cm) നികടബിന്ദുവിൽ (u − −25 cm) കേന്ദ്രീകരിക്കാൻ ഫോക്കൽ നീളം ആയിരിക്കണം.

$\begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 25 & 5 \end{vmatrix}^{-1} = \frac{25}{16}$ cm ആയിരിക്കണം.

64 ഡയോപ്ടർ കേന്ദ്രീകരിക്കാനുള്ള പവറിന് തത്തുല്യമായത്. അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ കണ്ണിന്റെ ലെൻസിന്റെ പവർ (64-40) ഡയോപ്ടറുകൾ = 24 ഡയോപ്ടറുകൾ ആണ്. കണ്ണുകളുടെ ലെൻസിന്റെ ക്രമീകരിക്കാനുള്ള അതിന് 20 മുതൽ 24 ഡയോപ്ടറുകളാണ്.

9.25 ഇല്ല, ഒരു വ്യക്തിയുടെ കണ്ണിന്റെ ലെൻസിന് പൊരുത്തപ്പെടാനുള്ള സ്വാഭാവിക കഴിവ് ഉണ്ടാക്കിയിരിക്കുമ്പോൾ പോലും ആ വ്യക്തി ദീർഘദൃഷ്ടിയുള്ളയാളൊ ഹ്രസ്വദൃഷ്ടിയുള്ളയാളൊ ആയിരിക്കാം. നേത്രഗോളത്തിന്റെ വലിപ്പം കൂടുമ്പോൾ ഹ്രസ്വദൃഷ്ടി ഉണ്ടാകുന്നു. വലിപ്പം കുറയുമ്പോൾ ദീർഘദൃഷ്ടി ഉണ്ടാകുന്നു. പ്രയോഗികതലത്തിൽ കണ്ണിന്റെ ലെൻസിന് പൊരുത്തപ്പെടാനുള്ള കഴിവും അല്പം നഷ്ടപ്പെടാനുള്ള സാധ്യത ഉണ്ട്. നേത്രഗോളത്തിന് സാധാരണ നീളം ഉണ്ട് പക്ഷേ ലെൻസിന് പൊരുത്തപ്പെടാനുള്ള കഴിവ് ഭാഗികമായി നഷ്ടപ്പെടാൻ സാധ്യതയുണ്ട് (സാധാരണ കണ്ണുകൾക്ക് വയസ്സാകുമ്പോൾ സാധ്യതയുണ്ട്). ഈ വൈകല്യത്തെ വെള്ളെഴുത്ത് എന്നു വിളിക്കുന്നു. ദീർഘദൃഷ്ടി പരിഹരിക്കുന്നതുപോലെയാണ് ഇതും പരിഹരിക്കുന്നത്.

9.26 വ്യക്തിയുടെ വ്യക്തമായി കാണാനുള്ള അകലെയുള്ള ദൂരം 100 cm ആയിരിക്കുമ്പോൾ പോലും അയാളുടെ സമീപദൂരം സാധാരണക്കാരുടേതു പോലെ ആയിരിക്കാം (ഏകദേശം 25cm). അനന്തതയിലുള്ള വസ്തുക്കൾ 100 cm ൽ മിഥ്യാപ്രതിബിംബം സൃഷ്ടിക്കും (കണ്ണടകൾ ഉപയോഗിച്ച്) അടുത്തുള്ള വസ്തുക്കളെ കാണാൻ (അതായത് 25 cm നും 100 cm നും ഇടയ്ക്കുള്ളവ) വ്യക്തി കണ്ണിന്റെ പൊരുത്തപ്പെടാനുള്ള കഴിവ് ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഈ കഴിവ് വയസ്സാകുമ്പോൾ, ഭാഗികമായി നഷ്ടപ്പെടുന്നു (വെള്ളെഴുത്ത്). വ്യക്തിയുടെ നിയർ പോയിന്റ് 50cm ദൂരത്തേക്ക് പോകുന്നു. 25 cm ലുള്ള വസ്തുക്കളെ കാണാൻ വ്യക്തിക്ക് +2 ഡയോപ്ടറോടുകൂടിയ കേന്ദ്രീകരിക്കാൻ ശേഷിയുള്ള ലെൻസ് വേണ്ടിവരും.

9.27 കോർണിയ - ഐ ലെൻസ് അപവർത്തന വ്യൂഹത്തിന്റെ വക്രത വ്യത്യസ്തമായ തലങ്ങളിൽ ഒരു പോലെ അല്ലാത്തതിനാൽ ഉണ്ടാകുന്ന ന്യൂനതയാണ് ഇത്. (അസ്റ്റിഗ്മാറ്റിസം എന്നു വിളിക്കുന്നു).

(സാധാരണയായി ഐ ലെൻസ് ഗോളമാണ് അതായത് വ്യത്യസ്ത തലങ്ങളിൽ ഒരേ വക്രതയാണ്. പക്ഷേ അസ്റ്റിഗ്മാറ്റിക് കണ്ണിന് കോർണിയ ഗോളമല്ല.)

ഈ സാഹചര്യത്തിൽ ലംബതലത്തിലെ വക്രത, റെറ്റീനയിൽ ലംബവരകളുടെ വ്യക്തമായ

പ്രതിബിംബങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കാൻ പര്യാപ്തമാണ്. പക്ഷേ, തിരശ്ചീന തലത്തിൽ വക്രത പര്യാപതമല്ല അതിനാൽ തിരശ്ചീന വരകൾ വ്യക്തമല്ലാതെ കാണപ്പെടുന്നു. ഈ ന്യൂനത, ലംബ ദിശതയിൽ അക്ഷമുള്ള ഒരു സിലിണ്ടർ ആകൃതിയുള്ള ലെൻസ് ഉപയോഗിച്ച് പരിഹരിക്കാൻ സാധിക്കും. ലംബതലത്തിൽ ഉള്ള സമാന്തര രശ്മികൾ അധിക അപവർത്തനം സംഭവിക്കുന്നില്ല. പക്ഷെ തിരശ്ചീന തലത്തിൽ ഉള്ളവയ്ക്ക് ലെൻസിന്റെ സിലിണ്ടർ പ്രതലത്തിന്റെ വക്രത അനുയോജ്യമായി തിരഞ്ഞെടുക്കാൻ അപവർത്തനം മൂലമുള്ള അധിക കേന്ദ്രീകരണം ലഭിയ്ക്കും.

9.28 (a) ഏറ്റവും അടുത്ത ദൂരം = $4\frac{1}{6}\,cm \approx 4.2\,cm$ ഏറ്റവും അകലെയുള്ള ദൂരം =5 cm

(b) പരമാവധി കോണീയ ആവർധനം – |25/(25/6)| – 6 കുറഞ്ഞ കോണീയ ആവർധനം = (25/5) – 5

9.29 (a) $\frac{1}{v}+\frac{1}{9}=\frac{1}{10}$

അതായത് v – – 90 cm.

ആവർധനത്തിന്റെ അളവ് – 90/9 – 10.

മിഥ്യാപ്രതിബിംബത്തിലെ ഓരോ സമചതുരത്തിനും 10 10 1 mm^2 – 100 mm^2 – 1 cm^2 പരപ്പളവ് ഉണ്ട്.

(b) ആവർധനം നടത്താനുള്ള പവർ – 25/9 – 2.8

(c) അല്ല. ഒരു ലെൻസിന്റെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ആവർധനവും Optical Instrument ന്റെ കോണീയ ആവർധനവും (അല്ലെങ്കിൽ അവർധനത്തിനുള്ള പവർ) രണ്ടും രണ്ടാണ്. രണ്ടാമത്തേത്, വസ്തുവിന്റെ കോണീയ വലിപ്പത്തിന്റെയും (പ്രതിബിംബം ആവർധിതം ആണെങ്കിൽ പോലും ഇത് പ്രതിബിംബം കോണിയ വലിപ്പത്തിന് (angular size) തുല്യമാണ്) നിയർ പോയന്റിൽ വച്ചിരിക്കുന്ന (25 cm) വസ്തുവിന്റെ കോണീയ വലിപ്പത്തിന്റെയും ഹരണഫലം ആണ്. അങ്ങനെ ആവർധനത്തിന്റെ അളവ് $|(v/u)|$ ഉം ആവർധന പവർ $(25/|u|)$ ഉം ആണ്. പ്രതിബിംബ നിയർ പോയന്റ് $|v$ –25cm ൽ വച്ചിരിക്കുമ്പോൾ മാത്രമെ രണ്ട് അളവുകളും തുല്യമാകുകയുള്ളൂ.

9.30 (a) പരമാവധി ആവർധന പവർ, പ്രതിബിംബ നിയർ പോയന്റ് (25 cm) ൽ ആയിരിക്കുമ്പോഴാണ് കിട്ടുന്നത് u – *-7.14 cm*

(b) ആവർധനത്തിന്റെ അളവ് = (25/ u|)

(c) ആവർധന പവർ (Magnifying പവർ = 3.5

അതെ, ആവർധന പവർ (പ്രതിബിംബം 25 cm ൽ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുമ്പോൾ) ആവർധനത്തിന്റെ അളവിന് തുല്യമായിരിക്കും.

9.31 ആവർധനം = $\sqrt{(6.25/1)}$ – 2.5

v – –2.5u

$$+\frac{1}{2.5u}-\frac{1}{u}=\frac{1}{10}$$

i.e., u = – 6 cm

$|v|$ = 15 cm

മിഥ്യാപ്രതിബിംബം, സാധാരണ നിയർ പോയന്റിനെക്കാൾ (25 cm) അടുത്തായിരിക്കും. കണ്ണുകൊണ്ട് ഇതിനെ വ്യക്തമായി കാണാൻ സാധിക്കില്ല.

9.32 (a) കേവല പ്രതിബിംബ വലിപ്പം വസ്തുവിന്റെ വലിപ്പത്തിനെക്കാൾ വലുതാണെങ്കിൽ പോലും, വസ്തുവിന്റെ കോണീയ വലിപ്പം പ്രതിബിംബത്തിന്റേതിന് തുല്യമായിരിക്കും. ഭൂതക്കണ്ണാടി ഇപ്രകാരം സഹായിക്കുന്നു. ഇതു ഉപയോഗിച്ചില്ലെങ്കിൽ വസ്തുവിനെ 25 cm നെക്കാൾ അടുത്ത് വെക്കാൻ സാധ്യമല്ല, ഇതു ഉപയോഗിച്ചാൽ വസ്തുവിനെ വളരെ അടുത്തു വെക്കാൻ സാധിക്കും. അടുത്തുള്ള വസ്തുവിന്, 25 cm ലുള്ള വസ്തുവിനെക്കാളും വലിയ കോണീയ വലിപ്പം ഉണ്ട്. ഇങ്ങനെയാണ് കോണീയ ആവർധനം കൈവരിക്കുന്നത്

(b) അതെ, ഇത് ചെറുതായി കുറയും കാരണം കണ്ണിൽ രൂപീകരിക്കപ്പെടുന്ന കോൺ ലെൻസിൽ രൂപീകരിക്കപ്പെടുന്ന കോണിനേക്കാൾ കുറച്ചു കുറവാണ്. പ്രതിബിംബം വളരെ ദൂരയാണെങ്കിൽ ഈ ഫലം അവഗണിക്കാവുന്നതാണ്. (ശ്രദ്ധിക്കുകയാണെങ്കിൽ കണ്ണിൽ ലെൻസിൽ നിന്നും മാറിയിരിക്കുകയാണെങ്കിൽ കണ്ണിൽ ആദ്യത്തെ വസ്തുവും അതിന്റെ പ്രതിബിംബവും രൂപീകരിക്കുന്ന കോണുകൾ തുല്യമല്ല.

(c) ആദ്യമായി വളരെ ചെറിയ ഫോക്കസ് ദൂരമുള്ള ലെൻസ് കടഞ്ഞെടുക്കുന്നത് എളുപ്പമല്ല. നമ്മൾ ഫോക്കസ് ദൂരം കുറച്ചാൽ പ്രകാശ വിപഥനം (Aberrations) (ഗോളീയമായും ക്രോമാറ്റികായും) കൂടുതൽ സ്പഷ്ടമാവുന്നു എന്നത് പ്രധാനപ്പെട്ടതാണ്. അതിനാൽ 3 അല്ലെങ്കിൽ അതിലധികമോ ലളിതമായ കോൺവെക്സ് ലെൻസ് ഉപയോഗിച്ച് കിട്ടുകയില്ല.

(d) ഐപീസിന്റെ ആവർധനം $[(25/f_e) + 1]$ ആണ്. (f_e cm ലാണ്) f_e ചെറുതാകുമ്പോൾഇതു കൂടുന്നു. കൂടുതലായി, ഒബ്ജെക്ടീവിന്റെ ആവർധനം

$\frac{v_o}{|u_o|} = \frac{1}{|u_o / f_o - 1}$ ആണ്. $|u_o|$, f_o യേക്കാൾ ശകലം കൂടുമ്പോൾ ഇത് വലുതാണ്. മൈക്രോസ്കോപ്പ് വളരെ അടുത്തുള്ള വസ്തുക്കളെ കാണാൻ ഉപയോഗിക്കുന്നു. അതിനാൽ $|u_o|$ ചെറുതാണ് f_o യും

(e) ഐ-പീസിൽ ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ പ്രതിബിംബം ഐ-റിങ് എന്ന് അറിയപ്പെടുന്നു. ഒബ്ജക്ടീവ് അപവർത്തനം നടത്തുന്ന വസ്തുവിൽ നിന്നുമുള്ള എല്ലാ രശ്മികളും ഐറിങ്ങിൽ കൂടി കടന്നു പോകുന്നു. അതിനാൽ കണ്ണുകൾക്ക് കാണാൻ ഇത് ഒരു ഉത്തമസ്ഥാനമാണ്. നമ്മളുടെ കണ്ണുകൾ ഐ-പീസിന് വളരെ അടുത്തു വച്ചാൽ, അധികം പ്രകാശം നമ്മൾക്ക് സ്വീകരിക്കാൻ സാധിക്കില്ല മാത്രമല്ല കാഴ്ച കുറയുകയും ചെയ്യും. നമ്മൾ നമ്മുടെ കണ്ണുകൾ ഐ-റിങ്ങിൽ വെക്കുകയും നമ്മുടെ കണ്ണുകളുടെ പ്യൂപ്പിളിന്റെ വിസ്തീർണ്ണം വലുതോ ഐ-റിങ്ങിന് തുല്യമോ ആയിരിന്നാൽ, നമ്മുടെ കണ്ണുകൾ ഒബ്ജെക്ടീവ് അപവർത്തനം നടത്തുന്ന എല്ലാ രശ്മികളെയും സ്വീകരിക്കാൻ സാധിക്കും. ഐ-റിങ്ങിന്റെ കൃത്യമായ സ്ഥാനം സ്വഭാവികമായും ഒബ്ജെക്ടീവിന്റെയും ഐ-പിസിന്റെയും അകലത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നു. നമ്മൾ ഒരു മൈക്രോ സ്കോപ്പിലൂടെ നോക്കുമ്പോൾ, കണ്ണുകൾക്കും ഐ-പീസിനും ഇടയിലുള്ള മാതൃകപരമായ ദൂരം, സാധാരണയായി ഉപകരണത്തിന്റെ രൂപകൽപനയിൽ ഉൾപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു.

9.33 മൈക്രോസ്കോപ്പിന്റെ സാധാരണ ഉപയോഗം അതായത് പ്രതിബിംബം 25 cm ൽ എടു

ക്കുക. ഐ-പീസിന്റെ കോണിയ ആവർധനം = $\frac{25}{5}+1=6$ ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ ആവർധനം = $\frac{30}{6}=5$

$$\frac{1}{5u_O}-\frac{1}{u_O}=\frac{1}{1.25}$$

ഇതിൽ നിന്നും $u_O=-1.5$ cm; $v_O=7.5$ cm. $u_I=(25/6)$ cm $=4.17$ cm എന്ന് കിട്ടും. ഒബ്ജക്ടീവിനും ഐപീസിനും ഇടയിലുള്ള ദൂരം $(7.5-4.17)$ cm $=11.67$ cm ആയിരിക്കണം കൂടുതലായി ആവശ്യമായ ആവർധനം കിട്ടാൻ വസ്തുവിനെ ഒബ്ജക്ടീവിന്റെ 1.5cm ദൂരത്തു വെക്കണം.

9.34 (a) $m=(f_O/f_e)=28$

(b) $m=\frac{f_O}{f_e}\left[1+\frac{f_O}{25}\right]=33.6$

9.35 (a) $f_O+f_e=145$ cm

(b) ടവർ രൂപീകരിക്കുന്ന കോൺ = (100/3000) = (1/30) rad. ഒബ്ജക്ടീവ് ഉണ്ടാക്കുന്ന പ്രതിബിംബ രൂപീകരിക്കുന്ന കോൺ = $\frac{h}{f_O}=\frac{h}{140}$

രണ്ടിനെയും തുലനം ചെയ്യുമ്പോൾ $h=4.7$ cm.

(c) ഐ-പീസിന്റെ ആവർധനം (അളവ് = 6) അവസാനത്തെ പ്രതിബിംബത്തിന്റെ ഉയരം (അളവ്) = 28 cm.

9.36 വലിയ കണ്ണാടി (കോൺകേവ്) രൂപീകരിക്കുന്ന പ്രതിബിംബം, ചെറിയ കണ്ണാടി (കോൺവെക്സ്)ക്ക് മിഥ്യാവസ്തുവായി വർത്തിക്കുന്നു. അനന്തതയിലുള്ള വസ്തുവിൽ നിന്നും വരുന്ന സമാന്തരരശ്മികൾ വലിയ കണ്ണാടിയിൽ നിന്നും 110 mm ദൂരത്തിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നു. ചെറിയ കണ്ണാടിക്ക് മിഥ്യാവസ്തുവിന്റെ ദൂരം $=(110-20)=90$ mm

ചെറിയ കണ്ണാടിയുടെ ഫോക്കൽദൂരം 70 mm ആണ്. ദർപ്പണ സമവാക്യം (Mirror formula) ഉപയോഗിച്ച് പ്രതിബിംബം ചെറിയ ദർപ്പണത്തിൽ നിന്നും 315 mm ദൂരെയാണ് രൂപീകരിക്കപ്പെടുന്നത്.

9.37 പ്രതിപതിക്കപ്പെടുന്ന രശ്മികൾ, ദർപ്പണത്തിന്റെ ഭ്രമണ കോണിന്റെ (Angle of rotation) രണ്ടിരട്ടി വ്യതിചലിക്കപ്പെടുന്നു. അതിനാൽ

$d/1.5=\tan 7^\circ$

അങ്ങനെ $d=18.4$ cm.

9.38 $n=1.33$

അധ്യായം 10

10.1 (a) പ്രതിപതന പ്രകാശം (തരംഗദൈർഘ്യം, ആവൃത്തി, വേഗം തുടങ്ങിയവ പതന രശ്മിയുടെതിനു സമാനമാണ്)

$\lambda = 589$ nm $\quad \nu = 5.09 \times 10^{14}$ Hz $\quad c = 3.00 \times 10^{8}$ m/s

(b) അപവർത്തന രശ്മി (പ്രതിപതന ആവൃത്തി അപവർത്തന ആവൃത്തിക്ക് സമമാണ്).

$\nu = 5.09 \times 10^{14}$ Hz, $\quad \lambda = 444$ nm

10.2 (a) ഗോളീയം.

(b) സമതലം.

(c) സമതലം (ഒരു വലിയ ഗോളത്തിന് ചെറിയ പ്രതലം ഏകദേശം സമതലമാണ്).

10.3 (a) 2.00 x 108 m/s.

(b) അല്ല. അതിനാൽ ഒരു മാധ്യമത്തിന്റെ ആവർത്താനാങ്കവും വേഗവും തരംഗദൈർഘ്യത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നു. (പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രത്യേകമായ വർണ്ണമോ തരംഗദൈർഘ്യമോ പരാമർശിച്ചിട്ടില്ലെങ്കിൽ തന്നിരിക്കുന്ന ആവർത്താനാങ്കം, മഞ്ഞ പ്രകാശത്തെ പ്രതിനിധീകരിക്കുവാൻ ഉപയോഗിക്കുന്നു) ഒരു ഗ്ലാസ്സ് പ്രിസ്സത്തിൽ വയലറ്റ് പ്രകാശം, ചുവപ്പ് പ്രകാശത്തേക്കാൾ കൂടുതൽ വ്യതിചലിക്കുന്നു. അതായത് $n_v > n_r$. അതുകൊണ്ട് വയലറ്റ് പ്രകാശം കുറഞ്ഞ വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു.

10.4 $\lambda = \dfrac{1.2\times10^{-2}\times0.28\times10^{-3}}{4\times1.4}\,\text{m} = 600\,\text{nm}$

10.5 K/4

10.6 (a) 1.17mm (b) 1.56mm

10.7 0.15°

10.8 $\tan^{-1}(1.5) \approx 56.3°$

10.9 5000 Å, 6×10^{14} Hz; 45°

10.10 40m

10.11 Use the formula $\lambda' - \lambda = \dfrac{v}{c}\lambda$

i.e., $v = \dfrac{c}{\lambda}(\lambda' - \lambda) = \dfrac{3\times10^{8}\times15}{6563} = 6.86\times10^{5}\,\text{ms}^{-1}$

10.12 കണികാ സിദ്ധാന്തം അനുസരിച്ച് പ്രകാശസാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ മാധ്യമത്തിൽ നിന്നും പ്രകാശസാന്ദ്രത കൂടിയ മാധ്യമത്തിലേക്കു പ്രകാശം സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ, പ്രതലത്തിന് ലംബമായ ദിശയിൽ ആകർഷണബലം അനുഭവപ്പെടുന്നു. ഇത് പ്രവേഗത്തിന്റെ ലംബഘടകത്തിന്റെ വില വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നു. എന്നാൽ പ്രവേഗത്തിന്റെ പ്രതലത്തിന് സമാന്തരമായ ഘടകത്തിന്റെ വിലയിൽ മാറ്റമുണ്ടാക്കുന്നില്ല. അതായത് ഈ അനുമാനം പരീക്ഷണത്തിലൂടെ ലഭിക്കുന്ന ഉത്തരത്തിന് വിപരീതമാണ്. പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗസ്വഭാവം പരീക്ഷണങ്ങളുമായി ഒത്തുപോകുന്നതാണ്.

10.13 പോയിന്റ് വസ്തു കേന്ദ്രമാക്കി ദർപ്പണം സ്പർശിക്കുന്ന രീതിയിൽ ഒരു വൃത്തം വരയ്ക്കുക. ഇത് വസ്തുവിൽ നിന്നും ദർപ്പണത്തിൽ എത്തിച്ചേരുന്ന തരംഗമുഖത്തിന്റെ ഒരു സമതല ഭാഗമാണ്. t സമയത്തിനു ശേഷമുള്ള ഈ തരംഗമുഖത്തിന്റെ സ്ഥാനം ദർപ്പണം ഉള്ളപ്പോഴും ദർപ്പണത്തിന്റെ അഭാവത്തിലും വരയ്ക്കുക. ഇങ്ങനെ വരയ്ക്കുമ്പോൾ ദർപ്പണത്തിന് ഇരുവശത്തുമുള്ള രണ്ട് ചാപങ്ങൾ ലഭിക്കുന്നു. ജോമട്രി ഉപയോഗിച്ച് പ്രതിപതന തരംഗമുഖത്തിന്റെ പ്രതിബിംബ ദൂരം (വസ്തുവിന്റെ പ്രതിബിംബം) കണ്ടുപിടിക്കുക. ഈ പ്രതിബിംബ ദൂരം വസ്തുവിന്റെ ദർപ്പണത്തിൽ നിന്നുമുള്ള ദൂരത്തിനു സമമായിരിക്കും.

10.14 (a) ശൂന്യതയിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗം താഴെ തന്നിരിക്കുന്ന എല്ലാ ഘടകങ്ങളിൽ നിന്നും സ്വതന്ത്രമാണ്. പ്രത്യേകിച്ച് വസ്തുവും പ്രതിബിംബവും തമ്മിലുള്ള ആപേക്ഷിക ചലനത്തിൽ നിന്നും ഈ വേഗം സ്വതന്ത്രമാണ് ഇതാണ് ഐൻസ്റ്റൈൻ വിശിഷ്ട ആപേക്ഷികതാ സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ മൗലികതത്വം

(b) ഒരു മാധ്യമത്തിലെ പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗതയുടെ ആശ്രിതത്വം

(i) സ്രോതസ്സിന്റെ പ്രകൃതിയെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല (സഞ്ചരിക്കുന്ന മാധ്യമത്തിന്റെ സ്വഭാവവിശേഷമാണ് തരംഗത്തിന്റെ വേഗം നിർണ്ണയിക്കുന്നത്. ശബ്ദതരംഗങ്ങൾ, ദ്രാവക തരംഗങ്ങൾ തുടങ്ങിയ എല്ലാ തരംഗങ്ങൾക്കും ഇത് ബാധകമാണ്)

(ii) ഐസോട്രോപിക് (isotropic)മാധ്യമത്തിൽ സഞ്ചാരദിശയെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല

(iii) മാധ്യമത്തെ അപേക്ഷിച്ചുള്ള സ്രോതസ്സിന്റെ ചലനത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. എന്നാൽ മാധ്യമത്തെ അപേക്ഷിച്ചുള്ള നിരീക്ഷകന്റെ ചലനത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നു.

(iv) തരംഗദൈർഘ്യത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നു.

(v) തീവ്രതയെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. (തീവ്രത കൂടുമ്പോഴുള്ള ഈ സാഹചര്യം കൂടുതൽ സങ്കീർണമാണ്. ഇവിടെ നമ്മൾ ഇത് ചർച്ചചെയ്യുന്നില്ല)

10.15 ശബ്ദതരംഗങ്ങൾക്ക് സഞ്ചരിക്കുവാൻ മാധ്യമം ആവശ്യമാണ്. മാധ്യമത്തിനെ അപേക്ഷിച്ചുള്ള വസ്തുവിന്റെ ചലനവും നിരീക്ഷകന്റെ ചലനവും വ്യത്യസ്തമാണ്. സ്രോതസ്സും നിരീക്ഷകനും തമ്മിലുള്ള ആപേക്ഷിക ചലനം എന്തുതന്നെ ആയാലും ശൂന്യതയിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗം സ്ഥിരമാണ്. അതുകൊണ്ട് പ്രകാശത്തിന്റെ ഡോപ്ളർ സൂത്രവാക്യം ഒരുപോലെയാണ്. എന്നാൽ മാധ്യമത്തിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ ഡോപ്ളർ സൂത്രവാക്യം ശബ്ദത്തിനേതിനു സമമാണ്.

10.16 3.4×10^{-4}m .

10.17 (a) വലുപ്പം – λ_r/d എന്ന സൂത്രവാക്യം അനുസരിച്ച് വലുപ്പം പകുതിയാകുന്നു. തീവ്രത നാലു മടങ്ങാകുന്നു.

(b) ഇരട്ടവിള്ളൽ ക്രമീകരണത്തിൽ ഇന്റർഫെറൻസ് ബാൻഡുകളുടെ തീവ്രത ഓരോ വിള്ളലിലേയും ഡിഫ്രാക്ഷൻ മാതൃക മോഡുലേറ്റ് ചെയ്യുന്നു.

(c) വൃത്താകൃതിയിലുള്ള ഒരു തടസ്സത്തിന്റെ വക്കുകളിലൂടെ വളഞ്ഞ് സഞ്ചരിക്കുന്ന തരംഗങ്ങൾ പോഷകാത്മകമായി നിഴലിന്റെ മധ്യഭാഗത്ത് ഇന്റർഫറൻസിനും വിധേയമായി ഒരു പ്രകാശിത ബിന്ദു രൂപീകൃതമാക്കുന്നു.

(d) തടസ്സങ്ങളുടെയോ വളവുകളുടെയോ വക്കുകളിൽ നിന്നുള്ള തരംഗങ്ങളുടെ വലിയ കോണിലുള്ള ഡിഫ്രാക്ഷന് വക്കുകളുടെ വലിപ്പം തരംഗദൈർഘ്യത്തിനോട് താരതമ്യം ചെയ്യാവുന്നതായിരിക്കണം. തടസ്സത്തിന്റെ വക്കുകളുടെ വലിപ്പം തരംഗദൈർഘ്യത്തിനേക്കാൾ വളരെ വലുതാണെങ്കിൽ ഡിഫ്രാക്ഷൻ വളരെ ചെറിയ കോണിൽ ആയിരിക്കും. ഇവിടെ വലിപ്പം ഏതാനും മീറ്ററുകൾ ആയിരിക്കും. പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം ഏകദേശം 5×10^{-7}m ആണ്. 1kHz ആവൃത്തിയിലുള്ള ശബ്ദതരംഗത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം 0.3m ആണ്. അതുകൊണ്ട് ശബ്ദത്തിന് ഇടഭിത്തിക്ക് മുകളിലൂടെ വളഞ്ഞ് സഞ്ചരിക്കാൻ സാധിക്കും എന്നാൽ പ്രകാശത്തിന് കഴിയുകയില്ല.

(e) d യിൽ വിശദീകരിച്ച് രീതിയിൽതന്നെ വിശദീകരിക്കാം. സാധാരണ പ്രകാശിക ഉപകരണങ്ങൾ വളവുകളുടെ വലിപ്പം പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യത്തിൽ വളരെക്കൂടുതലാണ്.

10.18 12.5cm

10.19 0.2nm

10.20 (a) ആന്റിന നേരെ സ്വീകരിക്കുന്ന സിഗ്നലും, സഞ്ചരിക്കുന്ന വിമാനം പ്രതിപതിപ്പിക്കുന്ന സിഗ്നലും തമ്മിലുള്ള ഇന്റർഫറൻസ് തരംഗത്തെ നിയന്ത്രിക്കുന്ന സമവാക്യത്തിന്റെ നിർധാരണം അദ്ധ്യാരോപം പിന്തുടരുന്നു. y_1, y_2 എന്നിവയാണ് തരംഗ സമവാക്യത്തിന് വിശ്ലേഷണമെങ്കിൽ ഇവയുടെ രേഖീയ കൂട്ടുകെട്ടിന്റെ വിശ്ലഷണവും ഇവ തന്നെയായിരിക്കും. ആയതി വളരെ വലുതും (ഉദാഹരണത്തിന് വളരെ തീവ്രതയുള്ള ലേസർ കിരണങ്ങൾ) രേഖീയമല്ലാത്ത ഗുണങ്ങൾ വളരെ പ്രധാനപ്പെട്ടതും ആണെങ്കിൽ സ്ഥിതിവിശേഷം കൂടുതൽ സങ്കീർണമാക്കുന്നത് കൊണ്ട് ഇവിടെ പരിഗണിക്കുന്നില്ല.

10.21 $a'=a/n$ വീതിയുള്ള n ചെറിയ വിള്ളലുകളായി ഏകവിള്ളലിനെ വിഭജിക്കുക. കോണളവ് $\theta = \frac{n\lambda}{a} = \frac{\lambda}{a'}$ ഓരോ ചെറിയ വിള്ളലുകളും പൂജ്യം പ്രകാശതീവ്രതയെ 0 ദിശയിൽ അയയ്ക്കുന്നു. ഇവ യോജിച്ചാലും പൂജ്യം പ്രകാശതീവ്രത ലഭിക്കുന്നു.

അധ്യായം 11

11.1 (a) $7.24 \quad 10^{18}$ Hz (b) 0.041 nm

11.2 (a) $0.34\ eV - 0.54 \times 10^{-19}$ J (b) 0.34 V (c) 344 km/s

11.3 1.5 eV – 2.4 10 J

11.4 (a) 3.14×10^{-19} J, 1.05 10^{-27} kg m/s (b) 3 10^{16} ഫോട്ടോൺ/സെക്കന്റ്

(c) 0.63 m/s

11.5 4×10^{21} photons/m²s

11.6 6.59 10^{-34} J s

11.7 (a) 3.38 10^{-19} J – 2.11 eV (b) 3.0×10^{20} ഫോട്ടോൺ/സെക്കന്റ്

11.8 2.0 V

11.9 ഇല്ല, കാരണം $\nu < \nu_0$

11.10 4.73 10^{14} Hz

11.11 2.16 eV – 3.46 10^{-19} J

11.12 (a) 4.04×10^{-24} kg m s^{-1} (b) 0.164 nm

11.13 (a) 5.92 10^{-24} kg m s^{-1} (b) 6.50×10^{6} m s^{-1}

11.14 (a) 6.95 10^{-25} J – 4.34 μeV (b) 3.78 10^{-28} J – 0.236 neV

11.15 (a) 1.7 10^{-35} m (b) 1.1×10^{-32} m (c) 3.0 10^{-23} m

11.16 (a) 6.63×10^{-25} kg m/s (രണ്ടിനും) (b) 1.24 keV (c) 1.51 eV

11.17 (a) 6.686×10^{-21} J – 4.174×10^{-2} eV (b) 0.145 nm

11.18 $\lambda = h/p = h/(h\nu/c) = c/\nu$

11.19 0.028 nm

11.20 (a) $eV = (mv^2/2)$ *i.e.*, $v = [(2eV/m)]^{1/2}$; $v = 1.33 \times 10^7\ m\,s^{-1}$

(b) ഇതേ സൂത്രവാക്യം $V = 10^7$ V ന് ഉപയോഗിച്ചാൽ ലഭിക്കുക $v = 1.88 \times 10^{8}\ ms^{-1}$ എന്നാണ്. പ്രകാശവേഗത്തേക്കാൾ $(c = 3 \times 10^8\ ms^{-1})$ കൂടിയ വേഗതയിൽ ഒരു വസ്തുവിനും സഞ്ചരിക്കാൻ സാധിക്കാത്തതിനാൽ, ഇത് തെറ്റാണെന്ന് വ്യക്തമാണ്. യഥാർത്ഥത്തിൽ, ഗതികോർജത്തിന്റെ സൂത്രവാക്യം $(mv^2/2)$ സാധുവാകുന്നത് $(v/c) << 1$ ആകുമ്പോൾ മാത്രമാണ്. (v/c) എന്നത് 1 നോടടുത്ത് വരുന്ന വളരെ ഉയർന്ന വേഗതയിൽ (എപ്പോഴും 1 ൽ താഴെയാണെങ്കിലും), റിലേറ്റിവിസ്റ്റിക്മണ്ഡലം ആണ് പ്രായോഗികമായുള്ളത്. അത്തരം സന്ദർഭത്തിൽ സാധുവാകുന്നത് സൂത്രവാക്യങ്ങൾ: ചുവടെ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു.

റിലേറ്റിവിസ്റ്റിക് ആക്കം $p = mv$

ആകെ ഊർജം $E = mc^2$

ഗതികോർജം $K = mc^2 - m_0c^2$. ഇതിൽ റിലേറ്റിവിസ്റ്റിക് മാസ് $m = m_0\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}$

ഇതിൽ m_0 എന്നത് കണത്തിന്റെ റെസ്റ്റ്മാസ് ആണ്. ഈ ബന്ധങ്ങൾ നല്കുന്ന സൂചനപ്രകാരം $E = (p^2c^2 + m_0^2c^4)^{1/2}$

കുറിപ്പ്: റിലേറ്റിവിസ്റ്റിക് മണ്ഡലത്തിൽ, v/c എന്നത് 1 നോട് അടുത്തുവരുമ്പോൾ K അഥവാ ഊർജം $\geq m_0c^2$ (റെസ്റ്റ് മാസ് ഊർജം). ഇലക്ട്രോണിന്റെ റെസ്റ്റ് മാസ് ഊർജം ഏകദേശം 0.51 MeV ആണ്. അതിനാൽ ഇലക്ട്രോണിന്റെ റെസ്റ്റ്മാസ് ഊർജത്തേക്കാൾ വളരെ കൂടുതലുള്ള 10 MeV ഗതികോർജം, റിലേറ്റിവിസ്റ്റിക്മണ്ഡലത്തിലാണ്. റിലേറ്റിവിസ്റ്റിക് സൂത്രവാക്യമുപയോഗിച്ച് v (10 MeV ഗതികോർജത്തിനുള്ള) – 0.999 c

11.21 (a) 22.7 cm

(b) ഇല്ല. നേരത്തെ വിശദീകരിച്ചതുപ്രകാരം, 20 MeV ഇലക്ട്രോൺ റിലേറ്റിവിസ്റ്റിക് വേഗത്തിലാണ് സഞ്ചരിക്കുന്നത്. അതുപ്രകാരം, നോൺറിലേറ്റിവിസ്റ്റിക് വേഗതയുടെ സൂത്രവാക്യം $R = (m_0 v/e B)$ സാധുവല്ല. റിലേറ്റിവിസ്റ്റിക് സൂത്രവാക്യം

$$R = p/(eB) = mv/(eB) \quad \text{or} \quad R = m_0v/\left(eB\sqrt{1-v^2/c^2}\right)$$

11.22 $eV = (m v^2/2)$ യും $R = (m v/e B)$ യും ആണെന്ന് നമുക്കറിയാം. അതുപ്രകാരം $(e/m) = (2V/R^2B^2)$; തന്നിരിക്കുന്ന ഡാറ്റ ഉപയോഗിച്ചാൽ, $(e/m) = 1.73 \times 10^{11}\ C\ kg^{-1}$.

11.23 *(a) 27.6 keV* *(b) 30 kV* ന്റെ ഓർഡറിൽ

11.24 $\lambda = (hc/E)$ യിൽ $E = 5.1 \times 1.602 \times 10^{-19} J$ ഉപയോഗിച്ചാൽ ലഭിക്കുക
$\lambda = 2.43 \times 10^{-13} m$

11.25 *(a)* $\lambda = 500\ nm$, $E = (h c/\lambda) = 3.98 \times 10^{-19} J$. സെക്കന്റിൽ പുറന്തള്ളപ്പെടുന്ന ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം $= 10^4 J\ s^{-1}/3.98 \times 10^{-19} J \sim 3 \times 10^{17} s^{-1}$.

ഒരു റേഡിയോ ഫോട്ടോണിന്റെ ഊർജം വളരെയധികം കുറവും, സെക്കന്റിൽ പുറന്തള്ളപ്പെടുന്ന ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം വളരെക്കൂടുതലുമാണ്. അതിനാൽ, ഊർജത്തിന്റെ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ക്വാണ്ടത്തിന്റെ (ഫോട്ടോൺ) അസ്തിത്വം അവഗണിക്കുന്നതിലും റേഡിയോ തരംഗത്തിന്റെ ആകെ ഊർജം തുടർച്ചയുള്ളതരത്തിലാണെന്ന് പരിഗണിക്കുകയും ചെയ്യുന്നതിൽ പിശകു നിസാരമാണ്.

(b) $\nu = 6 \times 10^{14} Hz$ ആകുമ്പോൾ, $E \sim 4 \times 10^{-19} J$. മിനിമം തീവ്രതക്ക് ആനുപാതികമായ ഫോട്ടോൺ ഫ്ളക്സ് $= 10^{-10} W m^{-2}/4 \times 10^{-19} J = 2.5 \times 10^{8} m^{-2} s^{-1}$. ഒരു സെക്കന്റിൽ കൃഷ്ണമണിയിൽ പതിക്കുന്ന ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം $= 2.5 \times 10^8 \times 0.4 \times 10^{-4} s^{-1} = 10^4 s^{-1}$. (a) യിൽ കണ്ട അത്രയും കൂടിയതല്ല ഈ സംഖ്യയെങ്കിലും, നമ്മെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം നമ്മുടെ കണ്ണു കൊണ്ട് 'എണ്ണാൻ' കഴിയാത്തത്രയും കൂടുതലാണ് ഈ സംഖ്യ.

11.26 $\phi = h\upsilon - eV_0 = 6.7 \times 10^{-19} J = 4.2\ eV$; $\upsilon = 4.7 \times 10^{14} Hz < \upsilon_0$ എന്നതിന് അനുയോജ്യമായ $\upsilon_0 = \frac{\phi_0}{h} = 1.0 \times 10^{15} Hz$; $\lambda = 6328 Å$ ലേസർ പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രത എത്രതന്നെ ഉയർന്നതായാലും ഫോട്ടോസെൽ പ്രതികരിക്കില്ല.

11.27 രണ്ട് പ്രകാശ ഉറവിടങ്ങൾക്കും $eV_0 = h\upsilon - \varphi_0$ ഉപയോഗിക്കുക. ആദ്യ ഉറവിടത്തിന്റെ ഡാറ്റയിൽ നിന്ന് ലഭിക്കുന്നത്, $\varphi_0 = 1.40$ eV. ഈ മൂല്യം രണ്ടാമത്തെ ഉറവിടത്തിനായി ഉപയോഗിച്ചാൽ $V_0 = 1.50$ V.

11.28 V_0 യും ν യും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ് വരക്കുക. അതിന്റെ സ്ലോപ് (h/e) യും ν- അക്ഷത്തിലെ ഇന്റർസെപ്റ്റ് υ_0 യുമാണ്. ആദ്യ നാല് ബിന്ദുക്കൾ ഏറെക്കുറെ നേർരേഖയിൽ ആണുള്ളത്, അവ ν - അക്ഷത്തെ ഖണ്ഡിക്കുന്നത് $\upsilon_0 = 5.0 \quad 10^{14}$ Hz (ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി)ലാണ്. അഞ്ചാമത്തെ ബിന്ദു $\nu < \nu_0$ എന്നതിന് അനുരൂപമായതാണ്; ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനമുണ്ടാകുന്നില്ല, അതിനാൽ തന്നെ കറന്റിനെ പ്രതിരോധിക്കാൻ സ്റ്റോപ്പിംഗ് പൊട്ടൻഷ്യലിന്റെ ആവശ്യവുമില്ല. ഈ ഗ്രാഫിന്റെ സ്ലോപ് 4.15×10^{-15} V s ആണ്. $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C എന്നുപയോഗിച്ചാൽ, $h = 6.64 \quad 10^{-34}$ J s (പ്രാമാണിക മൂല്യം $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J s), $\varphi_0 = h\nu_0 = 2.11$ V.

11.29 പതന ആവൃത്തിയുടെ തന്നിരിക്കുന്ന മൂല്യം ν എന്നത് ν_0(Na), ν_0 (K) എന്നിവയേക്കാൾ കൂടുതലും; എന്നാൽ ν_0 (Mo), ν_0 (Ni) എന്നിവയേക്കാൾ കുറവുമാണ്. ആയതിനാൽ, Mo യും Ni യും ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനം ഉണ്ടാക്കുന്നില്ല. ലേസർ അടുത്തേക്ക് കൊടുന്നാൽ, വികിരണത്തിന്റെ തീവ്രത കൂടുമെങ്കിലും Mo, Ni എന്നിവയുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഫലത്തിൽ മാറ്റമൊന്നുമുണ്ടാക്കുന്നില്ല. എന്നാൽ, Na, K എന്നിവയിൽ നിന്നുള്ള ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് കറന്റ് തീവ്രതയ്ക്ക് ആനുപാതികമായി വർധിക്കുന്നു.

11.30 ഒരാറ്റത്തിൽ ഒരു ചാലക ഇലക്ട്രോൺ എന്ന് സങ്കൽപിക്കുക. സഫല ആറ്റോമിക പരപ്പളവ് $\sim 10^{-20}$ m^2

5 പാളികളിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം = $\dfrac{5 \times 2 \times 10^{-4}\ \text{m}^2}{10^{-20}\ \text{m}^2} = 10^{17}$

പതന പവർ $= 10^{5}$ W m$^{-2} \times 2 \times 10^{-4}$ m$^2 = 2 \times 10^{1}$ W

തരംഗവിവരണപ്രകാരം, എല്ലാ ഇലക്ട്രോണുകളും പതന പവർ തുടർച്ചയായും ഒരേ തരത്തിലും ആഗിരണം ചെയ്യുന്നു. അതിന്റെ ഫലമായി, ഓരോ സെക്കന്റിലും ഓരോ ഇലക്ട്രോണും ആഗിരണം ചെയ്യുന്ന ഊർജം $= 2 \times 10^{1}/10^{17} = 2 \times 10^{-16}$ W

ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനത്തിന് ആവശ്യമായ സമയം

$= 2 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J$/2 \times 10^{-16}$ W $= 1.6 \times 10^{7}$ s

ഇത് ഏകദേശം 0.5 വർഷമാണ്.

അനുമാനം: പരീക്ഷണാത്മകമായി, ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് ഉത്സർജനമെന്നാണ് ഏറെക്കുറെ തൽക്ഷണ ($\sim 10^{-9}$ s) മെന്നാണ് നിരീക്ഷിക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ളത്. അതിനാൽ, തരംഗവിവരണം പരീക്ഷണവുമായി യോജിച്ചുപോകുന്നില്ല. ഫോട്ടോൺ വിവരണത്തിൽ, മുകളിലെ പാളിയിലുള്ള എല്ലാ ഇലക്ട്രോണുകളുമായും വികിരണോർജം തുടർച്ചയായി പങ്കുവെയ്ക്കപ്പെടുന്നില്ല. മറിച്ച്, ഊർജം പുറത്തുവരുന്നത് വ്യതിരിക്തങ്ങളായ ക്വാണ്ടങ്ങൾ ആയിട്ടാണ്, മാത്രമല്ല ഊർജ ആഗിരണം തുടർച്ചയായി സംഭവിക്കുന്നുമില്ല. ഫോട്ടോൺ ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടുകയോ അടുത്തുള്ള ഇലക്ട്രോൺ ക്ഷണത്തിൽ ആഗിരണം ചെയ്യുകയോ ചെയ്യുന്നില്ല.

11.31 $\lambda = 1$ Å ആയാൽ, ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഊർജം = 150 eV; ഫോട്ടോണിന്റെ ഊർജം = 12.4

keV. അതായത്, ഒരേ തരംഗദൈർഘ്യമാണെങ്കിലും ഫോട്ടോണിന് ഇലക്ട്രോണിനേക്കാൾ വളരെക്കൂടുതൽ ഊർജമുണ്ട്.

11.32 (a) $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2\ m K}}$ ഒരേ K ആണെങ്കിൽ, m നനുസരിച്ച് $(1/\sqrt{m})$ എന്ന തരത്തിൽ λ കുറയുന്നു.

$(m_n/m_e) = 1838.6$; ഉദാഹരണം 11.31 ലേതുപോലെ അതേ ഊർജത്തിന് (150 eV), ന്യൂട്രോണിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം = $\left(1/\sqrt{1838.6}\right)\times 10^{-10}$ m = 2.33×10^{-12} m ആറ്റോമികാന്തര വിടവ് ഏകദേശം നൂറുമടങ്ങ് അധികമാണ്. ആയതിനാൽ, 150 eV ഊർജമുള്ള ഒരു ന്യൂട്രോൺ രശ്മി ഡിഫ്രാക്ഷൻ പരീക്ഷണത്തിന് അനുയോജ്യമല്ല.

(b) $\lambda = 1.45 \times 10^{-10}$ m $[\lambda = (h/\sqrt{3\ m\ k\ T})]$ ഉപയോഗിച്ചാൽ ഇത് ക്രിസ്റ്റലിന്റെ ആറ്റോമികാന്തര വിടവിന് അനുയോഗ്യമാണ്.

മുകളിൽ കണ്ട (a), (b) എന്നിവയിൽ നിന്ന് ഡിഫ്രാക്ഷൻ പരീക്ഷണത്തിന് അനുയോജ്യമായത് തെർമൽ ന്യൂട്രോണുകളാണെന്നും; അതിനാൽ ഉന്നത ഊർജമുള്ള ന്യൂട്രോണുകളെ ഉപയോഗത്തിനു മുമ്പ് ആദ്യം തെർമലൈസ് ചെയ്യേണ്ടതുണ്ട്.

11.33 $\lambda = 5.5 \times 10^{-12}$ m

λ (മഞ്ഞവെളിച്ചം) = 5.9×10^{-7} m

റിസോൾവിംഗ് പവർ (RP) തരംഗദൈർഘ്യത്തിന് വിപരീതാനുപാതത്തിലാണ്. അതിനാൽ, ഒരു ഇലക്ട്രോൺ മൈക്രോസ്കോപ്പിന്റെ RP പ്രകാശികമൈക്രോസ്കോപ്പിന്റേതിനേക്കാൾ 10^5 മടങ്ങ് കൂടുതലാണ്. മറ്റു ഘടകങ്ങളിലെ (ജ്യാമിതീയ) വ്യത്യാസങ്ങൾക്കനുസരിച്ച് ഈ താരതമ്യത്തിൽ ചെറിയമാറ്റങ്ങളുണ്ടായേക്കാം.

11.34 $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63\times 10^{-34}\,\text{Js}}{10^{-15}\,\text{m}} = 6.63 \times 10^{-19}\ \text{kg m s}^{-1}$

ഊർജത്തിന്റെ റിലേറ്റിവിസ്റ്റിക് സമവാക്യം ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ,

$E^2 = c^2 p^2 + m_0^2 c^4 = (6.63)^2 \times 10^{-22} + (0.511 \times 1.6)^2 \times 10^{-26} = (6.63)^2 \times 10^{-22}$

രണ്ടാമത്തെ പദം (റെസ്റ്റ് മാസ് ഊർജം) അവഗണിക്കാവുന്നതാണ്. അതിനാൽ, $E = 1.989 \times 10^{-10}$ J = 1.24 BeV. അതുകൊണ്ട്, ആക്സിലറേറ്ററിൽ നിന്നുള്ള ഇലക്ട്രോൺ ഊർജങ്ങൾ BeV യുടെ ഓർഡറിലായിരിക്കണം.

11.35 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{3\ m\ k\ T}}$ എന്നുപയോഗിച്ചാൽ, $m_{He} = \frac{4\times 10^{-3}}{6\times 10^{23}}$ kg

$\lambda = 0.73 \times 10^{-10}$ m എന്നു ലഭിക്കുന്നു. ശരാശരി അകലം = $(V/N)^{1/3} = (kT/p)^{1/3}$

T = 300 K എന്നെടുത്താൽ, $p = 1.01 \times 10^5$ Pa, $r = 3.4 \times 10^{-9}$ m. നമുക്കു ലഭിക്കുക $r >> \lambda$

11.36 ചോദ്യം 11.35 ലെ അതേ സൂത്രവാക്യം ഉപയോഗിച്ചാൽ, $l = 6.2\times 10^{-9}$ m എന്ന് ലഭിക്കും. ഇത് തന്നിരിക്കുന്ന അറ്റോമികാന്തര വിടവിനേക്കാൾ വളരെക്കൂടുതലാണ്.

11.37 (a) തമ്മിൽ അകറ്റിമാറ്റാൻ ശ്രമിച്ചാൽ വർധിത ബലത്തോടെ ഒരു ന്യൂട്രോണിലോ

പ്രോട്ടോണിലോ ബന്ധിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന പദാർത്ഥങ്ങളായി ക്വാർക്കുകൾ പ്രവർത്തിക്കുന്നതായി പരിഗണിക്കപ്പെടുന്നു. അംശികചാർജുകൾ പ്രകൃതിയിൽ ഉണ്ടായിരിക്കാമെങ്കിലും, നിരീക്ഷിക്കപ്പെട്ട ചാർജുകൾ e−യുടെ സമഗ്രമായ ഗുണിതങ്ങളാണ്.

(b) വൈദ്യുതകാന്തിക മണ്ഡലങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാന ബന്ധങ്ങളായ $eV = (1/2)\, m v^2$ അഥവാ $eE = m a$, $eBv = m v^2/r$ എന്നിവ സൂചിപ്പിക്കുന്നത് ഇലക്ട്രോണിന്റെ ബലതന്ത്രം തീരുമാനിക്കുന്നത് e യും m ഉം പ്രത്യേകമായിട്ടല്ല, മറിച്ച് അവ ചേർന്നുള്ള e/m അനുസരിച്ചാണ്.

(c) താഴ്ന്ന മർദങ്ങളിൽ, അയോണുകൾ അവയുടെ ഇലക്ട്രോഡുകളിലെത്താനും ഒരു വൈദ്യുതപ്രവാഹം സൃഷ്ടിക്കാനും സാധ്യതയുണ്ട്. സാധാരണ മർദങ്ങളിൽ, വായു തന്മാത്രകളുമായുള്ള കൂട്ടിയിടിയും പുന: സംയോജനവും കാരണം അയോണുകൾ അങ്ങനെ ചെയ്യാൻ ഒരു സാധ്യതയുമില്ല.

(d) വർക്ക് ഫങ്ഷൻ എന്നത് സൂചിപ്പിക്കുന്നത് കണ്ടക്ഷൻ ബാൻഡിലേ ഉയർന്ന ഊർജനിലയിലുള്ള ഇലക്ട്രോണിനെ ലോഹത്തിൽ നിന്ന് പുറത്തുകടത്താനാവശ്യമായ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഊർജമാണ്. ലോഹത്തിലെ എല്ലാ ഇലക്ട്രോണുകളും ഈ ഊർജനിലയിൽ ആകണമെന്നില്ല. അവ തുടർച്ചയായുള്ള ഊർജനിലകളുടെ ഒരു ബാൻഡിലാണ് ഉള്ളത്. തത്ഫലമായി, ഒരേ പതനവികിരണത്തിനനുസരിച്ച്, ഇലക്ട്രോണുകൾ വിവിധ ഊർജനിലകളിൽ നിന്ന് വ്യത്യസ്ത ഊർജങ്ങളിൽ പുറത്തേക്ക് തെറിപ്പിക്കപ്പെടുന്നു.

(e) ഏതൊരു കണികയുടെയും ഊർജം E യുടെ കേവലവില (ആക്കത്തിന്റെയല്ല) ഒരു സകലന സ്ഥിരാങ്കത്തിനിടയിൽ ആയിരിക്കും. λ ഭൗതികമായി അർത്ഥപൂർണമാണ്, എന്നാൽ ദ്രവ്യതരംഗത്തിന്റെ λ വിന്റെ കേവലവില പ്രത്യക്ഷത്തിൽ ഭൗതിക അർത്ഥതലങ്ങളുള്ളതല്ല. അതുപോലെ ഫേസ് വേഗത νλ യും അർത്ഥപൂർണമല്ല.

ഗ്രൂപ്പ് വേഗത $\dfrac{d\nu}{d(1/\lambda)} = \dfrac{dE}{dp} = \dfrac{d}{dp}\left(\dfrac{p^2}{2m}\right) = \dfrac{p}{m}$ എന്നത് അർത്ഥപൂർണമാണ്.

അധ്യായം 12

12.1. (a) വ്യത്യാസമില്ല

(b) തോംസൺ മാതൃക, റഥർഫോർഡ് മാതൃക

(c) റഥർ ഫോർഡിന്റെ മാതൃക

(d) തോംസൺ മാതൃക, റഥർഫോർഡ് മാതൃക

(e) രണ്ട് മാതൃകകളും

12.2. ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ ന്യൂക്ലിയസിൽ ഒരു പ്രോട്ടോൺ മാത്രമാണ് ഉള്ളത്. ഇതിന്റെ മാസ് 1.67×10^{-27} kg ആണ്. അതേ സമയം പതിക്കുന്ന α- കണത്തിന്റെ മാസ് 6.64×10^{-27} kg. ആണ്. വിസരണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന കണം ടാർജറ്റ് ന്യൂക്ലിയസ്സിനേക്കാൾ (പ്രോട്ടോൺ) മാസ് കൂടിയായതിനാൽ, ഒരു നേർക്കുനേർ കൂട്ടിയിടിക്കു ശേഷം പോലും α- കണം തിരികെ വരില്ല. ഇത് നിശ്ചലാവസ്ഥയിലിരിക്കുന്ന ഒരു ടെന്നീസ് ബോളുമായി കൂട്ടിയിടിക്കുന്ന ഒരു ഫുട്ബോളിനു സമാനമാണ്. അതിനാൽ വലിയ വിസരണ കോൺ ഉണ്ടാകില്ല.

12.3. 820 nm.

12.4. 5.6×10^{14} Hz

12.5. 13.6 eV; 27.2 eV

12.6. 9.7×10^{-8} m; 3.1×10^{15} Hz.

12.7. (a) 2.18×10^{6} m/s; 1.09×10^{6} m/s; 7.27×10^{5} m/s

(b) 1.52×10^{-16} s; 1.22×10^{-15} s; 4.11×10^{-15} s.

12.8. 2.12×10^{-10} m; 4.77×10^{-10} m

12.9. ലൈമൻ ശ്രേണി: 103 nm ഉം 122 nm ഉം ബാമർ ശ്രേണി: 656 nm.

12.10. 2.6×10^{74}

12.11. (a) അതുപോലെ തന്നെ.

(b) താരതമ്യേന കുറവ്

(c) ഒരു ഒറ്റ കൂട്ടിയിടിയുടെ ഫലമായിട്ടാണ് മിക്കവാറും വിസരണം സംഭവിക്കുന്നത് എന്തുകൊണ്ടെന്നാൽ ഒറ്റ കൊളീഷനുള്ള സാധ്യത ടാർജറ്റ് ആറ്റങ്ങളുടെ എണ്ണത്തിന് രേഖീയമായി വർദ്ധിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. അതിനാൽ കനത്തിന് ആനുപാതികമായിരിക്കും.

(d) തോംസൺ മാതൃകയിൽ, ഒരൊറ്റ കൂട്ടിയിടി വളരെ ചെറിയ വിഭ്രംശമേയുണ്ടാക്കുകയുള്ളൂ. നിരീക്ഷിക്കപ്പെട്ട ശരാശരി വിസരണ കോൺ അസംഖ്യം വിസരണം പരിഗണിച്ചു മാത്രമേ വിശദീകരിക്കാൻ കഴിയുന്നുള്ളൂ. അതുകൊണ്ട് തോംസൺ മാതൃകയിൽ അനേക വിസരണം അവഗണിക്കുന്നത് തെറ്റാണ്. റഥർഫോർഡിന്റെ മാതൃകയിൽ, മിക്ക വിസരണങ്ങളും ഒരൊറ്റ കൂട്ടിമുട്ടലിലൂടെ നടക്കുന്നതാണ് അതുകൊണ്ട് അസംഖ്യം വിസരണ ഫലങ്ങൾ ഒഴിവാക്കാൻ കഴിയും.

12.12 ബോർ മാതൃകയിൽ ഒന്നാം ഓർബിറ്റിന്റെ ആരം, $a_0 = \dfrac{4\pi\varepsilon_0(h/2\pi)^2}{m_e e^2}$ എന്ന സമവാക്യം നൽകുന്നു. ആറ്റത്തെ ചേർത്തു നിർത്തുന്നത് $(Gm_p m_e/r^2)$, ഗുരുത്വാകർഷണബലമാണെന്ന് പരിഗണിച്ചാൽ $(e^2/4\pi\varepsilon_0)$ എന്നതിനു പകരം $Gm_p m_e$ ഉപയോഗിക്കുക.

അതായത് ഒന്നാം ബോർ ഓർബിറ്റിന്റെ ആരം $a_0^G = \dfrac{(h/2\pi)^2}{Gm_p m_e^2} \cong 1.2 \times 10^{29}$ m. ആണ്. ഇത് മുഴുവൻ പ്രപഞ്ചത്തിന്റെ വലുപ്പത്തേക്കാൾ കൂടുതലാണ്.

12.13 $$\nu = \frac{me^4}{(4\pi)^3\varepsilon_0^2(h/2\pi)^3}\left[\frac{1}{(n-1)^2} - \frac{1}{n^2}\right] = \frac{me^4(2n-1)}{(4\pi)^3\varepsilon_0^2(h/2\pi)^3 n^2(n-1)^2}$$

n ന്റെ വില വലുതായാൽ, $\nu \cong \dfrac{me^4}{32\pi^3\varepsilon_0^2(h/2\pi)^3 n^3}$

ഓർബിറ്റൽ ആവൃത്തി, $\nu_0 = (v/2\pi r)$. ബോർ ആറ്റം മോഡലിൽ $v = \dfrac{n(h/2\pi)}{mr}$,

ബോർ മാതൃകയിൽ $\nu_c = \dfrac{n(h/2\pi)}{2\pi mr^2}$ ഉം, $r = \dfrac{4\pi\varepsilon_0(h/2\pi)^2}{me^2}n^2$. ആകുന്നു.

ഇതനുസരിച്ച് $\nu_c = \dfrac{n(h/2\pi)}{2\pi mr^2} = \dfrac{me^4}{32\pi^3\varepsilon_0^2(h/2\pi)^3 n^3}$ എന്നത് n ന്റെ വലിയ വിലകൾക്കും ν ഒരേ പോലെയാണ്.

12.14 (a) $\left(\dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 mc^2}\right)$ എന്ന അളവിന് നീളത്തിന്റെ അതേ ഡൈമെൻഷനാണുള്ളത്. ഇതിന്റെ വില 2.82×10^{-15}m ആണ്. ഇത് അറ്റോമിക വലുപ്പത്തേക്കാൾ കുറവാണ്.

(b) $\dfrac{4\pi\varepsilon_0(h/2\pi)^2}{me^2}$ എന്ന അളവിന് നീളത്തിന്റെ ഡൈമെൻഷനാണുള്ളത്. ആറ്റോമിക വലുപ്പത്തിന്റെ ക്രമത്തിൽ ഇതിന്റെ മൂല്യം 0.53×10^{-10}m മീറ്ററാണ്. യഥാർഥ അറ്റോമിക വലുപ്പത്തിലെത്തിച്ചേരാൻ h ന്റെ സ്ഥാനത്ത് 4π, $h/2\pi$ എന്നിവ നമുക്ക് ഉപയോഗിക്കാമെന്നത് ഡൈമെൻഷണൽ വാദങ്ങളിലൂടെ മനസിലാക്കാൻ കഴിയില്ല.

12.15 ബോർ മാതൃകയിൽ, $mvr = nh$ യും $\dfrac{mv^2}{r} = \dfrac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ ഉം ആകുന്നു. ഇതനുസരിച്ച്

ഗതികോർജം $T = \dfrac{1}{2}mv^2 = \dfrac{Ze^2}{8\pi\varepsilon_0 r}$; $r = \dfrac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{Ze^2 m}n^2$

ഈ സമവാക്യങ്ങൾക്ക് പൂജ്യം സ്ഥിതികോർജ വില തിരഞ്ഞെടുക്കുന്നതിനെക്കുറിച്ച് യാതൊരു വിവരവും നൽകാനാകുന്നില്ല. സ്ഥിതികോർജത്തിന്റെ പൂജ്യം വില അനന്തതയിലാണെന്നെടുത്താൽ $V = -(Ze^2/4\pi\varepsilon_0 r)$ എന്നും $V = -2T$ എന്നും $E = T + V = -T$ എന്നും ലഭിക്കുന്നു.

(a) $E = -3.4\text{eV}$ എന്നത് സ്ഥിതികോർജത്തിന്റെ പൂജ്യം വില അനന്തതയിലാണെന്ന് ആധാരമാക്കി ലഭിക്കുന്നതാണ്. $E = -T$, എന്നു ഉപയോഗിച്ചാൽ. ഈ അവസ്ഥയിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഗതികോർജം $+3.4\text{eV}$ ആണ്.

(b) $V = -2T$, എന്നുപയോഗിച്ചാൽ, ഇലക്ട്രോണിന്റെ സ്ഥിതികോർജം $= -6.8\text{ eV}$ ആണ്.

(c) സ്ഥിതികോർജത്തിന്റെ പൂജ്യം വില വ്യത്യസ്തമായി തിരഞ്ഞെടുത്താൽ, ഗതികോർജം മാറുന്നില്ല. ഇതിന്റെ വിലയായ $+3.4\text{ eV}$ സ്ഥിതികോർജത്തിന്റെ പൂജ്യം വില തിരഞ്ഞെടുക്കുന്നതിനെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. സ്ഥിതികോർജത്തിന്റെ പൂജ്യം വില മുകളിൽ പറഞ്ഞതിൽ നിന്നും വ്യത്യസ്തമായി തിരഞ്ഞെടുത്താൽ ഈ അവസ്ഥയിലെ സ്ഥിതികോർജവും ആകെ ഊർജവും വ്യത്യാസപ്പെട്ടേക്കും.

12.16 ഗ്രഹങ്ങളുടെ ചലനവുമായി ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന കോണീയാക്കം h നെ അപേക്ഷിച്ച് താരതമ്യേന വലുതാണ്. ഉദാഹരണത്തിന് ഭൂമിയുടെ ഓർബിറ്റൽ ചലനത്തിലെ കോണീയാക്കം $10^{70}h$ ന്റെ പരിമാണഘാതത്തിലാണ്. ബോറിന്റെ ക്വാണ്ടൈസേഷന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ഇത് n ന്റെ വലിയ വിലയ്ക്ക് അനുസൃതമാണ് (10^{70} പരിമാണഘാതത്തിൽ). n ന്റെ ഇത്തരത്തിലുള്ള വലിയ വിലകൾക്ക് ബോർ മാതൃകയിൽ ക്വാണ്ടൈസ്ഡ് ലെവലുകളിൽ അടുത്തടുത്തുള്ള ഊർജങ്ങളും കോണീയാക്കവും തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസം യഥാക്രമം നിലകളുടെ ഊർജവും കോണീയാക്കവുമായി അപേക്ഷിച്ച് വളരെ വളരെ ചെറുതാണ്. അതിനാൽ പ്രായോഗിക ഉപയോഗങ്ങളിൽ ഈ നിലകളെ തുടർച്ചയായ നിലകളായി പരിഗണിക്കുക.

12.17 ബോർമാതൃകയിലെ സമവാക്യങ്ങളിൽ m_e യ്ക്ക് പകരം m_μ എന്നു മാറ്റേണ്ടതുമാണ്. മറ്റു ഘടകങ്ങൾ സ്ഥിരമായി നിൽക്കുമ്പോൾ, $r \propto (1/m)$ ഉം $E \propto m$ ഉം ആണെന്നു ശ്രദ്ധിക്കുക.

അതിനാൽ,

$$r_\mu = \frac{r_B m_e}{m_\mu} = \frac{0.53 \times 10^{-13}}{207} = 2.56 \times 10^{-13} m$$

$$E_\mu = \frac{E_e m_\mu}{m_e} = (13.6 \times 207)\text{ eV} \cong 2.8\text{ keV}$$

അധ്യായം 13

13.1 (a) 6.941 u (b) 19.9%, 80.1%

13.2 20.18 u

13.3 104.7 MeV

13.4 8.79 MeV, 7.84 MeV

13.5 1.584×10^{25} MeV or 2.535 10^{12} J

13.6 (i) ${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$ (ii) ${}^{242}_{94}Pu \rightarrow {}^{238}_{92}U + {}^{4}_{2}He$

(iii) ${}^{32}_{15}P \rightarrow {}^{32}_{16}S + e^{'+'} + \nu$ (iv) ${}^{210}_{83}B \rightarrow {}^{210}_{84}Po + e^{'+'} + \nu$

(v) ${}^{11}_{6}C \rightarrow {}^{11}_{5}B + e^{'+'} + \nu$ (vi) ${}^{97}_{43}Tc \rightarrow {}^{97}_{42}Mo + e^{'+'} + \nu$

(vii) ${}^{120}_{54}Xe + e^{'+'} \rightarrow {}^{120}_{53}I + \nu$

13.7 (a) 5 T വർഷങ്ങൾ (b) 6.65 T വർഷങ്ങൾ

13.8 4224 വർഷങ്ങൾ

13.9 7.126×10^{-6} g

13.10 7.877×10^{10} Bq അഥവാ 2.13 Ci

13.11 1.23

13.12 (a) Q – 4.93 MeV. E_a – 4.85 MeV (b) Q – 6.41 MeV. E_a – 6.29 MeV

13.13 ${}^{11}_{6}C \rightarrow {}^{11}_{6}B + e^{+} + \nu + Q$

$$Q = [m_N({}^{11}_{6}C) - m_N({}^{11}_{6}B) - m_e]c^2$$

ഇതിൽ ഉപയോഗിച്ച മാസുകൾ ന്യൂക്ലിയസുകളുടേതാണ്, ആറ്റങ്ങളുടേതല്ല. ആറ്റോമിക് മാസ് ഉപയോഗിക്കുകയാണെങ്കിൽ, ^{11}C യുടെ കാര്യത്തിൽ $6m_e$ യും ^{11}B യുടേതിൽ $5m_e$ യും ചേർക്കേണ്ടതുണ്ട്.

അതിനാൽ, $Q = [m({}^{11}_{6}C) - m({}^{11}_{6}B) - 2m_e]c^2$ [m_e ഇരട്ടിയായത് ശ്രദ്ധിച്ചിരിക്കുമല്ലോ]

തന്നിരിക്കുന്ന മാസുകൾ ഉപയോഗിച്ചാൽ, Q – 0.961 MeV.

$Q - E_d \quad E_e \quad E_\nu$

$e^{'}$, ν എന്നിവയുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തുമ്പോൾ വ്യുൽപന്ന ന്യൂക്ലിയസ് (daughter nuleus) വളരെ ഭാരമേറിയതാണ്. അതിനാൽ, അവഗണിക്കത്തക്ക ഊർജമേ അത് വഹിക്കുന്നുള്ളൂ ($E_d \approx 0$). ന്യൂട്രിനോ വഹിക്കുന്ന ഗതികോർജം ഏറ്റവും

കുറവാണെങ്കിൽ (പൂജ്യം), പോസിട്രോൺ പരമാവധി ഊർജം വഹിക്കുന്നു, ഇത് പ്രായോഗികമായി ആകെ ഊർജം Q ആണ്; അതിനാൽ പരമാവധി ($E_e \approx Q$).

13.14 $^{23}_{10}Ne \rightarrow ^{23}_{11}Na + e^- + \nu + Q$; $Q = [m_N(^{23}_{10}Ne) - m_N(^{23}_{11}Na) - m_e]c^2$. പരിശീലനപ്രശ്നം 13.13 ലേതുപോലെ, ഇതിൽ ഉപയോഗിച്ച മാസുകൾ ന്യൂക്ലിയസുകളുടേതാണ്, ആറ്റങ്ങളുടേതല്ല. ആറ്റങ്ങളുടെ മാസുകൾ ഉപയോഗിച്ചാൽ, $Q = [m(^{23}_{10}Ne) - m(^{23}_{11}Na)]c^2$. ഇവിടെ m_e റദ്ദാക്കപ്പെടുന്നു. തന്നിരിക്കുന്ന മാസുകൾ ഉപയോഗിച്ചാൽ, Q = 4.37 MeV. 13.13 ലേതുപോലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ പരമാവധി ഗതികോർജം (പരമാവധി E_e) = Q = 4.37 MeV

13.15 (i) Q = –4.03 MeV; താപശോഷകം

(ii) Q = 4.62 MeV; താപമോചകം

13.16 $Q = m(^{56}_{26}Fe) - 2m(^{30}_{13}Al) = 26.90$ MeV; സാധ്യമല്ല

13.17 4.536×10^{26} MeV

13.18 ഒരു ഗ്രാം $^{238}_{92}U$ ൽ നിന്ന് ഉണ്ടാകുന്ന ഊർജം $\frac{(6 \times 10^{23} \times 200 \times 1.6 \times 10^{-13})}{235}$ = Jg^{-1}. 5 വർഷത്തിൽ 80% യഥാസമയം ഉപയോഗിക്കപ്പെടുന്ന $^{238}_{92}U$ ന്റെ അളവ് = $\frac{(5 \times 0.8 \times 3.154 \times 10^{16} \times 235)}{(1.2 \times 1.6 \times 10^{17})}$ g = 1544 kg. $^{238}_{92}U$ ന്റെ തുടക്ക അളവ് = 3088 kg

13.19 ഏകദേശം 4.9 10 y

13.20 360 KeV

13.22 പൂർത്തിയാക്കപ്പെടുന്ന പ്രക്രിയകൾ പരിഗണിക്കുക.

$^A_Z X \rightarrow {}_Z{}^A_1 Y + \nu_e + Q_1$ (പോസിട്രോൺ പിടിച്ചെടുക്കൽ)

$e^- + ^A_Z X \rightarrow {}_{Z-1}{}^A_1 Y + \nu_e + Q_2$ (ഇലക്ട്രോൺ പിടിച്ചെടുക്കൽ)

$= Q_1 = [m_N(^A_Z X) - m_N({}_Z{}^A_1 Y) - m_e]c^2$

$= [m(^A_Z X) - Zm_e - m({}_Z{}^A_1 Y) - (Z-1)m_e - m_e]c^2$

$= [m(^A_Z X) - m({}_Z{}^A_1 Y) - 2m_e]c^2$

$Q_2 = [m_N(^A_Z X) + m_e - m_N({}_{Z-1}{}^A_1 Y)]c^2 = [m(^A_Z X) - m({}_{Z-1}{}^A_1 Y)]c^2$

ഇതിനർത്ഥം $Q_1 > 0$ സൂചിപ്പിക്കുന്നത് $Q_2 > 0$. എന്നാൽ $Q_2 > 0$ എന്നത് $Q_1 > 0$ എന്ന് അർത്ഥമാക്കണമെന്നില്ല.

13.23 $^{25}_{12}Mg : 9.3\%$, $^{26}_{12}Mg : 11.7\%$

13.24 $^{A}_{Z}X$ എന്ന ന്യൂക്ലിയസിന്റെ ന്യൂട്രോൺ വേർതിരിക്കൽ ഊർജം

$$S_n = |m_N(^{A-1}_{Z}X) + m_n - m_N(^{A}_{Z}X)|c^2$$

തന്നിരിക്കുന്ന ഡാറ്റ അനുസരിച്ച്

$$S_n(^{41}_{20}Ca) = 8.36\ MeV,\ S_n(^{27}_{13}Al) = 13.06\ MeV$$

13.25 209 d

13.26 $^{14}_{6}C$ പുറന്തള്ളലിന് $Q = |m_N(^{223}_{88}Ra) - m_N(^{209}_{82}Pb) - m_N(^{14}_{6}C)|c^2$

$= [m(^{223}_{88}Ra) - m(^{209}_{82}Pb) - m(^{14}_{6}C)]c^2 = 31.85$ MeV

$^{4}_{2}He$ പുറന്തള്ളലിന്, $Q = |m(^{223}_{88}Ra) - m(^{219}_{86}Rn) - m(^{4}_{2}He)|c^2 = 5.98$ MeV

13.27 $Q = [m(^{238}_{92}U) + m_n - m(^{140}_{58}Ce) - m(^{99}_{44}Ru)]c^2 = 231.1$ MeV

13.28 (a) $Q = [m(^{2}_{1}H) + - m(^{3}_{1}H) - m(^{4}_{2}He) - m_n]c^2 = 17.59$ MeV

(b) കൂളോം വികർഷണം അതിജീവിക്കുന്നതിനുള്ള ഗതികോർജം

$= 480.0$ keV

480.0 KeV $= 7.68 \times 10^{-14}$ J $= 3kT$

$$T = \frac{(7.68 \times 10^{-14})}{(3 \times 1.381 \times 10^{-23})}$$. ($k = 1.381 \times 10^{-23}$ J K^{-1} ആയതിനാൽ)

$= 1.85 \times 10^{9}$ K (ആവശ്യമായ താപനില)

13.29 $K_{max}(\beta^-_1) = 0.284\ MeV,\ K_{max}(\beta^-_2) = 0.960\ MeV$

$\nu(\gamma_1) = 2.627 \times 10^{20}$ Hz, $\nu(\gamma_2) = 0.995 \times 10^{20}$ Hz, $\nu(\gamma_3) = 1.632 \times 10^{20}$ Hz

13.30 (a) സൂര്യന്റെ ഉൾഭാഗത്ത് നാല് $^{1}_{1}H$ ന്യൂക്ലിയസുകൾ കൂടിച്ചേർന്ന് ഒരു $^{4}_{2}He$ ഉണ്ടാവുകയും, ഓരോ കൂടിച്ചേരലിനും 26 MeV ഊർജം പുറത്തുവിടുകയും ചെയ്യുന്നു. 1kg ഹൈഡ്രജൻ ഫ്യൂഷനു വിധേയമാകുമ്പോൾ പുറത്തുവിടുന്ന ഊർജം $= -39 \times 10^{26}$ MeV

(b) 1kg $^{235}_{92}U$ ന്റെ ഫിഷൻ നടക്കുമ്പോൾ പുറത്തിവിടുന്ന ഊർജം

$= 5.1 \times 10^{26}$ MeV

1 kg ഹൈഡ്രജന്റെ ഫ്യൂഷൻ നടക്കുമ്പോൾ പുറത്തുവിടുന്ന ഊർജം 1 kg യുറേനിയത്തിന്റെ ഫിഷൻ വഴിയുണ്ടാകുന്ന ഊർജത്തിന്റെ 8 മടങ്ങാണ്.

13.31 3.076×10^{4} kg

അധ്യായം 14

14.1 (c)

14.2 (d)

14.3 (c)

14.4 (c)

14.5 (c)

14.6 (b), (c)

14.7 (c)

14.8 അർദ്ധതരംഗങ്ങൾക്ക് 50Hz ഉം പൂർണതരംഗങ്ങൾക്ക് 100Hz ഉം

14.9 $V_1 = 0.01V$, $I_0 = 10\mu A$

14.10 ഇല്ല (hν വിന്റെ വില E_g യേക്കാൾ കൂടുതലാകണം)

14.11 $n_e = 4.95 \times 10^{22}$, $n_h = 4.75 \times 10^{9}$

$n_e >> n_h$ ആയതിനാൽ n തരം

ചാർജ് നിർവ്വീര്യതക്കായി

$N_D - N_A = n_e - n_h$; $n_e . n_h = n_i^2$

ഈ സമവാക്യങ്ങളെ ലഘൂകരിച്ചാൽ

$$n_e = \frac{1}{2}(N_D - N_A) + \sqrt{(N_D - N_A)^2 + 4ni^2}$$

14.12 ഏകദേശം 1×10^5

14.13 (a) 0.0629A (b) 2.97A (c) 0.336Ω

14.14 രണ്ട് വോൾട്ടതകൾക്കും കറന്റ് I ഏകദേശം, I_0 യ്ക്ക് തുല്യമാണ്. ഇത് റിവേഴ്സ് ബയാസിലെ അനന്തമായ ഡൈനാമിക് പ്രതിരോധത്തെ കാണിക്കുന്നു.

14.15 NOT

14.16 (a) AND (b) OR

14.17 OR ഗേറ്റ്

14.18 (a) NOT (b) AND

14.19 2V

അധ്യായം 15

15.1 (b) 10 kHz പ്രസരണം ചെയ്യാൻ സാധിക്കില്ല. (ആന്റിനയുടെ വലുപ്പം), 1 GHz ഉം 1000 GHz ഉം തുളഞ്ഞു കയറി പോകുന്നു.

15.2 പട്ടിക 15.2 കാണുക

15.3 (c) ദശാംശ സമ്പ്രദായം തുർച്ചയായുള്ള വിലകൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

15.4 ഇല്ല, സർവീസ് ഏരിയ $A = \pi d_s^2 = \frac{22}{7} \times 162 \times 6.4 \times 10^6 = 3258\ km^2$

15.5 $\mu = 0.75 = \frac{A_m}{A_c}$

$A_m = 0.75 \times 12 = 9V$

15.6 (a)

(b) $\mu = 0.5$

15.7 $(A_c + A_m \sin \omega_m t) \cos \omega_c t$ എന്ന സമവാക്യം AM അംഗത്തെ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നതിനാൽ പരമാവധി ആയതി $M_1 = A_c + A_m$ എന്നും ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ആയതി $M_2 = A_c - A_m$ എന്നും കണക്കാക്കാം. അതിനാൽ മോഡുലേഷൻ സൂചിക,

$m = \frac{A_m}{A_c} = \frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2} = \frac{8}{12} = \frac{2}{3}$ $M_2 = 0$ ആയാൽ M_1 ന്റെ വിലയെ ആശ്രയിക്കാതെ $m = 1$ ആയിരിക്കും.

15.8 ലളിതമായി പറഞ്ഞാൽ സ്വീകരിക്കപ്പെട്ട സിഗ്നൽ $A_1 \cos (\omega_c - \omega_m)t$ ആണെന്നിരിക്കട്ടെ. $A_c \cos \omega_c t$ എന്ന വാഹക തരംഗം സ്വീകരണ സ്റ്റേഷനിൽ (receiving station) ലഭ്യമാണ്. ഈ രണ്ടു സിഗ്നലുകളെയും പരസ്പരം ഗുണനം ചെയ്യുമ്പോൾ $A_1 A_c \cos (\omega_c + \omega_m)t$ എന്നു ലഭിക്കുന്നു.

$A_1 A_c \cos (\omega_c - \omega_m) t = \frac{A_1 A_c}{2} [\cos(2\omega_c + \omega_m)t + \cos \omega_m t]$ ഈ സിഗ്നലിനെ ഒരു ലോ- പാസ് ഫിൽറ്ററിലൂടെ കടത്തിവിട്ടാൽ $\frac{A_1 A_c}{2} \cos \omega_m t$ എന്ന മോഡുലേറ്റ് ചെയ്യപ്പെടുന്ന തരംഗത്തെ ലഭിക്കും.