

Հ.Ս. ԿԱՐԱՅԱՆ

ՖԻԶԻԿԱ

Ավագ դպրոցի հումանիտար հոսքի համար

11-րդ դասարան



ԵՐԵՎԱՆ
«ԱՍՏՂԻԿ ԳՐԱՏՈՒՆ»
ՀՐԱՏԱՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ
2011

**ՀԱՍՏԱՏՎԱԾ Է ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ
ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅԱՆ ԿՈՂՄԻՑ**

ՀՏԳ 373.167.1:53(075.3)

ԳՄԳ 22.3Գ72

Կ 292

Կարայան Հ.Ս.

Կ 292 Ֆիզիկա 11: Գ-ասագիրք ավագ դպրոցի հումանիտար հոսքի համար / Հ.Ս. Կարայան.–Եր.: «Աստղիկ գրատուն» հրատ., 2011.–176 էջ:

ՀՏԳ 373.167.1:53(075.3)

ԳՄԳ 22.3Գ72

ISBN 978-99941-76-81-6

© «Աստղիկ գրատուն» հրատարակչություն, 2011

ՆԱԽԱԲԱՆ

Սույն դասագիրքը պարունակում է ավագ դպրոցի հումանիտար հոսքի 11-րդ դասարանի ֆիզիկայի դասընթացը և հանդիսանում է 10-րդ դասարանի ֆիզիկայի դասընթացի շարունակությունը: Ուստիև բաժինները, գլուխներն ու պարագրաֆները համարակալված են որպես «Ֆիզիկա-10»-ի շարունակություն, հատկապես որ ըստ հանձնարարված ծրագրի էլեկտրադինամիկան բաշխված է երկու դասարանների միջև:

«Ֆիզիկա-10»-ում ներառված նյութերը ներկայացված են այնպես, որպեսզի աշակերտը ոչ միայն գիտելիք ձեռք բերի նյութի վերաբերյալ, այլև հասկանա, յուրացնի, հմտանա և ունակ դառնա մատուցված գիտելիքներն ու դրանց ստացման եղանակները կիրառել ցանկացած այլ ոլորտում: Մասնավորապես, աշակերտին մատուցել ենք, թե ինչ դատողություններով և ինչպե՞ս են ուսումնասիրվում բնությունը և նրանում ընթացող երևույթները, ինչպե՞ս դիտել երևույթներն ու գտնել նրանց օրինաչափությունները, ինչպե՞ս և ի՞նչ մեծություններով դիտածը նկարագրել, ինչպե՞ս և ի՞նչ միջոցներով ֆիզիկական մեծություններ չափել, ինչպես կատարել գիտափորձեր և անել եզրահանգումներ, դրանց հիման վրա ի՞նչ դատողություններով և ինչպե՞ս կառուցել տեսություն և այլն: Դա մեթոդական ու մտածելակերպային լրիվ ամբողջություն է:

Ինչպես և «Ֆիզիկա-10»-ում, այս գրքում ևս ամեն դասի նյութը շարադրելիս ձգտել ենք նաև աշակերտին ծանոթացնել նոր փորձարարական կամ հաշվողական եղանակի, տեսական դատողության, մտածողության ու մեկնաբանության ձևերի հետ: Ինչպես «Ֆիզիկա-10»-ում, այստեղ ևս ֆիզիկայով ավելի շատ հետաքրքրվողներին օգնել-աջակցելու նպատակներով շարադրված են լրացուցիչ կամ խորացված որոշ նյութեր, որոնք առանձնացված են շեղ տառատեսակով, սկսվում և վերջանում են ուղղանկյուն նշանով, կամ էլ տարբերանշված են աստղանիշով:

Հաշվի առնելով, որ հումանիտար հոսքի աշակերտների համար ֆիզիկայի սույն դասընթացը վերջինն է, դասագրքում ընդգրկված է նաև գիտության արդի նվաճումների և Տիեզերքի ստեղծման մասին հակիրճ ակնարկ:

Հուսանք այն օգտակար կլինի սովորողի համար:

Քլուխ 9.

ԷԼԵԿՏՐԱԳԻՆԱՄԻԿԱ (շարունակություն)

§30. Էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթը

10-րդ դասարանում ծանոթացանք էլեկտրաստատիկայի և մագնիսատատիկայի տարրերին, երբ դաշտերը ստացիոնար էին՝ կախված չէին ժամանակից: Ուստի այժմ ծանոթանանք փոփոխական դաշտերի երևույթներին: Կա ևս մեկ պատճառ դիտարկելու փոփոխական դաշտերը: Ինչպես գիտենք, էլեկտրական դաշտն առաջացնում է հոսանք, որն էլ իր հերթին՝ մագնիսական դաշտ: Այսինքն, էլեկտրական դաշտն առաջացնում է մագնիսական դաշտ: Հարց է ծագում. իսկ մագնիսական դաշտը կարո՞ղ է առաջացնել էլեկտրական դաշտ: Հարցի դրական պատասխանի համար կա երկու հանգամանք: Էլեկտրական ու մագնիսական դաշտերի գաղափարը հարաբերական է. լիցքն իրեն նկատմամբ անշարժ հաշվարկի համակարգում ստեղծում է միայն էլեկտրական դաշտ, իսկ շարժականի նկատմամբ՝ նաև մագնիսական դաշտ: Մյուս կողմից, հոսանքի աղբյուր ստանալու համար պետք են կողմնակի ուժեր և մրրիկային դաշտ: Մագնիսական դաշտը մրրիկային է և կողմնակի ուժերի առկայությամբ պետք է որ ձևավորի ԷԼՇՈՒ, ուստիև էլեկտրական դաշտ: 1831 թ. անգլիացի նշանավոր ֆիզիկոս Մ. Ֆարադեյը հայտնաբերել է էլեկտրամագնիսական ինդուկցիայի՝ մակածման օրենքը և հարցին տվել դրական պատասխան:

Նա հաղորդիչ կոճի ծայրերն իրար միացրեց ամպերմետրով և կոճի մեջ տեղադրեց հաստատուն մագնիս: Անկախ կոճի գալարների թվից, մագնիսի ինդուկցիայի մեծությունից և մտցված բևեռից, հոսանք չդիտվեց: Միայն մտցնելիս և հանելիս ամպերմետրի սլաքը շեղվում էր հակառակ ուղղություններով: Սակայն Ֆարադեյի հետաքրքիր փորձաշարը շրջանցենք ու ևս մի անգամ ցույց տանք, թե ի՞նչ դատողություններով և ինչպե՞ս է կարելի իրականացնել փորձեր:

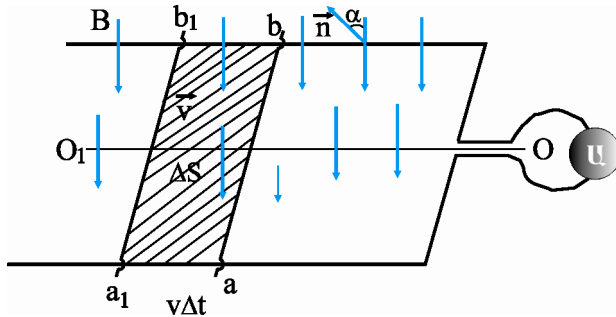
Այդ նպատակով պետք է նախ որոշել հետագուովող երևույթը նկարագրող մեծությունները, հետո մշակել դրանք փոփոխելու և չափելու եղանակները, ի վերջո, կազմել փորձի սխեման, կատարել չափումներ ու եզրահանգումներ:



Որպեսզի սրանանք էլեկտրական հոսանք, պետք է ունենալ փակ շղթա, օրինակ, հաղորդիչ հարթ շրջանակ: Պարզության համար փորձում մագնիսական ինդուկցիան կվերցնենք համասեռ, ուստի կարևոր է շրջանակի S մակերեսը և ոչ ճրա չը: Դա հեղափոխում նաև փորձով կատարվենք:

Բնականաբար հիմնական դերակարարումը մագնիսական ինդուկցիայի \vec{B} վեկտորինն է և ճրա ու շրջանակի փոխադարձ դասավորությանը: Դա նկարագրվում է \vec{B} վեկտորի և S մակերևույթին ուղղահայաց ուղղության՝ նորմալի հետ կազմած α անկյունով: Փորձի համար պետք է սպասողիվ \vec{B} , α և S մեծությունների առանձին-առանձին ու նաև միաժամանակյա փոփոխման հնարավորություն: Դա իրականացնենք նկ. 1-ում բերված սխեմայով: Վերցնենք \vec{B} -ն ուղղահայաց շրջանակի հարթությանը և փոփոխենք ճրա B մոդուլը՝ հասարարուն պահելով α -ն և S -ը: Կրեսնենք, որ շղթայով հոսանք է անցնում: Իսկ եթե ամպերամետրի փոխարեն վոլտմետր դնենք և չափենք \mathcal{E} ԷԼՇՈՒ-ն, կրեսնենք, որ այն համեմատական է B -ի փոփոխման արագությանը.

$$\mathcal{E} \sim \frac{\Delta B}{\Delta t} : \tag{1}$$



Նկար 1

Եթե վերցնենք \vec{B} -ն զուգահեռ շրջանակի հարթությանը, այս ԷԼՇՈՒ չի մակածվի: Դա նշանակում է, որ ԷԼՇՈՒ մակածում է միայն $B_{\perp} = B \cos \alpha$ բաղադրիչը (նկ. 2): Հասարարուն պահելով \vec{B} -ն և S -ը՝ շրջանակը պտտենք

OO_1 առանցքի շուրջը փարբեր $\omega = \Delta\alpha / \Delta t$ անկյունային արագություններով:
Կրեակներ, որ

$$\mathcal{E} \sim \omega = \Delta\alpha / \Delta t: \tag{2}$$

Հասարարուն պահենք \vec{B} -ն և α -ն և ab չողը v հասարարուն արագությամբ շարժենք, կրեակներ, որ

$$\mathcal{E} \sim \Delta S = l v \Delta t: \tag{3}$$

Այնուհետև \vec{B} , α և S մեծությունները միաժամանակ փոփոխենք ու չափենք \mathcal{E} -ը, բոլոր չափումները կրկնենք նաև էլեկտրամագնիսով (համոզվելու համար, որ մակածողը \vec{B} -ն է, այլ ոչ անժամանօ մի բան), կեզրակացնենք, որ

$$\mathcal{E} \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \tag{4}$$

որրեղ Φ -ն կոչվում է \vec{B} ինդուկցիայի հոսք S մակերեսի միջով.

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

$$\Delta\Phi = \Delta B \cdot S \cos \alpha + B \cdot \Delta S \cdot \cos \alpha + BS \cdot \Delta(\cos \alpha): \tag{5}$$

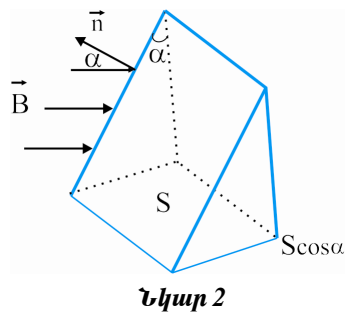
Φ հոսքի ֆիզիկական իմաստը S մակերեսով անցնող ինդուկցիայի ուժագծերի քանակն է, իսկ միավորը $U\mathcal{Z}$ -ում վերերն է (Վբ.): 1 Վբ-ն այն հոսքն է, որն առաջացնում է $1S$ ինդուկցիան իրեն ուղղահայաց $1\mathcal{Z}^2$ մակերեսի միջով:

(4)-ում համեմարականության $k_{\mathcal{E}}$ գործակցի միջոցով անցնենք հավասարման (ինչպես վարվել ենք մեխանիկայում), կարանանք.

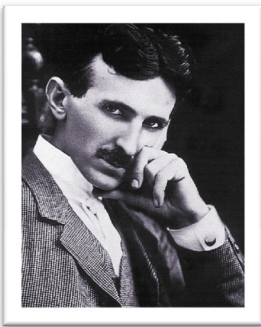
$$\mathcal{E} = k_{\mathcal{E}} \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}: \tag{6}$$

Փորձի արդյունքը կախված չէ րեղից, ժամանակից կամ այլ մասնավորեցնող պայմանից, ուարի (6)-ում համեմարականության $k_{\mathcal{E}}$ գործակցից ունիվերսալ հասարարուն է և պերքէ այն չափել, քանի որ (6)-ում և (6)-ում բոլոր մեծությունները չափվող են: Չափումները ցույց են րալիս, որ $k_{\mathcal{E}} = -1$, ուարի (6)-ի վերջնական րեսքը կլինի.

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}: \tag{7}$$



(7)-ում (–) նշանն արտահայտում է **Լենցի կանոնը**. **Փակ կոնտուրում մակաձված հոսանքի ուղղությունն այնպիսին է, որ նրա առաջացրած մագնիսական դաշտի հոսքի փոփոխությունը հակադրվում է մակաձող դաշտի հոսքի փոփոխությանը**: Լենցի կանոնն էներգիայի պահպանման օրենքի դրսևորում է, քանի որ եթե մակաձող և մակաձված հոսքերի փոփոխությունները նույն նշանն ունենան, ապա գումարային հոսքը ավելի արագ կփոփոխվի՝ ավելի մեծացնելով մակաձվող *ԷլՇՈՒ-ն*: Եվ անընդհատ այդ պրոցեսը կշարունակվի, ինչը, հասկանալի է, անիմաստ է: Լենցի կանոնը կարելի է փորձով ուղղակի ստանալ: Էլեկտրամագնիսական մակաձման երևույթը և Լենցի կանոնը պարունակում են երեք նոր ու կարևոր փաստ: Նախ, փակ կոնտուրում մագնիսական դաշտի գումարային հոսքը ձգտում է չփոփոխվել, չեզոք՝ իներտ մնալ, այսինքն, **մագնիսական դաշտն օժտված է իներտ զանգվածով**: Երկրորդ, **փոփոխական մագնիսական դաշտի մակաձած էլեկտրական դաշտը ոչ պոտենցիալ է, մրրկային է**: Իրոք, եթե փակ հետագծով միավոր լիցքը տեղափոխենք, ապա կկատարվի *ԷլՇՈՒ-ին* հավասար ոչ զրոյական աշխատանք: Երրորդ, մակաձված ԷլՇՈՒ-ն պայմանավորված չէ լիցքերի տարանջատումով մագնիսական դաշտի ազդեցությամբ, քանի որ մագնիսական դաշտն ազդում է միայն շարժվող (ուղղորդված) լիցքի վրա: Եվ Մաքսվելը վարկածեց, որ **փոփոխական մագնիսական դաշտը մակաձում է մրրկային էլեկտրական դաշտ նաև առանց հաղորդիչ կոնտուրի**, որն էլ ծնում է ԷլՇՈՒ:



Տեալա Նիկոլա (1856 - 1943)

Ֆիզիկոս, ինժեներ, գյուտարար էլեկտրատեխնիկայի և ռադիոտեխնիկայի ոլորտներում: Լայն ճանաչում է ստացել էլեկտրաէներգիայի և մագնետիզմի հատկությունների ուսումնասիրման մեջ գիտահեղափոխական ներդրում ունենալու շնորհիվ:

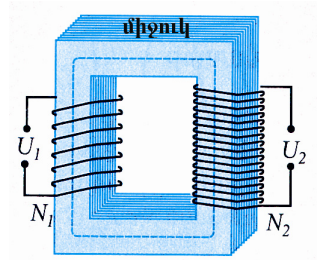
Այսպիսով, մագնիսական դաշտն ունի ԷլՇՈՒ ծնելու երկու ուղի: Առաջինը, եթե \vec{B} (հաստատուն) դաշտում հաղորդիչը v արագությամբ շարժենք, ապա Լորենցի ուժի ազդեցությամբ լիցքերը կտարանջատվեն և կկուտակվեն հաղորդիչի հակադիր ծայրերում: Դա կատարվում է ի հաշիվ հաղորդիչը շարժող կողմնակի ուժերի, իսկ մրրկայնությունը ապահովում է Լորենցի ուժը: Երկրորդը, էլեկտրամագնիսական

մակածմամբ փոփոխական մագնիսական դաշտի ծնած մրրիկային էլեկտրական դաշտն է առաջացնում: Այս դեպքում մագնիսական դաշտի էներգիան է փոխակերպվում էլեկտրական դաշտի էներգիայի: Եվ առաջին անգամ հանդիպում ենք **մագնիսական և էլեկտրական դաշտերի բացահայտ քանակական կապին**, որը սաղմնավորում է մի դրույթ, ըստ որի **բնության մեջ գործում է էլեկտրամագնիսական փոխազդեցություն**: Այդ դրույթը վերջնատեսքի կրեթենք հաջորդ պարագրաֆում:

Ֆարադեյի էլեկտրամագնիսական ինդուկցիայի օրենքում (7) բանաձևում, հաղորդիչ կոնտուրի համար միևնույն է, թե ի՞նչ պատճառով առաջացավ իր մեջ մագնիսական ինդուկցիայի հոսքի փոփոխություն: Ուստի փոփոխվող I հոսանքն իր իսկ կոնտուրում կծնի փոփոխական $B \sim I$ ինդուկցիա, որն էլ այդ կոնտուրում կառաջացնի $\Phi \sim B \sim I$ հոսքի փոփոխություն՝ մակածելով \mathcal{E}_p էլՇՈՒ: Ինքն իր մեջ մակածելու երևույթն անվանում են **ինքնամակածում՝ ինքնինդուկցիա**: Ըստ (7)-ի ինքնինդուկցիայի էլՇՈՒ-ի համար ունենք.

$$\mathcal{E}_p = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}, \tag{8}$$

որտեղ L -ը բնութագրում է կոնտուրը կամ կոճը՝ բաղկացած իրար հաջորդաբար միացված գալարներից: L -ը կոչվում է **ինդուկտիվություն**, որի միավորը ՄՀ-ում **հենրի**ն է՝ 1 Հն այն կոճի ինդուկտիվությունն է, որում 1 վ-ում 1 Ա հոսանքի փոփոխությունը մակածում է 1 Վ էլՇՈՒ: Եթե վերցնենք երկար կոճ, որպեսզի ծայրերի ազդե-



Նկար 3

ցությունն արհամարհենք, ապա դաշտը նրա մեջ կլինի համասեռ (նկ. 3): Այդպիսի կոճը կոչվում է **սոլենոիդ**, իսկ դաշտը՝ **սոլենոիդական**: Մեխանիկայում և էլեկտրաստատիկայում սովորած եղանակի նմանությամբ հաշվելով կոճի W էներգիան և մագնիսական դաշտի միավոր ծավալի w էներգիան (էներգիայի խտությունը)՝ կստանանք.

$$W = \frac{LI^2}{2}, \quad w = \frac{\mu\mu_0 B^2}{2}. \tag{9}$$

(8) բանաձևում (–) նշանը պնդում է, որ ինքնինդուկցիայի հոսանքը խոչընդոտում է կոճում հոսանքի փոփոխությանը, որը L ենցի կանոնն է այս դեպքում: Այս պատճառով շղթան փակելիս հոսանքը կտրուկ չի աճում և անջատելիս էլ կտրուկ չի նվազում, որը վկայում է մագնիսական դաշտի իներտության մասին:

Անդրադառնանք նկ. 1-ին: Հաստատուն պահելով \vec{B} -ն և S -ը՝ հաստատուն ω արագությամբ պտտենք շրջանակը: Ըստ (7)-ի, նրա ծայրերում կմակածվի էլՇՈՒ.

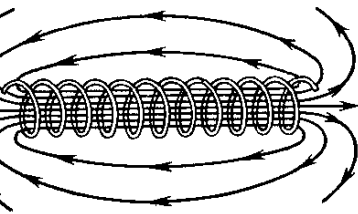
$$\mathcal{E}(t) = BS \sin(\omega t + \alpha_0) \equiv \mathcal{E}_0 \sin(\omega t + \alpha_0), \quad (10)$$

որտեղ \mathcal{E}_0 -ն մակաձված էլՇՈՒ-ի առավելագույն արժեքն է՝ լայնույթը, իսկ α_0 -ն սկզբնական փուլն է, որը համարենք 0:

(10) բանաձևի իմաստն այն է, որ պտտելու վրա ծախսված էներգիան վերածվել է սինուսոիդական փոփոխական էլՇՈՒ-ի: Շրջանակի շղթան R դիմադրությամբ փակենք, ըստ Օհմի օրենքի շղթայում $I(t)$ հոսանքը և R -ի վրա $U(t)$ լարման անկումը կլինեն.

$$I(t) = I_0 \sin \omega t, \quad U(t) = U_0 \sin \omega t, \quad I_0 = \mathcal{E}_0/R: \quad (11)$$

Այսպիսով, ստացանք **փոփոխական հոսանքի գեներատոր**: Այս սարքը հակադարձելի է. եթե շրջանակով հոսանք անցկացնենք, ապա այն կպտտվի, այսինքն, կստանանք **էլեկտրաշարժիչ**, որն էլեկտրական հոսանքով կատարում է աշխատանք: Բացի այդ, դիտարկված երևույթներն օգտագործվում են էլեկտրական էներգիան շահագործելիս: Ինչպես գիտենք, հոսանքը հաղորդալարում անջատում է ջուլյան ջերմություն, որը տրված հզորության դեպքում այնքան փոքր է, որքան փոքր է հոսանքը: Ուստի ձեռնտու է մեծ հեռավորությունների վրա էլեկտրաէներգիա հաղորդելը բարձր լարման տակ: Դա իրականացվում է **տրանսֆորմատորով** (նկ. 4), որն էլեկտրական լարման արժեքը մեծացնում է կամ փոքրացնում՝ պահպանելով հաճախությունը: Պողպատե միջուկը ապահովում է մագնիսական հոսքի փոփոխման թափանցումը փաթույթների N_1 և N_2 բոլոր գալարները հավասարապես: Եթե հոսքի փոփոխությունը մի գալարում մակաձում է e_1 էլՇՈՒ ըստ (7) օրենքի, ապա փաթույթներում կմակաձի էլՇՈՒ-ներ՝



Նկար 4

$\mathcal{E}_1 = -N_1 e_1, \quad \mathcal{E}_2 = -N_2 e_2, \quad \mathcal{E}_1/\mathcal{E}_2 = N_1/N_2 = k, \quad (12)$

որտեղ k -ն կոչվում է տրանսֆորմացիայի գործակից: Եթե $k < 1$, ապա $\mathcal{E}_2 > \mathcal{E}_1$ և տրանսֆորմատորը կոչվում է բարձրացնող՝ ելքի լարումը k անգամ մեծ է մուտքի լարումից, իսկ եթե $k > 1$, տրանսֆորմատորը ցածրացնող է: Տրանսֆորմատորները մուտքային՝ առաջնային փաթույթին տրված $U_1 I_1$ հզորությունը գրեթե ամբողջովին հաղորդում են ելքային՝ երկրորդային փաթույթին՝

$$U_1 I_1 = U_2 I_2: \quad (13)$$

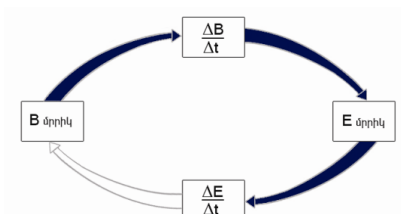
Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք, թե ինչ են մագնիսական դաշտի հոսքը, էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթը, Լենցի կանոնը, մրրկային էլեկտրական դաշտը, ինքնամակածման երևույթը, ինդուկտիվությունը, փոփոխական հոսանքը, տրանսֆորմատորը, հոսանքի գեներատորն ու էլեկտրաշարժիչը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՛ք մագնիսական դաշտի հոսքը, էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթը, Լենցի կանոնը, մրրիկային էլեկտրական դաշտը, ինքնամակածման երևույթը, ինդուկտիվությունը, փոփոխական հոսանքը, հոսանքի գեներատորի, էլեկտրաշարժիչի և տրանսֆորմատորի աշխատանքի սկզբունքը:
- 2*. **Խմբային հանձնարարություն:** Գտե՛ք և կազմե՛ք մեխանիկական, էլեկտրական և մագնիսական մեծությունների և օրենքների միջև մասնությունները ու տարբերությունները ներկայացնող աղյուսակ:

§31. Էլեկտրամագնիսական դաշտը: Էլեկտրամագնիսական ալիքները



Նկար 1

Անգլիացի հանճարեղ ֆիզիկոս Ջ.Մաքսվելը վերլուծեց ու համակարգեց էլեկտրական և մագնիսական երևույթների վերաբերյալ կուտակված փաստերն ու օրենքները և 1862 թ. կառուցեց էլեկտրադինամիկայի տեսությունը: Վերլուծությունը նրան հանգեցրեց որոշ հարցերի: Նախ, փորձը վկայում է, որ հաստատուն

հոսանքը կոնդենսատորով չի անցնում, փոփոխականն՝ անցնում է: Հաստատուն հոսանքը հաղորդում են հաղորդիչ միջավայրի լիցքակիրներն իրենց ուղղորդված շարժմամբ և կոչվում է **հաղորդման հոսանք**: Դատարկությունում կոնդենսատորի շրջադիրների միջև չկան շարժվող լիցքակիրներ, ուստի հաղորդման հոսանք լինել չի կարող, բայց եթե նրանով հոսանք է անցնում, ապա դա հաղորդման հոսանք չէ,

իսկ ի՞նչ է: Հետո, միևնույն լիցքը, միջավայրում թե վակուումում, հաշվարկման տարբեր համակարգերում տարբեր էլեկտրական ու մագնիսական դաշտեր է ստեղծում, որը մատնանշում է նրանց միջև կապը: Սակայն դրանցից մեկը պոտենցիալ դաշտ է, մյուսը՝ մրրիկային, ուստի հարց է ծագում, թե ի՞նչ երևույթի շնորհիվ է իրականանում այդ կապը: Ի վերջո, ըստ հայտնաբերված օրենքների, եթե վակուումում առաջանա մագնիսական դաշտի մրրիկ, ապա դա կծնի դաշտի ժամանակային փոփոխություն: Դա իր հերթին էլեկտրամագնիսական ինդուկցիայով կծնի էլեկտրական դաշտի մրրիկ, ուստի էլեկտրական դաշտի ժամանակային փոփոխություն: Երևույթների շղթան այստեղ կտրվում է, ինչպես ցույց է տրված նկ. 1-ում բերված սխեմայում: Մաքսվելը ևս դա նկատեց և հարց բարձրացրեց. ինչո՞ւ պիտի վակուումում անհամաչափություն առաջանա էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի միջև: Այս հարցերին պատասխանելու համար Մաքսվելը առաջ քաշեց վարկած. ***Բնության մեջ գործում է նաև մագնիսաէլեկտրական ինդուկցիան՝ էլեկտրական դաշտի փոփոխությամբ մագնիսական դաշտ մակածելու երևույթը:***

Մագնիսաէլեկտրական ինդուկցիայի երևույթը փակում է նկ. 1-ում բերված սխեման՝ էլեկտրական դաշտի ժամանակային փոփոխությունը նույնացնելով հոսանքի հետ, որին անվանեց **շեղման հոսանք**: Շեղման հոսանքը (որն իր անվանումը ստացել է կոնդենսատորի շրջադիրների պոտենցիալների միմյանց նկատմամբ ունեցած շեղումից) պայմանավորված չէ լիցքերի ուղղորդված շարժմամբ և չի հանդիսանում հաղորդման հոսանք: Հենց այդ պատճառով էլ շեղման հոսանքը, ի տարբերություն հաղորդման հոսանքի, գոյություն ունի **նաև** վակուումում և չհաղորդող (դիէլեկտրական) միջավայրում: Սակայն *Ֆիզիկան փորձի վրա հենված ճշգրիտ քանակական գիրություն է և չի կարող բավարարվել լոկ որակական վարկածով*: Ուստի Մաքսվելը համակարգելով և վերլուծելով բազմաթիվ փորձնական արդյունքներ՝ ստացավ §30-ի (7)-ի նմանակ բանաձևը, որը \vec{E} լարվածության հոսքի փոփոխությունը կապում է \vec{B} -ի մրրիկի հետ: Այդ բանաձևը այստեղ չենք բերի, միայն նշենք, որ Լենցի կանոնն արտահայտող (–) նշանը փոխարինվում է (+) նշանով՝ էներգիայի պահմանման օրենքն ապահովելու համար: Իրոք, եթե երկու դեպքում էլ *նույն նշանը լինի*, ապա նկ. 1-ում բերված սխեմայում մեկ լրիվ ցիկլից հետո կունենանք նույն մեծությունը, բայց մակածված (+) նշանով, այսինքն ինքն իրեն աճ տվող: Էլեկտրամագնիսական ու մագնիսաէլեկտրական ինդուկցիաները մեկը մյուսին ծնելով՝ միշտ միասնական են հանդես գալիս, ուստի միասնաբար պետք է (–) նշան ունենան: Դրա համար նրանց նշանները պետք է հակադիր լինեն: Ի դեպ, այդ (–) նշանն ապահովում է նաև էլեկտրամագնի-

սական փոխազդեցության տարածումը, որը բնության գոյության պայմաններից մեկն է: Շեղման հոսանքի խտությունը ենթարկվում է հետևյալ առնչությանը.

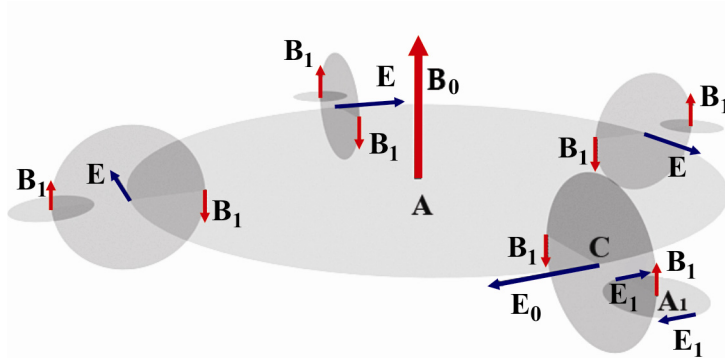
$$j_{շեղմ} \sim \Delta E / \Delta t: \quad (1)$$

Մաքսվելի վարկածը լրացրեց էլեկտրադինամիկայի աքսիոմների համակարգը, որի վրա նրա ստեղծած տեսությունը ժամանակի գերազանց քննություն բռնեց: Այդ տեսության կանխատեսումները և հիմնարար արդյունքները փորձով հաստատվեցին:

1. *Բնության հիմնարար փոխազդեցությունը էլեկտրամագնիսական է, որի մասնակի դրսևորումներից են էլեկտրաստատիկ և մագնիսաստատիկ փոխազդեցությունները:*
2. *Էլեկտրամագնիսական դաշտը մատերիայի իրական ֆիզիկական գոյաչև է և կարող է առանձնացվել իրեն ստեղծողից ու գոյատևել նրանից անկախ՝ ինչպես միջավայրում, այնպես էլ վակուումում:*
3. *Էլեկտրամագնիսական դաշտն ունի իր իմպուլսն ու էներգիան, բայց չունի նյութական զանգված:*
4. *Էլեկտրամագնիսական ալիքը, որպիսին է նաև լույսը, չունի հանգստի վիճակ, այսինքն, չկա այնպիսի համակարգ, որում նրա արագությունը 0 լինի:*

Այս արդյունքները փորձերով խստիվ հաստատվեցին և գործում են առայսօր: 25 տարի հետո Հ. Հերցը ստացավ էլեկտրամագնիսական ալիք, որը կանխատեսել էր Մաքսվելը 1862 թ.: Պ. Լեբեդևիև հաջողվեց չափել լույսի ճնշումը, որը հավաստում է լույսի, ուստի էլեկտրամագնիսական ալիքի իմպուլսի առկայությունը: Ըստ Մաքսվելի տեսության լույսը և էլեկտրամագնիսական ալիքը վակուումում պետք է տարածվեն $c \equiv \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$ արագությամբ: Դա ևս հաստատվեց Մայքելսոնի և ուրիշների բազմաթիվ չափումներով:

Այժմ քննարկենք էլեկտրամագնիսական ալիքի առաջացման երևույթը: Դիցուք տարածության ինչ-որ A կետում առաջացել է \vec{B}_0 ինդուկցիայով մագնիսական դաշտ (նկ. 2):



Նկար 2

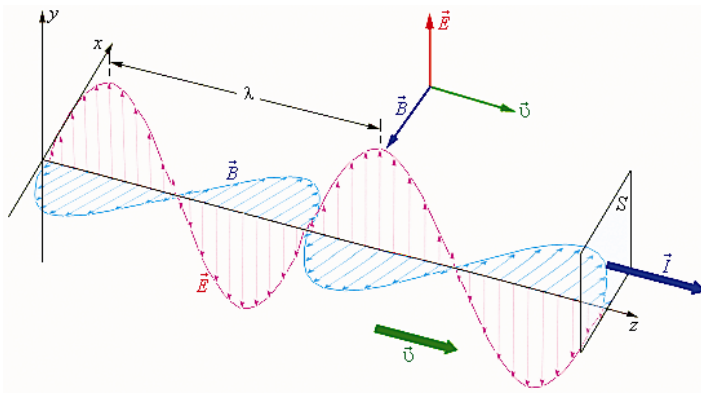
Քանի որ A կետում մագնիսական դաշտ չկար, իսկ հիմա կա, ուրեմն տեղի է ունեցել մագնիսական դաշտի ժամանակային փոփոխություն: Սա մակաժում է \vec{B}_0 -ին ուղղահայաց **մրրկային** էլեկտրական \vec{E}_0 դաշտ, որի ուղղությունն որոշվում է Լենցի կանոնով, ինչպես ցույց է տրված նկ. 2-ում տարածության որևէ C կետի համար: Նման կերպ, C կետում չկար \vec{E}_0 դաշտը, բայց հիմա առաջացավ, ուստի կա $\Delta\vec{E}_0/\Delta t$, հետևաբար ամեն կետում մակաժվում է \vec{E}_0 -ին ուղղահայաց \vec{B}_1 դաշտ, ընդ որում $\vec{B}_1 \parallel (-\vec{B}_0)$ և այնպես, որ բոլոր կետերի \vec{B}_1 -երի հանրագումարը համակշռի \vec{B}_0 -ին: Դրան նման \vec{B}_1 -ը մակաժում է \vec{E}_1 և այդպես շարունակ:

Այսպիսով, էներգիան անցնում է մագնիսական դաշտից էլեկտրական դաշտին, էլեկտրականից էլ՝ մագնիսականին և տարածվում է այդ երկու դաշտերին ուղղահայաց ուղղությամբ: Եթե վերը դիտարկված $(-)$ նշանը չլինի, ապա էներգիան չի տարածվի, նույնիսկ չի էլ անջատվի իր ստեղծողից՝ \vec{B}_0 դաշտից: Քննարկենք այդ հարցը:

Անշարժ լիցքը ստեղծում է միայն էլեկտրաստատիկ դաշտ: Հաստատուն արագությամբ շարժվող լիցքը, այն է՝ հաստատուն հոսանքը, ստեղծում է միայն ժամանակից չկախված՝ մագնիսաստատիկ դաշտ: Էլեկտրադինամիկական մակաժումներից այս դաշտերը չեն մասնակցում: Այլ է պատկերն արագացումով շարժվող լիցքի դեպքում, երբ նրա ստեղծած դաշտերը ժամանակից կախված փոխվում են: Հետևաբար, ըստ վերը շարադրված հաջորդական մակաժումների սխեմայի, կճառագայթվի էլեկտրամագնիսական դաշտ. **արագացումով շարժվող լիցքը ճառագայթում է էլեկտրամագնիսական դաշտ**: Մասնավորապես, եթե լիցքը կատարում է ω ցիկլիկ հաճախությամբ ներդաշնակ տատանում, ապա նրա ճառագայթած դաշտը՝ էլեկտ-

րանագնիսական ալիքը, նույնպես կլինի ներդաշնակ և ω ցիկլիկ հաճախությամբ: Այս դեպքում լիցքը տատանվում է տարածության նույն տիրույթում, իսկ այդտեղ ծնված ալիքը c արագությամբ հեռանում է: Ուստիև այդ ալիքն անջատվում է լիցքից և առանձին գոյատևում անընդհատ շարժման վիճակում, քանի որ անընդհատ շարունակվում են էլեկտրական ու մագնիսական դաշտերի փոխադարձ մակա-ծումները:

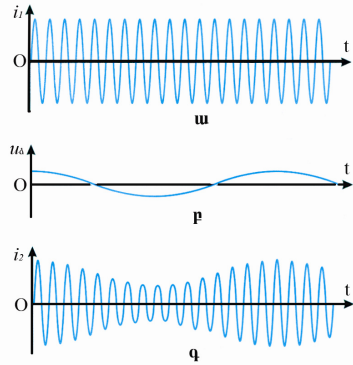
Այս ալիքային պրոցեսը ևս նկարագրվում է այնպես, ինչպես մեխանիկական ալիքներն, այն տարբերությամբ, որ փոխտողահայաց հարթությունների մեջ են տատանվում $\vec{E}(t)$ և $\vec{B}(t)$ վեկտորները: Ընդ որում վազող ալիքի դեպքում դրանք տատանվում են համափուլ, ինչպես պատկերված է նկար 3-ում և միմյանցից $\pi/2$ փուլով շեղված կանգուն ալիքի դեպքում:



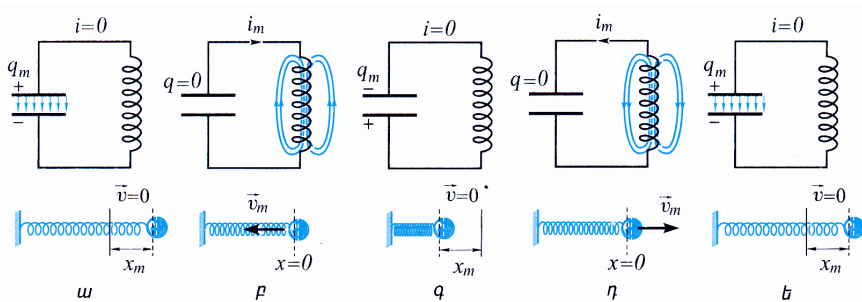
Նկար 3

Դիցուք ներդաշնակ տատանվող լիցքի վրա կիրառվում է մի այլ ազդեցություն: Ըստ այդմ էլ կփոխվի լիցքի շարժման վիճակը՝ ենթարկելով համապատասխան փոփոխության նաև նրա ճառագայթած ալիքը: Այդ դեպքում ալիքը կպարունակի կիրառված ազդեցության մասին ինֆորմացիա: Այս երևույթի միջոցով ստացվում են **մոդուլող սարքեր**, որոնք հաղորդվող (ցածրհաճախային) ազդանշանը խառնում են կրող (բարձրհաճախային) էլեկտրամագնիսական ալիքին, որպեսզի c արագությամբ ուղարկվի մեծ հեռավորության վրա: Ալիքի լայնույթի մոդուլումը բերված է նկ. 4-ում: **Ռադիոհեռուստակապը և համացանցը** իրականացվում են այս երևույթի հիման վրա:

Մեխանիկայի նման այստեղ ևս կան չտարածվող տատանումներ: Դիտարկենք նկ. 5-ում բերված սխեման: Եթե C կոնդենսատորը լիցքավորենք q_m լիցքով (նկ. 5ա), ապա տարանուն լիցքերը միմյանցից կձգվեն կուլոնյան ուժով և կշարժվեն՝ ձգտելով իրար չեզոքացնել: Կառաջանա հոսանք (նկ. 5բ), որը L կոճում ինքնինդուկցիայով կծնի I հոսանք և մագնիսական դաշտ: Դա կշարունակվի մինչև C-ի լիցքերն սպառվեն և հոսանքը դադարի: Այդ ժամանակ էլեկտրական դաշտի ողջ էներգիան վերածվում է L կոճի մագնիսական դաշտի էներգիայի: Երբ հոսանքը նվազում է 0 դառնալու համար, նրա մագնիսական դաշտն էլ է նվազում՝ մակածելով դրան խոչընդոտող հոսանք:



Նկար 4



Նկար 5

Այդ հոսանքը լիցքավորում է կոնդենսատորը նախկինի չափ, բայց հակառակ նշանի լիցքով (նկ. 5գ): Եվ այդ ողջ գործընթացը նույնությամբ կրկնվում է, բայց հակառակ ուղղությամբ (նկ. 5դ և 5ա): Համեմատության համար նկ. 5-ում բերված են համապատասխան դեպքերը զսպանակային ճոճանակի համար: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ լիցքը, հոսանքը, էլեկտրական ու մագնիսական դաշտերը կատարում են ներդաշնակ տատանումներ, ըստ **Թոմսոնի բանաձևի՝**

$$\omega = 1/\sqrt{LC} \tag{2}$$

սեփական ցիկլիկ հաճախությամբ, կամ տատանման T պարբերությամբ.

$$T = 2\pi\sqrt{LC} : \tag{3}$$

Վերը նկարագրվածը կոչվում է **փակ տատանողական կոնտուր**, որում ազատ տատանումները մարող են զանազան կորուստների պատճառով: Որպեսզի **չմարող տատանում** ստանանք, անհրաժեշտ է ամեն պարբերությունից հետո վերականգնել կորցրած էներգիան այլ աղբյուրի հաշվին՝ մեծացնելով տատանման լայնույթը: Եթե ինչ-որ միջոցով փոփոխենք C-ն կամ L-ը, ապա ըստ այդմ կփոխվեն նաև ω -ն և T-ն:

Դիտարկված կոնտուրում կոնդենսատորի շրջադիրները միմյանցից հեռացնենք և դասավորենք կոճի առանցքի հակադիր ծայրերին: Կստանանք **բաց տատանողական կոնտուր**, որն իր սեփական հաճախությամբ կառաքի էլեկտրամագնիսական ալիք՝ դառնալով **առաքող ալեհավաք**: Եթե ալիքի հաճախությունը համընկնի կոնտուրի սեփական հաճախության հետ, ապա այդ նույն կոնտուրը նաև կընդունի իր վրա ընկնող ալիքը՝ դառնալով **ընդունող ալեհավաք**: Իսկ եթե կոճի մոտ մի այլ կոճ դնենք, ապա սրա հոսանքը փոփոխելով, կարող ենք այդ փոփոխությունը ևս փոխանցել առաքվող ալիքին, այսինքն, առաքվող ալիքը մոդուլացնել կառավարող ազդանշանով:

Ինքնատուգման հարցեր.

2. Հասկացե՞լ եք հաղորդման ու շեղման հոսանքների ծագումն ու նրանց տարբերությունը:
3. Յուրացրե՞լ եք էլեկտրամագնիսական տատանման պարբերության համար Թոմսոնի բանաձևը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՛ք էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությունն ու ալիքն ըստ դասական էլեկտրադինամիկայի:
2. **Խմբային հանձնարարություն:** Բացատրե՛ք ռադիոհեռուստակապի և համացանցի աշխատանքի սկզբունքը և ցույց տվե՛ք էլեկտրամագնիսական ալիքների սանդղակի վրա այն տիրույթը որում դրանք իրականացվում են: Նախապես մանրամասնեք այդ տիրույթը:
3. Արագացումով շարժվող լիցքի ո՞ր հատկությունն էք կարևորում դասական էլեկտրադինամիկայում:

Գլուխ 10.

ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱ

§32. Լույսի մասին պատկերացումների զարգացումը

Լույսը բոլոր ժամանակներում և բոլոր ոլորտներում ունեցել է և ունի առանցքային ու հիմնարար նշանակություն ինչպես մարդու, այնպես էլ բնության ու ֆիզիկայի համար:

Լույսի շնորհիվ է, որ Երկիրը ստանում է էներգիա և կարգավորվածություն, որ բույսի քլորոֆիլը ածխաթթու գազից թթվածին է անջատում, որ ջուրը գոլորշիանում ու ամպ է դառնում, գետեր ու ծովեր առաջացնում: Այդ նաև լույսի շնորհիվ է, որ այս ամենը ստեղծվել է՝ կյանքը, նյութական աշխարհը, ողջ տիեզերքն ու բնությունը և նույնիսկ միտքը: Եվ պատահական չէ, որ լույսն ու խավարն են մետաֆոր դարձել գիտության ու տգիտության, կարգի ու քաոսի համար, որ մեր մեծատաղանդ բանաստեղծ Պ.Սևակը կյանքից հեռացավ «Եղիցի լույս»-ի աղերսով. «Թողություն տուր, Տեր, ծանր Խավարին, միայն թե նա թողնի, հեռանա»:

Ուղղակի թե անուղղակի լույսը մասնակից է բուսական ու կենդանական աշխարհի հիմնական գործընթացներին, իսկ մարդու մոտ՝ նաև արվեստի և գիտության ստեղծմանը: Լույսով է մարդը տեսել և քանակական հստակ ինֆորմացիա ստացել, տեսնելով է գտել առաջին էմպիրիկ օրենքներն ու կանոններն այդ քանակների հետ վարվելու համար և ստեղծել է առաջին էմպիրիկ գիտությունը՝ թվաբանությունը: Անշուշտ, շուտով այն վերածվել է վերացական տեսական գիտության՝ մարդկության առաջին մեծ նվաճումի: Երկրաչափությունը ևս առաջացել է տեսողական հիմքի վրա որպես քանակական (թվաբանության մասնակցությամբ) գիտություն՝ էմպիրիկ օրենքներով: Այն ևս վերածվել է վերացական տեսական գիտության: Այս երկուսի և լույսի ծնունդն է նկարչությունը: Լույսը նաև մասնակից է հաղորդակցության միջոցի՝ տարրական քերականության («ձեռք ու ոտքի» լեզվի) ստեղծմանը:

Լույսը մարդու համար ամենուր է և ամեն ինչ է, ուստի մարդը մշակել է լուսային երևույթների մասին գիտություն՝ օպտիկա: Սկզբում օպտիկան ձևավորվեց որպես միայն էմպիրիկ գիտություն լույսի տարածման մասին: Լույսը խթանեց երկրաչափության ստեղծումը, սա էլ իր հերթին խթանեց օպտիկայի ստեղծումը: Անտիկ փիլիսոփաները ձևակերպեցին օպտիկայի առաջին օրենքը, ըստ որի լույսը ուղիղ գծով է տարածվում: Հետո դա վերածնակերպեցին, որ լույսն «ամենակարճ ճանապարհով» է տարածվում: Միջնադարում Ֆերման առաջարկեց «նվազագույն ժամանակաձախսի» սկզբունք. Երկու կետերի միջև լույսը տարածվում է այն ուղիով, որով ամենաշուտը կհասնի: Այս ձևակերպումներում ընդհանուրն այն է, որ լույսն ինչ-որ առումով տարածման «ամենալավագույն» տարբերակն է ընտրում: Այդ գաղափարը իր զանազան ընդհանրացումներով ընդունվում է առ այսօր:

Լույսի կառուցվածքային առաջին տեսական սխեման առաջարկեց Նյուտոնը: Նա լույսը համարեց կազմված մի քանի տեսակի առաձգական գնդիկներից՝ օժտված իմպուլսով և էներգիայով, որոնք միջավայրում նվազում են նրա դիմադրությունը հաղթահարելու պատճառով: Իմպուլսի և էներգիայի պահպանման օրենքների հիման վրա Նյուտոնը փորձեց բացատրել լույսի անդրադարձումն ու բեկումը, լույսի դիսպերսիան պրիզմայի նշանավոր փորձում և օղակները ոսպնյակում: Լույսի այս **մասնիկային տեսությունը մեխանիկական էր**, որն անկարող եղավ բացատրելու մի շարք նոր փորձերից ստացված արդյունքները:

Դեռևս մեխանիկայից հայտնի էին ալիքներն ու դրանց ինտերֆերենցման և դիֆրակցման երևույթները: Դա ճնշման դաշտի տարածումն էր միջավայրում: Այդ նմանությամբ Ք. Հյուգենսն առաջ քաշեց լույսի **ալիքային երևույթաբանական տեսությունը**, որը զարգացրեցին Օ. Ֆրենելը, Թ. Յունգը և ուրիշները: Նրանք դիտեցին ինտերֆերենցման և դիֆրակցման երևույթները նաև լույսի համար, այդ թվում՝ **վակուումում**, ուր չէին կարող լինել մեխանիկական ալիքներ: Այնինչ լույսը **վակուումում** տարածվում է **հսկայական, բնության մեջ ամենամեծ՝ $3 \cdot 10^8$ մ/վ արագությամբ**: Մաքսվելի կառուցած էլեկտրադինամիկայի տեսության ու Հերցի փորձնական արդյունքների հիման վրա ստեղծվեց լույսի **էլեկտրադինամիկական տեսությունը**՝ դիտելով **լույսը էլեկտրամագնիսական ալիք**: Այս տեսությունը մեծ հաջողություններ բերեց: Նախ բացատրվեցին մի շարք երևույթներ՝ լույսի երկբեկումը, բևեռացումը և այլն: Հետո էլ ստացվեցին արտահայտություններ լույսի բեկման ցուցիչի, կլանման գործակցի և **վակուումում լույսի c արագության** համար: Լույսի արագության տեսական $c = \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$ արտահայտության արժեքը գրեթե համընկավ չոր օդում

չափված փորձնական արժեքների հետ: Սակայն շատ ավելի կարևոր և հիմնարար էր այն, որ $c = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$ **էլեկտրամագնիսական արագությունը** նաև **ունիվերսալ հաստատուն է**: Այս պարզ թվացող արդյունքը կբերի դասական ֆիզիկային ոչ համահունչ հետևությունների, ընդհուպ մինչև մեր աշխարհըմբռնման արմատական փոփոխության: Այսօրիանակ կարևորության արդյունքն անհրաժեշտ էր հաստատել նաև անմիջական փորձերով: Եվ հաստատվեց Ա. Մայքելսոնի, Է. Մոռլիի, Հ. Ֆիզոյի և ուրիշների փորձերում:

Լույսի մասին պատկերացումների զարգացումը բերեց նոր աշխարհըմբռնման ու ֆիզիկայի նոր հայեցակարգի: Իրոք, **c ունիվերսալ հաստատունը** հիմնաքար դարձավ քառաչափ աշխարհի և հարաբերականության հաստուկ տեսության ստեղծման, իսկ հետո նաև հարաբերականության ընդհանուր տեսության համար: Դրանով իսկ լույսը դարձավ այն հիմքը, որի վրա կերտվեցին և կերտվում են ռադիոաստղագիտությունն ու տիեզերաֆիզիկան: Այստեղ դժվար է գերազնահատել Վ. Համբարձումյանի, Բ. Մարգարյանի, Գ. Սահակյանի և ուրիշ շատ այլ գիտնականների և նրանց ստեղծած գիտական դպրոցի ներդրումները: Շուրջ կես դար հայկական դպրոցը առաջատարներից է աշխարհում տիեզերքի ծագման, կառուցվածքի ու զարգացման, գալակտիկաների, աստղակույտերի, աստղերի, ընդհուպ նեյտրոնային ու քվարկային աստղերի ֆիզիկայում:

Փորձնականորեն բացահայտվեցին լույսի նոր հատկություններ՝ ճառագայթման ու կլանման գծային սպեկտրները, սև մարմնի հավասարակշիռ ճառագայթման օրենքները և այլն, որոնք բերեցին ֆիզիկայի քվանտային հայեցակարգին: Վերջինս իր հերթին հավաստեց **լույսի մասնիկային կառուցվածքը** և **էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության կրող լինելը**: Սակայն լույսի մասնիկը՝ ֆոտոնը, բնավ նման չէ Նյուտոնի առածգական գնդիկներին: Մասնավորապես, ֆոտոնը միշտ շարժվում է c արագությամբ և հանգստի վիճակում գոյություն չունի, կարող է ստեղծվել նյութական մասնիկից և ոչնչանալ՝ ծնելով նյութական մասնիկ կամ գրգռել նյութական մասնիկը: Ֆոտոնները գերադասում են հավաքվել այն վիճակում, որում շատ են ֆոտոնները: Դրա հիման վրա 1960-ականներին ստեղծվեցին լույսի կոհերենտ աղբյուրներ՝ լազերներ, որոնց ճառագայթման ուժգնությունը միլիարդավոր անգամ գերազանցում է հզոր շիկացման լամպերին: Լազերի լույսի դաշտի լարվածությունն այնքան մեծ է, որ կարող է հաղթահարել պինդ մարմիններում ատոմների կապի էներգիան: Այս ոլորտում ևս Մ. Լ. Տեր-Սիքալեյանի, Վ. Մ. Հարությունյանի, Մ. Ե.

Մոլիբդենի և ուրիշների ջանքերով ԵՊՀ-ում և ՀՀ ԳԱԱ-ում ստեղծվել ու գործում են աշխարհում ճանաչված գիտական դպրոցներ:

Այս հարցերը մասամբ ներկայացնելու ենք մյուս բաժիններում, իսկ ավելի հետաքրքրասերներին խորհուրդ ենք տալիս համացանցում կարդալ Էյնշտեյնի, Բորի և ուրիշների հանրամատչելի գրքերը, ինչպես նաև լույսի մասին նյութեր կարդալ «Квант», «Знание» և «Գիտության Աշխարհում» գիտահանրամատչելի հանդեսներում:

Այս բաժնում էլեկտրադինամիկայի շրջանակներում ուսումնասիրենք ալիքային և երկրաչափական օպտիկայի տարրերը: Լույսը, որպես էլեկտրամագնիսական ալիք, նկարագրվում է էլեկտրական ու մագնիսական դաշտերի լայնությունով, ν հաճախությամբ և ալիքի տարածման v արագությամբ: Օգտագործվում են համարժեք այլ բնութագրիչներ ևս. պարբերություն T , ալիքի երկարություն λ , որոնք միմյանց հետ կապված են պարզ առնչություններով.

$$T=1/\nu, \quad \lambda=vT, \quad (1)$$

Ալիքի տարածման v արագությունը կախված է նաև միջավայրի էլեկտրական ϵ և մագնիսական μ թափանցիկությունից, քանի որ էլեկտրամակածումն է դրանցից կախված: Միջավայրի այդ հատկությունը նկարագրում են n բեկման ցուցիչով, որը ցույց է տալիս, թե լույսի արագությունը միջավայրում քանի անգամ է փոքր վակուումում նրա արագությունից.

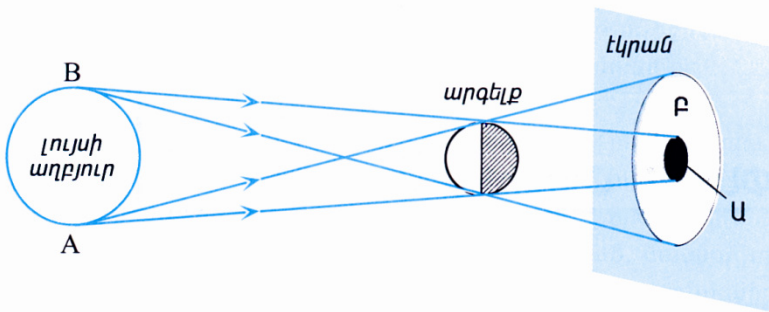
$$v=c/n, \quad n=\sqrt{\epsilon\mu} : \quad (2)$$

Ըստ (2) առնչությունների, միջավայրում լույսի v արագությունը և n բեկման ցուցիչը կախված են ալիքի λ երկարությունից, քանի որ λ -ից է կախված, մասնավորապես, ϵ -ը: Վակուումում լույսի արագությունը հաստատուն է՝ c , և $n=1$, ուստի վակուումում լույսը բնութագրվում է ν , T , λ մեծություններից միայն որևէ մեկով, քանի որ

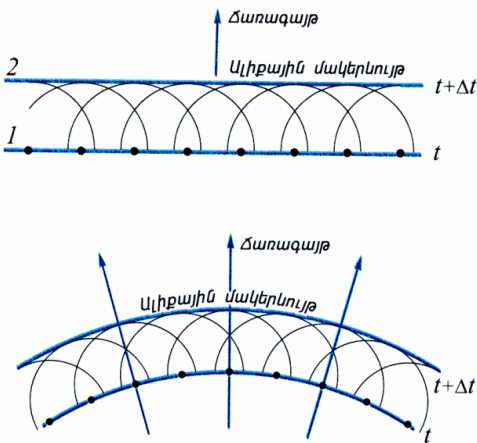
$$\lambda=c/\nu=cT: \quad (3)$$

Լույսի էլեկտրական դաշտի \vec{E} լարվածությունը և մագնիսական դաշտի \vec{B} ինդուկցիան միշտ միմյանց փոխուղղահայաց են և տարածվում են նույն ուղղությամբ՝ տատանվելով տարածման ուղղությանն ուղղահայաց: Այսինքն, լույսը լայնական ալիք է, որը կրում է էներգիա և իմպուլս: Ալիքը կոչվում է հարթ, եթե համափուլ կետերի մակերևույթները հարթություններ են: Ալիքը տարածվում է համափուլ մակերևույթի տվյալ կետում տարված ուղղահայացի ուղղությամբ՝ հարթ ալիքի դեպքում կազմելով գուգահեռ փունջ: Չնայած ֆիզիկորեն հնարավոր չէ

ստանալ լույս մեկ կետով անցնող ալիքախի փունջ, այնուհանդերձ օգտակար է նյութական կետի և կետային լիցքի նմանությամբ ներմուծել **լուսային ճառագայթի** գաղափարը որպես հնարավոր նեղ զուգահեռ փունջ: Լուսային ճառագայթը կիրառելի է, երբ միջավայրի անհամասեռությունների d չափերը շատ անգամ գերազանցում են լույսի ալիքի λ երկարությանը: Այդ դեպքում լույսի տարածումը հանգում է **համասեռ միջավայրում լուսային ճառագայթի ուղղագիծ տարածման** և երկու միջավայրերի սահմանում նրանց **բեկման-անդրադարձման** օրենքների քննարկմանը երկրաչափորեն, որի համար էլ այդ բաժինը կոչվում է **երկրաչափական օպտիկա**: Լույսի ուղղագիծ տարածման օրենքին հաճախ ենք առնչվում, օրինակ, նկ. 1-ում պատկերված դեպքում: Չափելով և համադրելով լույսի աղբյուրի AB, արգելքի d , Ա ստվերի և Բ կիսաստվերի տրամագծերը, կհամոզվենք, որ դա տեղի ունի միայն լույսի ուղղագիծ տարածման դեպքում:



Նկար 1



Նկար 2

Այդ երկրաչափական առնչություններն ու հստակ պատկերները տեղի կունենան նշված մեծությունների բոլոր արժեքների դեպքում, քանի դեռ $\lambda \ll d$: Երբ այս պայմանը խախտվի, պատկերները կլրոզվեն, անգամ կվերափոխվեն այլ պատկերների և երկրաչափական օպտիկան կիրառելի չի լինի այլևս:

Մյուս սահմանային դեպքը, երբ $\lambda \gtrsim d$, ի տարբերություն երկրաչափական օպտիկայի, գերիշխում է լույսի ալիքային բնույթը և կոչվում է **ալիքային օպտիկա**,

որի հիմնական սկզբունքը դեռևս 1690 թ. ձևակերպել է Ք. Հյուգենսը: Հյուգենսի սկզբունքը պնդում է, որ միջավայրի ցանկացած կետ, որին հասել է ալիքի համափուլ մակերևույթը՝ ճակատը, ինքն է դառնում նոր, երկրորդային ալիքների աղբյուր, որոնց պարուրիչը՝ ընդհանուր շոշափողը, հանդիսանում է ալիքի ճակատը հաջորդ պահին: Հարթ և գնդային ալիքների համար Հյուգենսի սկզբունքը մեկնաբանված է նկ. 2- ում: **Հյուգենսի** սկզբունքը, չնայած առաջացել է փորձնական տվյալներից, ունի նաև իր տեսական ապացույցը էլեկտրադինամիկայի հիման վրա:

Ինքնատուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք լույսի մասնիկային կառուցվածքի էությունը:
2. Յուրացրեցի՞ք լույսի ալիքային մոդելն ու Հյուգենսի սկզբունքը:
3. Հասկացե՞լ եք լույսը բնութագրող մեծությունները:

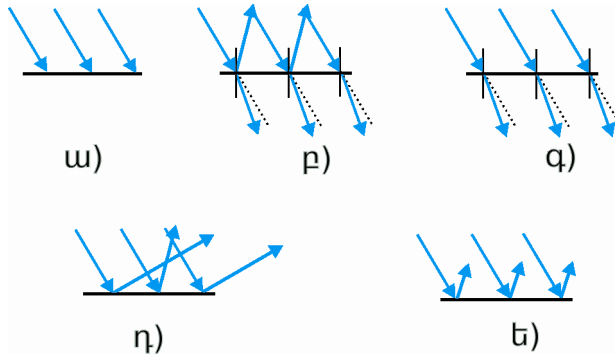
Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՞ք լույսի մասին պատկերացումների զարգացումը:
- 2*. **Խմբային հանձնարարություն:** Փորձե՞ք համացանցից վերցրած տեղեկությունների հիման վրա կազմել լույսի մասին պատկերացումների «տոհմածառը»:

§33. Երկրաչափական օպտիկայի տարրերը

Երկրաչափական օպտիկայի հիմնական տարրը լույսի ճառագայթն է, իսկ հիմնական խնդիրը՝ ճառագայթի ընթացքի որոշումը: Համասեռ միջավայրում լույսը տարածվում է ուղղագիծ, ուստի ճառագայթը ուղիղ գիծ է: Անհամասեռ միջավայրը դիտենք որպես հաջորդաբար դասավորված համասեռ միջավայրեր՝ յուրաքանչյուրն իր օպտիկական բնութագրերով, մեր դեպքում՝ բեկման n ցուցիչով: Այդ դեպքում խնդիրը կհանգի երկու միջավայրերի սահմանում ճառագայթի ընթացքի որոշմանը:

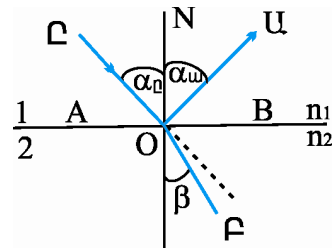
Այդ խնդիրը լուծվում է էլեկտրադինամիկայի տեսության հիման վրա, սակայն որոշ դեպքերում կբավարարեն նաև պարզ փորձերը: Ջուզահեռ ճառագայթների փունջն ուղղենք դեպի երկու միջավայրերի սահմանը (նկ.1):



Նկար 1

Կախված միջավայրի նյութից, կդիտենք տարբեր պատկերներ. **ա.** ճառագայթներն ամբողջովին կլանվում են (անթափանց միջավայր), **բ.** ճառագայթները մասամբ անդրադառնում են, մասամբ բեկվելով անցնում, մասամբ էլ՝ կլանվում, **գ.** ամբողջովին անցնում են բեկվելով (թափանցիկ միջավայր), **դ.** փունջն ամբողջովին անդրադառնում է՝ ցրիվ (դիֆուզ) անդրադարձում, **ե.** փունջն ամբողջովին անդրադառնում է՝ մնալով զուգահեռ փունջ (հայելային անդրադարձում): Յրիվ անդրադարձման դեպքում ալիքի երկարությունը չի գերազանցում մակերևույթի անհամասեռության d չափը՝ $\lambda \leq d$, իսկ հայելայինի դեպքում՝ $\lambda \gg d$: Այդ միջավայրերը միմյանցից տարբերվում են իրենց n բեկման ցուցիչով, որը կախված է նյութի վիճակից, խտությունից, ջերմաստիճանից և այլն: Եթե n -ը միջավայրի բոլոր կետերում նույնն է, ապա այդ միջավայրը կոչվում է օպտիկապես համասեռ, իսկ եթե n -ը կախված չէ ուղղությունից, ապա միջավայրը կոչվում է օպտիկապես իզոտրոպ: Երկու միջավայրերից օպտիկապես նոսր է այն, որի բեկման ցուցիչը փոքր է, և խիտ՝ որի բեկման ցուցիչը մեծ է:

Երկրաչափական օպտիկայի օրենքները գտնելու համար կատարենք փորձեր: Դիցուք AOB-ն n_1 և n_2 բեկման ցուցիչներով միջավայրերի սահմանային մակերևույթն է, որի O կետ է ընկնում ԸO ճառագայթը,



Նկար 2

ինչպես նկ. 2-ում: Եթե AOB-ն հայելի է, ապա փորձը ցույց կտա անդրադարձած ՕԱ ճառագայթը, ընդ որում միշտ $\alpha_{\text{ը}} = \alpha_{\text{ա}}$: Իսկ եթե մակերևույթն իդեալական թափանցիկ է, ապա կդիտենք ԸՕ ճառագայթի ընթացքի բեկումն ՕԲ ուղղությամբ, ընդ որում

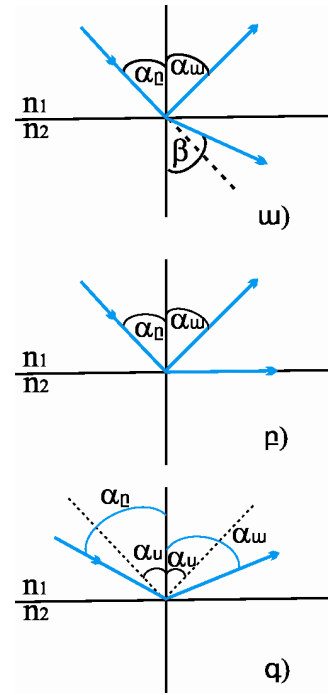
$$\frac{\sin \alpha_{\text{ը}}}{\sin \alpha_{\text{բ}}} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1)$$

(1)-ից բխում է, որ $\alpha_{\text{ը}}$ և $\alpha_{\text{բ}}$ անկյուններից մեծ է այն անկյունը, որը վերաբերում է նոսր օպտիկական միջավայրին, որտեղ լույսի արագությունն ավելի մեծ է: Եթե $n_1 = n_2$, այսինքն, երկու միջավայրերի բեկման ցուցիչները հավասար են, կամ միջավայրերը նույնն են, ապա հավասար են նաև $\alpha_{\text{ը}}$ և $\alpha_{\text{բ}}$ անկյունները: Փորձը հաստատում է այս արդյունքները նաև այն դեպքում, երբ լույսը մասամբ հայելային անդրադառնում է AOB մակերևույթից, մասամբ էլ թափանցում է մյուս միջավայր: Կստացվի նկ. 2-ի պատկերն ամբողջությամբ:

Այս փորձերով կարող ենք համոզվել նաև, որ **ընկնող, անդրադարձող ու բեկվող ճառագայթները և անկման կետում տարված ON ուղղահայացը պատկանում են միևնույն հարթությանը**: Այս պնդումը և $\alpha_{\text{ը}} = \alpha_{\text{ա}}$ (1) պայմանը միասին արտահայտում են **անդրադարձման ու բեկման օրենքը**:

Եթե ճառագայթների գցենք ԱՕ (կամ ԲՕ ուղղությամբ), կտեսնենք, որ դրանք ԱՕԸ (կամ ԲՕԸ) ճանապարհով կհասնեն Ը կետ: Դա **ճառագայթների շրջելիությունն է**:

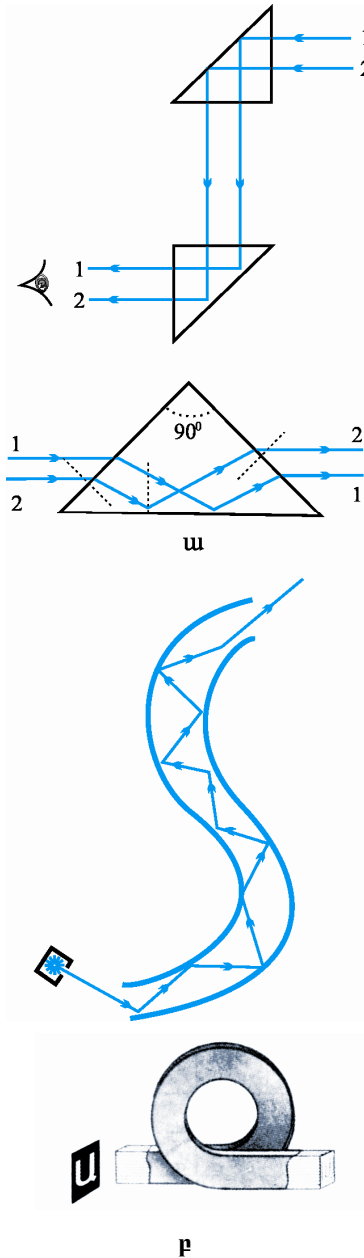
Դիցուք $n_1 > n_2$: Փորձը գույց է տալիս, որ անկման փոքր անկյունների դեպքում տեղի ունի նկ. 3ա-ի պատկերը: Ըստ (1)-ի $\beta > \alpha_{\text{ը}}$, այսինքն, բեկման անկյունը մեծ է անկման անկյունից: Մեծացնելով անկման $\alpha_{\text{ը}}$ անկյունը՝ կտեսնենք, որ որոշակի $\alpha_{\text{ը}} = \alpha_{\text{ս}}$ դեպքում բեկված ճառագայթը անցնում է միջավայրերի սահմանագծով՝ $\beta = \pi/2$ (նկ. 3բ): Եթե $\alpha_{\text{ը}} > \alpha_{\text{ս}}$, ապա լույսը միայն անդրադառնում է (նկ.



Նկար 3

3գ) Այս երևույթը կոչվում է լույսի **լրիվ ներքին անդրադարձում**, α_u -ն էլ կոչվում է լրիվ ներքին անդրադարձման սահմանային անկյուն, որն ըստ (1)-ի հավասար է.

$$\sin \alpha_u = n_2/n_1 < 1: \tag{2}$$



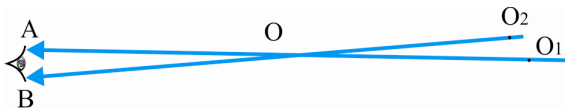
Նկար 4

Լույսի լրիվ ներքին անդրադարձումը ջուր-օդ և ապակի-օդ միջավայրերում առօրյաում հաճախ ենք դիտում: Ադամանդի ճաճանչումը պայմանավորված է հենց նրանով, որ $n_{ադ}/n_{օդ} = 2,42$, ուստի նիստերի համապատասխան մշակման դեպքում լույսը կատարում է լրիվ ներքին անդրադարձում, որի շնորհիվ էլ մնում է համեմատաբար երկար: Լույսի լրիվ ներքին անդրադարձման երևույթն ունի շատ լայն կիրառություններ, օրինակ, դիտակներում պատկերի շրջումը պրիզմայով (նկ. 4ա) և լույսի հաղորդումը **ապակեթելային լուսատարով** (նկ. 4բ), որն ինֆորմացիայի հաղորդման ապագա հիմնական ձևերից է:

Այժմ դիտարկենք լույսի տարածումը մի շարք պարզ դեպքերում և **պատկերների կառուցումը** երկրաչափական օպտիկայի հիման վրա: Լույսի ճառագայթների ընթացքը օբյեկտիվ երևույթ է՝ բնության օրենքներին համապատասխան: Առարկայի օպտիկական պատկերը մեզ համար ունի սուբյեկտիվ մաս ևս: Մարդը աչքով ընդունում է ճառագայթի էներգիայի ազդեցությունը, իսկ որոշ կենդանիներ և սարքեր նաև ինպուլսն ու բևեռացումն էլ են ընկալում: Եթե միայն մեկ ճառագայթ ընկնում է աչքի մեջ, մարդը չի կարող որոշել, թե ո՞ր կետից է եկել այդ ճառագայթը: Նկ. 5-ում աչքը չի զանազանի OA ճառագայթի O և O₁ կետերն իրարից: Նման կերպ OB-ի O և O₂ կետերը չի տարբերի: Բայց եթե OA և OB ճառագայթները միաժամանակ

ընկնեն աչքին, ապա աչքը O կետը կտարբերի մյուսներից, քանի որ այն միակն է, որ պատկանում է OA և OB ճառագայթներին: Այսպիսով, եթե որևէ կետից երկու և ավել ճառագայթներ ընկնեն աչքի մեջ, աչքն այդ կետը կտարբերի մյուսներից: Այսինքն, կետը աչքի համար տվյալ կետից դուրս եկող **տարամխորդ** փունջ է: Քանի որ պատկերը կետերի հանրույթ է, ուստի այն կառուցելու համար պետք է կառուցել նրա ամեն կետի պատկերը:

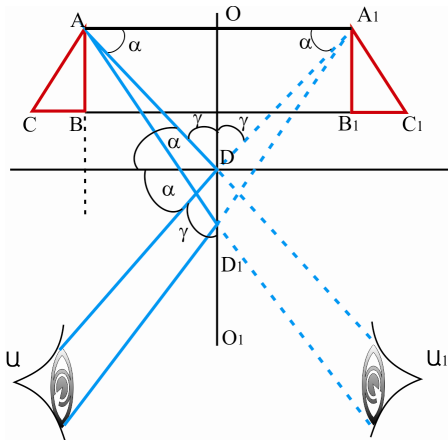
Հարթ հայելիում պատկերի կառուցումը հեշտ է: Դիցուք O O_1 ը հարթ հայելի է, իսկ ABC -ն ինչ-որ առարկա է (նկ. 6): A կետի պատկերն ստանալու համար նրանից պետք է արձակվի ճառագայթների տարամետ փունջ, ասենք, AD և AD_1



Նկար 5

ճառագայթները: Եթե չլիներ հայելին, ապա U_1 աչքը կտեսներ A կետը AD և AD_1 ճառագայթներով: Հայելու առկայությամբ ոչ մի ճառագայթ չի հասնի U_1 աչքին,

ուստի նա ոչինչ չի նկատի: Դրա փոխարեն AD և AD_1 ճառագայթները կանդրադառնան և U աչքին կհասնեն որպես DU և D_1U_1 ճառագայթների տարամետ փունջ՝ ձևավորելով U աչքում պատկեր՝ A_1 կետը: Լույսի անդրադարձման օրենքն ապահովում է նկ. 6-ում նշված անկյունների հավասարությունը և $\alpha + \gamma = \pi/2$ պայմանը, որոնցից բխում է եռանկյունիներ AOD ու A_1OD



Նկար 6

նմանությունը, նաև հավասարությունը, քանի որ OD -ն նրանց համար ընդհանուր կողմ է: Դրանից բխում է, որ $\sphericalangle AOD = \sphericalangle A_1OD = \pi/2$ և $AO = A_1O$, հետևաբար նաև A_1 -ը մեկը մյուսի հայելային **համաչափ արտապատկերումն են** (այսինքն, եթե A կետից ուղղահայաց տանենք հայելուն և շարունակության վրա նշենք A_1 կետն այնպես, որ $AO = A_1O$): A_1 -ը A -ի կեղծ պատկերն է, որովհետև A_1 -ը իրական ճառագայթների հատման կետը չէ, այլ դրանց շարունակությունների: Քանի որ A կետն ընտրված էր կամայական, ուստի

այս եղանակով կարող ենք կառուցել ցանկացած կետի, հետևաբար և առարկայի պատկերը: Օրինակ, ABC առարկայի պատկերն $A_1B_1C_1$ -ն է, որից տեսնում ենք, որ

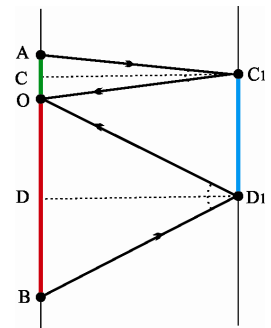
պատկերն ուղիղ է, կեղծ և հավասար առարկային: Ընդ որում հայելուց հեռու կետին համապատասխանում է պատկերի հայելուց հեռու կետը:

Ոչ հարթ հայելիում ճառագայթի ընթացքը որոշելու համար տվյալ ճառագայթի ընկած կետում հայելին համարենք շոշափող հարթ հայելի և տանենք ճառագայթը: Այսինքն, ոչ հարթ հայելու խնդիրը հանգում է տարբեր դասավորությամբ հարթ հայելիների խնդրին:

Խնդրի լուծման օրինակ:

Խնդիր: Գտնել ուղղահիվ հայելու նվազագույն չափը և տեղը, որպեսզի կանգնած մարդն ինքն իր պատկերը ամբողջությամբ տեսնի:

Լուծում: AB մարդու աչքը գտնվում է O կետում (նկ. 7): Որպեսզի A կետից դուրս եկած ճառագայթը հասնի O կետ, ըստ անդրադարձման օրենքի, պետք է նրա անկման C_1 կետում տարված C_1C ուղղահայացը հատի OA -ին C միջնակետում: Եթե հայելու վերին ծայրը C_1 -ից ցածր լինի, ապա A կետից ոչ մի ճառագայթ չի ընկնի աչքը՝ O կետը: Նման կերպ, OB -ի D



Նկար 7

միջնակետից տանենք DD_1 ուղղահայացը: Այդ դեպքում D_1 կետը այն սահմանային կետն է, որից եթե վերև գտնվի հայելին, ապա B կետը չի երևա: Այսպիսով, հայելու C_1D_1 չափը մարդու AB հասակի կեսի չափն է, իսկ տեղը պատի վրա CD -ի ուղղահայաց ստվերն է:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Յուրացրե՞լ եք լույսի անդրադարձման ու բեկման օրենքը:
2. Հասկացե՞լ եք լույսի լրիվ անդրադարձման երևույթը:
3. Հասկացե՞լ եք պատկեր կառուցելու անհրաժեշտ պայմանը, իրական ու կեղծ պատկերի հասկացությունը:
4. Յուրացրե՞լ եք հարթ հայելիում պատկեր կառուցելու սկզբունքը:

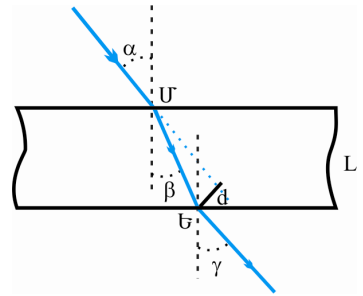
Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՞ք լույսի անդրադարձման ու բեկման օրենքը:

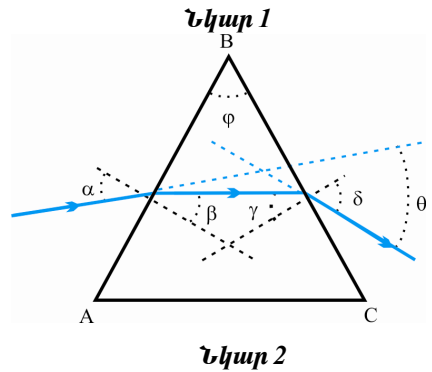
2. Պատմեք լրիվ անդրադարձման երևույթը և ստացեք արտահայտություն սահմանային անկյան համար:
3. **Խմբային հանձնարարություն:** Ի՞նչը և ինչպե՞ս կփոխվի, եթե վերը դիտարկված խնդրում փոխենք հայելու տեղն ու չափերը:

§34. Երկրաչափական օպտիկայի տարրերը: (Շարունակություն)

Երկրաչափական օպտիկայի անդրադարձման օրենքի հիման վրա են բացատրվում պատկերների կառուցումը հայելիներում, իսկ բեկման օրենքը հիմք է ծառայում պրիզմաներում և ոսպնյակներում ճառագայթների ընթացքը որոշելու համար: Հիմա դիտարկենք ճառագայթների ընթացքը թափանցիկ համակարգերում և նրանցում պատկերների կառուցումը: Այդ նպատակով դիտարկենք երկու պարզ դեպք:



Ճառագայթները թափանցիկ և համասեռ **հարթ զուգահեռ շերտով**՝ թիթեղով, անցնում են նախ բեկվելով առաջին սահմանագծում (նկ. (1)-ի U կետում), հետո մինչև մյուս սահմանագծի Ե կետ ճառագայթը տարածվում է ուղղագիծ և դուրս գալիս թիթեղից՝ բեկվելով Ե կետում: Ըստ բեկման օրենքի նկ. 1-ից ունենք.



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}, \quad \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} = \frac{n_3}{n_2} : \quad (1)$$

(1)-ից բխում է, որ $n_1 = n_3$ դեպքում $\alpha = \gamma$, եթե շերտի երկու կողմերի միջավայրերի բեկման ցուցիչները հավասար են, ապա ընկնող ճառագայթը դուրս է գալիս ինքն իրեն զուգահեռ և d չափով շեղված, որը փոքր անկման անկյունների դեպքում որոշվում է

$$d = l \alpha(1 - 1/n_2) \quad (2)$$

բանաձևով, որտեղ l -ը շերտի հաստությունն է:

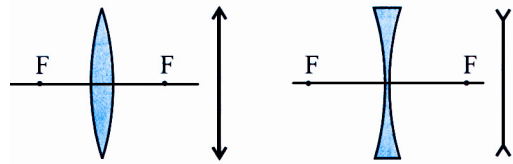
Ճառագայթների ընթացքը ապակե թափանցիկ համասեռ **եռանկյուն պրիզմայում** բերված է նկ. 2-ում: Ենթադրենք պրիզմայի բեկման ցուցիչը n է և գտնվում է օդում կամ վակուումում՝ 1 բեկման ցուցիչով: Բեկման օրենքից և նկ. 2-ից ունենք.

$$\sin \alpha = n \sin \beta, \quad \sin \delta = n \sin \gamma \equiv n \sin(\varphi - \beta) \quad (3)$$

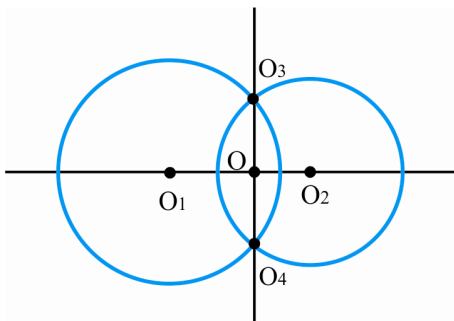
որտեղից $\varphi \ll 1$ և $\alpha \ll 1$ դեպքում կստանանք

$$\theta = (n - 1)\varphi: \quad (4)$$

Այս արդյունքները հնարավորություն են ընձեռում թափանցիկ բարդ սարքերի աշխատանքը մոտարկելու և հասկանալու համար: Օրինակ, միջին դպրոցի ֆիզիկայի դասընթացից ծանոթ ենք **ոսպնյակին**, որը որոշակի (գնդային)

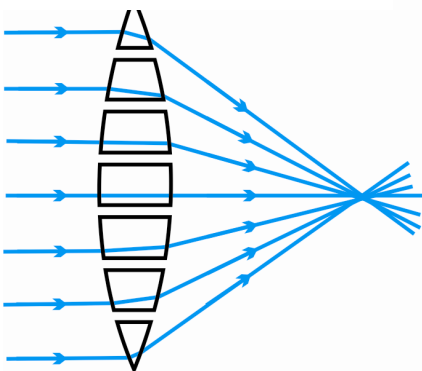


Նկար 3



ա

մակերևույթներով սահմանափակված թափանցիկ միջավայր է: Ոսպնյակները մեծ կիրառություն ունեն դիտակներում, խոշորացույցներում, լուսանկարչական ապարատներում: Ոսպնյակներ ունեն մարդու և կենդանիների աչքերը:



բ

Ըստ իրենց երկրաչափական ձևի ոսպնյակները լինում են երկուուցիկ, հարթ-ուռուցիկ, գոգավոր-ուռուցիկ, երկգոգավոր և այլն, իսկ ըստ գործառույթի հիմնական տեսակները հավաքող և ցրող ոսպնյակներն են (նկ.3-ում բերված են պայմանական նշանները): Օրինակ, ուռուցիկ ոսպնյակը հավաքող է, եթե նրա բեկման ցուցիչը մեծ է շրջապատի բեկման ցուցիչից, և ցրող է՝ հակառակ դեպքում: Օդում ապակե ուռուցիկ ոսպնյակը հավաքող է, իսկ ապակու մեջ օդի ուռուցիկ պղպջակը հանդիսանում է ցրող ոսպնյակ:

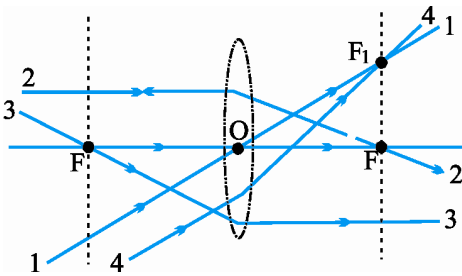
Նկար 4.

Դիտարկենք գնդային *բարակ ոսպնյակ*

(նկ.4ա): Ոսպնյակի **գլխավոր օպտիկական առանցքը** նրա մակերևույթների O_1 և O_2 կենտրոններով որոշվող ուղղությունն է, իսկ մակերևույթների հատման

O_3O_4 հարթության ու O_1O_2 առանցքի հատման O կետը կոչվում է **ոսպնյակի օպտիկական կենտրոն** (նկ. 4ա): Ինչպես պատկերված է նկ. 4բ-ում, ոսպնյակը մտովի բաժանենք հատած պրիզմաների, որոնցից յուրաքանչյուրում ճառագայթների ընթացքը գիտենք: Դրա հիման վրա որոշվում է մի քանի նշանավոր ճառագայթների ընթացքը, որը թույլատրում է հեշտությամբ կառուցել պատկերներ: Այդ ճառագայթները նկարագրենք առանձին-առանձին՝ նկ.5-ում բերված են համաչափ բարակ հավաքող ոսպնյակի համար, նկ.6-ում՝ ցրող ոսպնյակի համար:

1. Օպտիկական կենտրոնով անցնող ցանկացած ճառագայթ ոսպնյակն անցնում է ուղիղ, առանց բեկվելու և կոչվում է ոսպնյակի **երկրորդական օպտիկական առանցք** (նկ.5-ում **1** ճառագայթը):

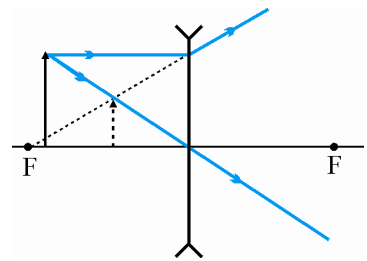


Նկար 5

2. Գլխավոր օպտիկական առանցքին զուգահեռ բոլոր ճառագայթները ոսպնյակում բեկվելով՝ անցնում են գլխավոր օպտիկական առանցքի վրա գտնվող նույն F կետով, որը կոչվում է ոսպնյակի **գլխավոր կիզակետ՝ ֆոկուս** (նկ.5-ում **2** ճառագայթը):

3. Կիզակետով անցնող ճառագայթները ոսպնյակում բեկվելով՝ անցնում են գլխավոր օպտիկական առանցքին զուգահեռ (նկ.5-ում **3** ճառագայթը), որը նախորդի հետ նույնն է ճառագայթների շրջելիության շնորհիվ:

4. Երկրորդական օպտիկական առանցքին զուգահեռ ճառագայթները ոսպնյակում բեկվելով՝ անցնում են երկրորդական օպտիկական առանցքի վրա գտնվող նույն F_1 կետով, որը կոչվում է ոսպնյակի **երկրորդական կիզակետ՝ ֆոկուս** (նկ.5-ում **4** ճառագայթը): Երկրորդական կիզակետերի բազմությունը կազմում է կիզակետային (ֆոկալ) հարթությունը, որն ուղղահայաց է գլխավոր օպտիկական առանցքին և անցնում է F կետով:



Նկար 6

5. Երկրորդական կիզակետով անցնող ճառագայթը ոսպնյակից դուրս է գալիս երկրորդական օպտիկական առանցքին զուգահեռ:

Նկ.6-ում բերված են այդ նույն ճառագայթների ընթացքները (նույն համարներով) ցրող ոսպնյակի համար: Տարբերությունը լոկ այն է, որ ճառագայթների փո-

խարեն դրանց շարունակություններն են անցնում կիզակետով, որի համար այն անվանում են **կենդ կիզակետ**:

Կիզակետի F հեռավորությունը ուսանյակի օպտիկական կենտրոնից կոչվում է **կիզակետային հեռավորություն**, որի հակադարձ մեծությունը կոչվում է ուսանյակի **օպտիկական ուժ**.

$$D = 1/F, \tag{5}$$

որի միավորը դիոպտրիան է՝ 1 դպտր = 1/մ :

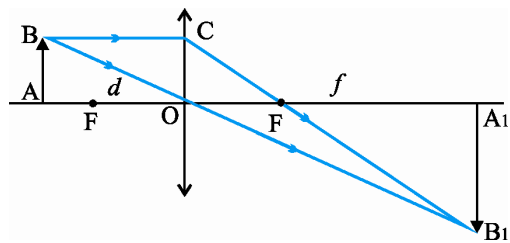
Հավաքող ուսանյակի կիզակետային հեռավորությունը և օպտիկական ուժը դրական են, ցրողինը՝ բացասական:

Այսպիսով, ցանկացած ճառագայթի ընթացքը հավաքող ու ցրող ուսանյակներում գիտենք, ուստի կարող ենք կետի, հետևաբար և առարկայի պատկերը կառուցել: Կետի պատկերի համար պետք է նրանից դուրս եկող գունե երկու ճազագայթների հատումը գտնել: Եթե կետը չի գտնվում գլխավոր օպտիկական առանցքի վրա, ապա նրա պատկերը հեշտ է կառուցել ցանկացած երկու նշանավոր ճառագայթով, ինչպես նկ.7-ում: Օգտվելով $\triangle AOB$ և $\triangle A_1OAB_1$, նաև $\triangle A_1FB_1$ և $\triangle CFO$ ուղղանկյուն եռանկյունիների նմանությունից՝ կստանանք **բարակ ուսանյակի բանաձևը**.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \tag{6}$$

որտեղ d -ն կետի, իսկ f -ը պատկերի հեռավորությունն է ուսանյակից:

Եթե M կետը գտնվում է գլխավոր օպտիկական առանցքի վրա, ապա այդ կետից տանենք որևէ երկրորդական առանցքին զուգահեռ ճառագայթ: Այն բեկվելով կանցնի երկրորդական կիզակետով և կհատվի գլխավոր օպտիկական առանցքի հետ ինչ-որ M_1 կետում,



Նկար 7

որն էլ կհանդիսանա M կետի պատկերը:

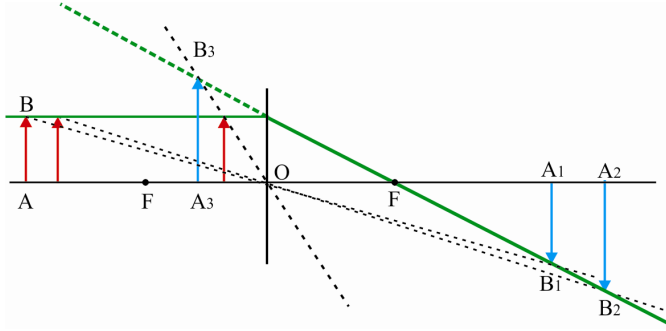
Ուսանյակի (6) բանաձևը ճիշտ է նաև ցրող ուսանյակի համար, միայն F -ը կլինի բացասական: Ընդ որում (6)-ից բխում է, որ *ցրող ուսանյակում առարկայի պատկերը միշտ կենդ է*, քանի որ

$$f = - \frac{d|F|}{d+|F|} < 0: \tag{7}$$

Պատկերի և առարկայի չափերի Γ հարաբերությունն անվանենք **ուսանյակի գծային խոշորացում**, որն, ըստ նկ.7-ի եռանկյունիների նմանության, կլինի.

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{F}{d-F}, \quad (8)$$

Յրող ուսպնյակի համար $F < 0$, ուստի $\Gamma < 1$, այսինքն, *ցրող ուսպնյակը առարկայի պատկերը միշտ փոքրացնում է:*



Նկար 8

Տարբերակները հավաքող ուսպնյակում քերված են նկ.8-ում: Դիցուք գլխավոր օպտիկական առանցքին ուղղահայաց AB սլաքը $d > 2F$ կերփց փեղաշարժենք դեպի անվերջ: Սլաքի A_1B_1 պատկերը կլինի իրական, շրջված և փոքրացված ու կձգվի կիզակետին: Անվերջ հեռուի պատկերը կիզակետում է: Իսկ եթե AB սլաքը փեղաշարժենք դեպի ուսպնյակ, նրա պատկերը կմեծանա, $2F$ կետում A_2B_2 պատկերը կհավասարվի առարկային, F -ին մոտենալիս պատկերն անվերջ կմեծանա և կհեռանա անվերջություն: Կիզակետի պատկերն անվերջ հեռու կետն է: Երբ AB -ն կիզակետի և ուսպնյակի միջև է, սպա նրա A_3B_3 պատկերը խոշորացված է, ուղիղ, բայց կեղծ, քանի որ հարվում են ճառագայթների շարունակությունները:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Յուրացրել ե՞ք պատկեր կառուցելու համար ուսպնյակով անցնող կարևոր ճառագայթները:
2. Յուրացրել ե՞ք բարակ ուսպնյակում պատկեր կառուցելու սկզբունքը:
4. Հասկացե՞լ եք բարակ ուսպնյակի բանաձևը:
5. Հասկացե՞լ եք ուսպնյակի իրական ու կեղծ կիզակետերի հասկացությունը:
6. Յուրացրել ե՞ք ուսպնյակի խոշորացումը:

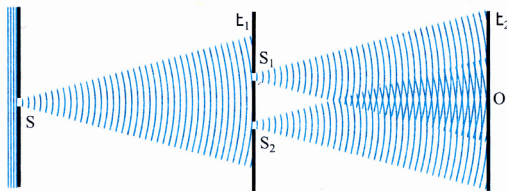
Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՞ք պատկեր կառուցելու համար ուսանյակով անցնող կարևոր ճառագայթները:
2. Փորձե՞ք արտածել բարակ ուսանյակի բանաձևը:
- 3*. **Խմբային առաջադրանք:** Կառուցե՞ք այն սլաքի պատկերը, որը հատում է ուսանյակի կիզակետը:

§35. Լույսի ալիքային հատկությունները

Լույսի ալիքային հատկությունները դիտարկենք ալիքային մակերևույթի և Հյուգենսի սկզբունքի հիման վրա: Լույսի անդրադարձման և բեկման օրենքները, ինչպես ցույց կտանք հաջորդ պարագրաֆում, կարելի է ստանալ նաև ալիքային օպտիկայի շրջանակներում: Այնինչ լույսի **ինտերֆերենցիան, դիֆրակցիան և դիսպերսիան** ֆիզիկայում մեկնաբանվում են որպես ալիքային երևույթներ:

Ալիքները կոչվում են **մոնոքրոմատիկ** (միագույն, մեներանգ), եթե նրանց հաճա-

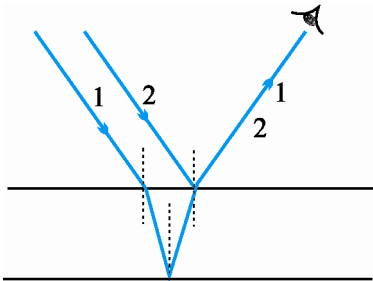


Նկար 1

խությունը հաստատուն է և **կոհերենս**՝ եթե նրանց հաճախականությունները հավասար են: Երկու և ավելի կոհերենս ալիքները վերադրելիս առաջանում է արդյունաբար տատանման լայնությունների ստացիոնար (ժամանակից չկախված) բաշխում: Ալիքների այդպիսի վերադրման երևույթը կոչվում է **ինտերֆե-**

րենցիա: Եթե տարածության որևէ կետ ինտերֆերենցվող ալիքները հասնում են նույն փուլում, ապա այդ կետում նրանց լայնությունները գումարվում են՝ մեծացնելով արդյունաբար ալիքի լայնությը: Իսկ եթե հակափուլերում են հասնում (օրինակ, մեկը հասնում է մեծագույն, մյուսը՝ փոքրագույն արժեքներով), ապա դրանք միմյանց թուլացնում են: Սիջանկյալ դեպքերում ստացվում են լայնության միջանկյալ արժեքներ, որոնք մնում են անփոփոխ ժամանակի ընթացքում, քանի որ փուլերի տարբերությունն է մնում անփոփոխ:

Լույսի ալիքային բնույթը հաստատող հիմնական փորձը կատարեց Թ. Յունգը: Նա մոնոքրոմատիկ լույսի S աղբյուրից հետո տեղադրեց անթափանց E_1 էկրանը՝ S_1 և S_2 ճեղքերով (նկ.1): Ըստ Հյուգենսի սկզբունքի, S_1 և S_2 ճեղքերը կդառնան լույսի



Նկար 2

կոհերենտ աղբյուրներ, ուստի E_2 էկրանի վրա կառաջացնեն ինտերֆերենցիայի պատկեր: Իրոք, E_2 էկրանի վրա առաջացան իրար հաջորդող պայծառ և մութ շերտեր: Յունգի այս փորձը հետագայում Էյնշտեյնի և ուրիշ շատ գիտնականների համար ալիքային հասկություններ բացահայտելու հարցերում դարձավ մնուշային:

Ինտերֆերենցիայի մման պատկեր Յունգը ստացավ նաև կոհերենտ ճառագայթների առաջացնելով բարակ հարթ թիթեղի երկու սահմանագծերից անդրադարձմամբ (նկ. 2):

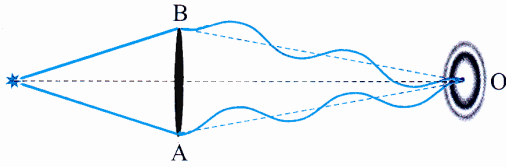
Ըստ Հյուգենսի սկզբունքի և ինտերֆերենցիայի երևույթի, ալիքը՝ մեխանիկական, էլեկտրամագնիսական, լուսային թե այլ, ընդունակ է շրջանցելու իր ալիքի երկարության կարգի և ավելի փոքր խոչընդոտներ: Ալիքի ճակատը խոչընդոտի և նաև շրջակայքի կետերում գրգռում է երկրորդային ալիքներ, որոնց մի մասը չի անցնում խոչընդոտի պատճառով, մյուս մասն անցնում է և վերադրվելով՝ ձևավորում է անցնող ալիքը: Դա մնան է նրան, որ ալիքը բաժանվում-վերածվում է առանձին ալիքների, որոնք հաղթահարում են խոչընդոտն ու նորից ինտերֆերենցվում՝ խոչընդոտը շրջանցելով: Այդ երևույթը կոչվում է **դիֆրակցիա**, որն առաջին անգամ դիտել է Ֆ. Գրիմալդին:



Յունգ Թոմաս (1773 - 1829)

Անգլիացի նշանավոր գիտնական: Յունգի գլխավոր ծառայությունը լույսի ինտերֆերենցիայի հայտնագործումն է և դիֆրակցիայի երևույթի բացատրությունն ալիքային տեսության հիման վրա: Յունգն առաջինն է չափել լուսային ալիքի երկարությունը:

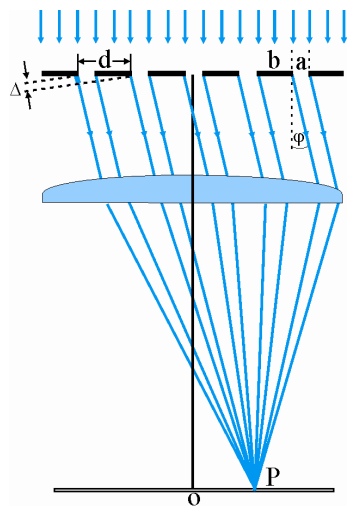
Եթե լույսն էլեկտրամագնիսական ալիք է, ապա պետք է ունենա դիֆրակտման հատկություն: Դա կարելի է ստուգել փորձով: Դեռևս Ֆրենելն է ուսումնասիրել լույսի դիֆրակցիան բարակ լարի և ուղղանկյուն ճեղքի, կլոր նեղ անցքի և կլոր էկրանի վրա: Նրա հաշվարկներից բխում էին մի շարք արտառոց երևույթներ. որոշակի պայմաններում երևացին լարի և ճեղքի դեպքում իրար հաջորդող մութ ու լուսավոր շերտեր, անցքի կենտրոնում՝ մութ կետ, էկրանի ստվերում՝ լուսավոր կետ և այլն: Փորձերը հաստատեցին այդ արդյունքները, ուստիև լույսի ալիքային բնույթը: Օրինակ լույսը հասնելով AB էկրանին, նրա եզրային կետերում գրգռում է երկրորդային ալիքներ, որոնք կոհերենտ են, քանի որ նույն աղբյուրից են ստացվել (նկ. 3): Այդ ալիքների ինտերֆերենցիան պայծառ կլինի այն կետերում, որտեղ ալիքները հասնում են նույն փուլում, երբ նրանց լայնույթները կգումարվեն: Որոշակի պայմաններում այդպիսի կետ է O-ն, քանի որ $AO=BO$:



Նկար 3

հաշորդող մութ ու լուսավոր շերտեր, անցքի կենտրոնում՝ մութ կետ, էկրանի ստվերում՝ լուսավոր կետ և այլն: Փորձերը հաստատեցին այդ արդյունքները, ուստիև լույսի ալիքային բնույթը: Օրինակ լույսը հասնելով AB էկրանին, նրա եզրային կետերում գրգռում է երկրորդային ալիքներ, որոնք կոհերենտ են, քանի որ նույն աղբյուրից են ստացվել (նկ. 3): Այդ ալիքների ինտերֆերենցիան պայծառ կլինի այն կետերում, որտեղ ալիքները հասնում են նույն փուլում, երբ նրանց լայնույթները կգումարվեն: Որոշակի պայմաններում այդպիսի կետ է O-ն, քանի որ $AO=BO$:

Դիֆրակցիայի պատկերը կլինի ավելի հստակ, եթե դիֆրակցիա առաջացնող կետերը շատ լինեն: Այդ նպատակով ստեղծում են տարբեր նշանակության ցանցեր՝ բաղկացած գծերից, ճեղքերից, անցքերից և այլ: Դիտարկենք նկ. 4-ում բերված ցանցը, որտեղ a-ն թափանցիկ մասի չափն է, b-ն՝ անթափանց մասինը: $d=a+b$ կոչվում է ցանցի պարբերություն: Դիցուք λ ալիքի երկարությամբ լույսի հարթ զուգահեռ փունջն ընկնում է ուղղահայաց ցանցին, որից հետո դրված է հավաքող ոսպնյակ, որի ֆոկալ՝ կիզակետային հարթության վրա դրված է էկրան: Երկու հարևան ճեղքերից φ անկյան տակ ընթացող երկրորդային ալիքների օպտիկական ճանապարհների Δ տարբերությունը կլինի՝ $\Delta = d \sin \varphi$: Եթե Δ -ն P կետում լինի λ -ի բազմապատիկը, ապա նրանք ինտերֆերենցիայի ժամանակ միմյանց կուժեղացնեն, այսինքն, **մաքսիմումի պայմանը** կլինի.



Նկար 4

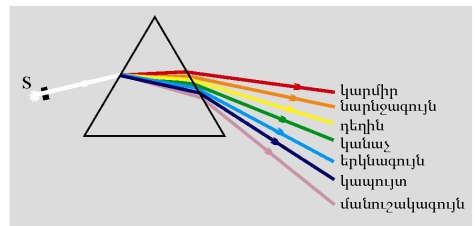
$$d \sin \varphi = k\lambda, k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

(1)

Չափելով դիֆրակցիայի պատկերի մաքսիմումները, (1) բանաձևի հիման վրա Յունգն առաջին անգամ որոշեց լույսի ալիքի երկարությունը:

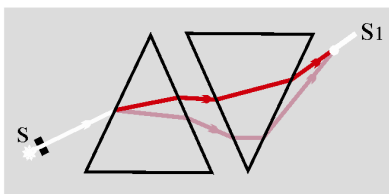
Լույսի կոհերենտ աղբյուրների՝ լազերների ստեղծումից հետո ինտերֆերենցիայի և դիֆրակցիայի երևույթները շատ լայն կիրառություն գտան գիտության ու տեխնիկայի բազմաթիվ ճյուղերում, հատկապես օպտիկական հոլոգրաֆիայում և օպտիկական չափագիտությունում:

Մինչ այժմ դիտարկել ենք մոնոքրոմատիկ լույսը: Սակայն դեռևս Նյուտոնն է 1666 թ. նկատել լույսի գունային բարդ կառուցվածքը և հայտնաբերել լույսի դիսպերսիայի երևույթը: Նյուտոնը լույսի դիսպերսիա նկատել է բնության շատ երևույթներում, այնուհետև դիտել է նաև պրիզմայի և ոսպնյակի հետ կատարած փորձերում (ստացել է իր անունը կրող օղակները):



Նկար 5

Լույսի S աղբյուրից պրիզման լուսավորենք սպիտակ լույսով (նկ. 5): Պրիզմայից հետո դրված էկրանին կտեսնենք ծիածանի գույները՝ դասավորված հետևյալ հերթականությամբ. կարմիր, նարնջագույն, դեղին, կանաչ, երկնագույն, կապույտ և մանուշակագույն: Պրիզմայի վրա միայն կարմիր լույս զգենք, նրանից միայն կարմիր լույս դուրս կգա, եթե դեղին ու կապույտ զգենք, ապա պրիզմայից միայն դեղին ու կապույտ լույս դուրս կգա: Գունային այդ բազմությունը Նյուտոնն անվանել է սպեկտր: Որպեսզի համոզվենք, որ այդ երևույթը բացառապես լույսի գունային կառուցվածքի հետևանք է, պրիզմայից հետո մի այլ պրիզմա դնենք հակառակ ուղղությամբ բեկող անկյունով, ինչպես նկ. 6-ում: Կտեսնենք, որ S աղբյուրից ընկած սպիտակ լույսն առաջին



Նկար 6

պրիզմայում տարալուծվում է սպեկտրի, որն ընկնելով երկրորդ պրիզմայի վրա՝ դարձյալ միավորվում է և դառնում սպիտակ լույս:

Չափելով սպեկտրի ալիքի երկարությունը՝ տեսնում ենք, որ որքան փոքր է ալիքի երկարությունը, այնքան մեծ անկյամբ է նա բեկվում, այսինքն, այնքան մեծ է բեկման ցուցիչը: Դա նշանակում է, որ միջավայրի բեկման ցուցիչը կախված է ալիքի երկարությունից: **Այդ կախումն անվանում են դիսպերսային առնչություն, իսկ երևույթը՝ դիսպերսիա:**

Լույսի դիսպերսիայի հայտնի օրինակ է ծիածանը: Երբ մթնոլորտում առաջանում է ջրային կաթիլներով հարուստ շերտ, օրինակ, անձրևից հետո, ապա այդ շերտի բեկման ցուցիչը մեծանում է և մոտենում ջրի բեկման ցուցիչին: Եթե այդ շերտը գտնվում է դիտողի և լույսի աղբյուրի, ասենք Արեգակի միջև, ապա կարող է դիտվել **ծիածանի** կամարածև երփներանգը: Կա ժողովրդական կատակ. թե մարդ անցնի ծիածանի կամարի տակով մյուս կողմը, տղան աղջիկ կդառնա, աղջիկը՝ տղա: Դա հնարավոր չէ, քանի որ ծիածանը միշտ պետք է գտնվի մարդու և արևի միջև, այլևերպ չի դիտվի: Փոքրաչափ ծիածան կարելի է դիտել, եթե ցայտաղբյուրի շիթը մատով խաթարենք և ջրափոշի առաջացնենք: Նման երևույթ օգտագործվում է լուսային էֆեկտներ ստանալու համար: Երևանի Հանրապետության հրապարակում շատրվանների ջրափոշու միջոցով առաջացնում են թափանցիկ էկրան և հրապարակում զբոսնողները դիտում էն երաժշտական «կենդանի» կատարումներ: Շարժապատկերները ջրի այդ ամպի վրա ուղղորդում են Պատմության Թանգարանի տանիքահարկից՝ ստեղծելով իրականության գրավիչ պատրանք:



Նկար 7



Աղամյան Հովհաննես Աբգարի (1879 - 1932)

Հայ ճարտարագետ- գյուտարար: 1907թ. հայտնագործել է երկգույն հեռուստատեսությունը: Գունավոր հեռուստատեսության գյուտարար (1925թ.): Նրան է պատկանում նաև լուսահեռագրության գյուտը:

Լույսի գունային բարդ կառուցվածքն ունի նաև շատ լայն գիտատեխնիկական կիրառություն: Դեռևս Թ. Յունզն է ցույց տվել, որ տեսանելի տիրույթի ցանկացած գույնի լույս կարելի է ստանալ երեք տարբեր գույների լույսերի որոշակի խառնուրդից: Դա ակնառու երևում է գունավոր եռանկյունու նկարից (նկ. 7), որը կարելի է դիտել որպես որակական փորձ: Հ. Աղամյանն այս երևույթն օգտագործել է առաջին գունավոր հեռուստացույցը նախագծելու ժամանակ:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Պատկերացում կազմեցի՞ք լույսի ինտերֆերենցիայի, դիֆրակցիայի և դիսպերսիայի երևույթների մասին:
2. Հասկացե՞լ եք դիֆրակցիայի մաքսիմումի պայմանը:

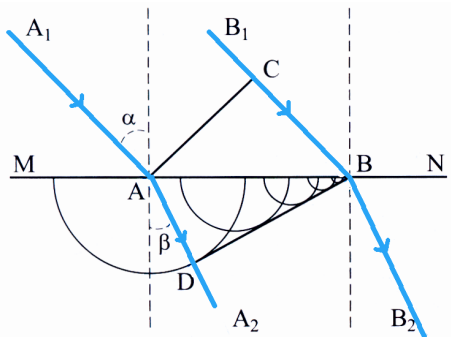
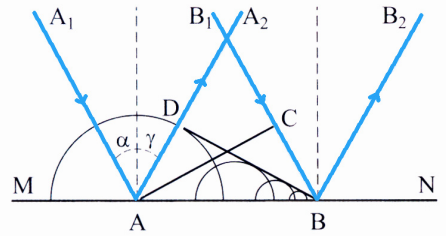
Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՞ք լույսի ինտերֆերենցիայի, դիֆրակցիայի և դիսպերսիայի երևույթները:
- 2*. **Խոնքային հանձնարարություն:** Հաշվե՞ք նկ. 6-ում բերված գունային եռանկյունում եղած գույները և որոշե՞ք, թե ծիածանի ո՞ր գույնն է այնտեղ պակասում: Իսկ ինչպե՞ս կփոխվեն գույները, եթե կարմիր, կանաչ ու կապույտ գույների բաժնեմասերը փոփոխենք:

§36*. Լույսի անդրադարձման և բեկման երևույթները ալիքային տեսությամբ

Երկրաչափական օպտիկայում լույսի անդրադարձման և բեկման օրենքները ստացանք փորձական եղանակով: Սակայն այդ օրենքները (ավելի ճիշտ կլիներ ասել կանոնները) կարելի է արտածել Հյուգենսի սկզբունքի հիման վրա:

Դիցուք երկու միջավայրերի MN սահմանին α անկյան տակ ընկնում է լույսի հարթ գուգահեռ փունջ, որը պարփակված է AA_1 և BB_1 գուգահեռ ճառագայթներով, իսկ ալիքի A_0C_0 ճակատը շարժվում է v_1 արագությամբ (նկ. 1ա և 1բ): Ալիքի A_0C_0 ճակատի A_0 ծայրը հենց հասնում է սահմանին՝ A կետը, այնտեղ



Նկար 1. ա, բ

առաջանում է երկրորդային ալիք, որը տարածվում է նույն միջավայրում դարձյալ v_1 արագությամբ, իսկ մյուս միջավայրում՝ v_2 արագությամբ: Լույսի արագությունը միջավայրում n անգամ փոքր է վակուումում լույսի c արագությունից, ուստի ունենք.

$$n_1 v_1 = c = n_2 v_2: \quad (1)$$

Ժամանակի հաջորդ պահերին ալիքի AC ճակատի մյուս կետերն են հասնում MN սահմանին՝ առաջացնելով դեպի երկու միջավայր տարածվող երկրորդային ալիքներ: Մինչև $\Delta t = CB/v_1$ ժամանակ հետո C կետը հասնի սահմանի B կետ, A կետում ծնված երկրորդային ալիքները կանցնեն $AD = v_1 \Delta t$ հեռավորություն առաջին միջավայրում (նկ. 1ա) և $AF = v_2 \Delta t$ երկրորդ միջավայրում (նկ. 1բ): $\triangle ACB = \triangle ADB$, քանի որ $AC \perp B_1B$, $BD \perp A_2A$, $AD = CB = v_1 \Delta t$, իսկ AB-ն էլ ընդհանուր է: Հետևաբար, $\alpha = \angle CAB = \angle ABD$ և անդրադարձման անկյունը՝ $\gamma = \angle ABD$ որպես փոխադրահայաց կողմերով անկյուններ, ուստի $\alpha = \gamma$, որն անդրադարձման օրենքն է:

Երկրորդ միջավայրում $\beta = \angle ABF$ որպես փոխադրահայաց կողմերով անկյուններ, ուստի արտահայտենք $\triangle ABC$ և $\triangle ABF$ ընդհանուր AB ներքնածիզը.

$$AC = AB \sin \alpha, \quad AF = AB \sin \gamma = v_2 \Delta t: \quad (2)$$

(1)-ից և (2)-ից անմիջապես բխում է բեկման օրենքը.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}: \quad (3)$$

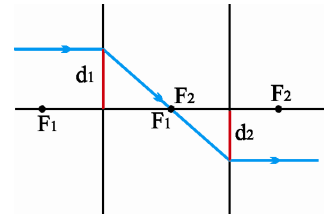
Լույսի էլեկտրադինամիկական տեսությունը հիմնավորում է Հյուգենսի սկզբունքը, նաև թույլ է տալիս գտնել էլեկտրական ու մագնիսական դաշտերի վարքը բեկման և անդրադարձման ժամանակ:

Այսպիսով կարող ենք եզրակացնել, որ «Երկրաչափական օպտիկա» և «Ալիքային օպտիկա» բաժանումը պայմանական բնույթ է կրում՝ թելադրված մեթոդական հարմարությունից: Դրանք երկուսն էլ ստացվում են էլեկտրադինամիկայի միևնույն տեսությունից:

Այս գլխում շարադրված արդյունքների կիրառության ոլորտն ընդգրկում է կենցաղային իրերից մինչև տիեզերական բարդ սարքավորումները: Ընդ որում կիրառական առումով որոշ նմանություններ կան հայելիների և ոսպնյակների միջև: Հավաքող ոսպնյակն ու գոգավոր հայելին կարող են կատարել նույն գործառույթը, իսկ ցրող ոսպնյակը և ուռուցիկ հայելին՝ նույն գործառույթը:

Խնդրի լուծման օրինակ:

Խնդիր: Երկու հավաքող նսայնյակների գլխավոր օպտիկական առանցքները համընկնում են և առաջինի աջ կիզակետը համընկնում է երկրորդի ձախ կիզակետի հետ (նկ. 2): Վերլուծել ճառագայթների ընթացքն այդ համակարգում:



Նկար 2

Լուծում: Պարզության համար տանենք գլխավոր օպտիկական առանցքին զուգահեռ և նրանից d_1 -ով հեռացված ճառագայթ: Առաջին նսայնյակից այն կանցնի F_1 կիզակետով և երկրորդ նսայնյակի վրա կընկնի որպես F_2 կիզակետով անցնող ճառագայթ, ուստի երկրորդ նսայնյակից դուրս կգա գլխավոր օպտիկական առանցքին զուգահեռ և նրանից d_2 -ով հեռացված: Ակնհայտ է երկու փաստ. $d_2/d_1 = F_2/F_1$ և ճառագայթը գլխավոր օպտիկական առանցքի մի կողմից անցել է մյուս կողմը:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Յուրացրեցի՞ք լույսի անդրադարձման ու բեկման օրենքի մեկնաբանությունն ու ստացումը լույսի ալիքային տեսությամբ:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՞ք լույսի անդրադարձման ու բեկման օրենքը լույսի ալիքային տեսությամբ:
2. Թվարկե՞ք և համեմատե՞ք օպտիկական պատկերը շրջելու եղանակները:

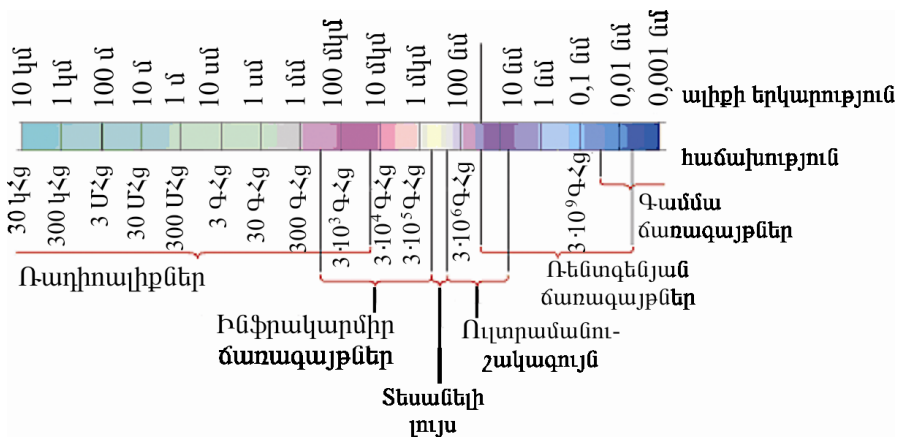
Ամփոփում: Սույն գլուխը, ինչպես նաև էլեկտրամագնիսականության բաժինը՝ կարող են մասամբ ներկայացնել **աշխարհի էլեկտրադինամիկական պատկերը:**

Տիեզերքի գոյությունն ու հատկությունները պայմանավորված են բնության հիմնարար փոխազդեցություններով, որոնցից մեկն էլ էլեկտրամագնիսականն է: Էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության և նաև էլեկտրամագնիսական ալիքների հայտնագործումն էլեկտրադինամիկայի մեծագույն նվաճումներից են և ամենակատարյալ ֆիզիկական տեսություններից մեկը:

Էլեկտրամագնիսական ալիքները շատ բազմազան են և առկա են եղել տիեզերքի ծագումից սկսած: Եթե ալիքի հաճախությունը լինի 1 հց, ապա ալիքի երկա-

րությունը կլինի 300.000 կմ, մի փոքր քիչ Երկիր-Լուսին հեռավորությունից: Մյուս կողմից կան նաև 10^{22} հց և ավելի մեծ հաճախություններ, որոնց ալիքի երկարությունը միջուկի կարգի է (10^{-14} մ) և ավելի փոքր: Նրանք բոլորը տարածվում են լույսի արագությամբ, բայց և ունեն տարբեր շատ հատկություններ ու կիրառության ոլորտներ:

Էլեկտրամագնիսական ալիքների սանդղակը բերված է նկ. 3-ում, որտեղ տեսանելի լույսը չնչին տեղ է զբաղեցնում՝ 0,8-0,4 միկրոմետր տիրություն:



Նկար 3

Հայ գիտնականները ևս մեծ ներդրում ունեն էլեկտրամագնիսականության ոլորտում: Արդեն նշել ենք Հ. Ադամյանին որպես գունավոր հեռուստատեսության ու հեռատեսագրության հեղինակի: Ս. Պետերբուրգի էլեկտրատեխնիկական դպրոցի առաջատարն այժմ Կ. Գեմիրճյանն է: Ա. Իոսիֆյանը էլեկտրամեխանիկայի հիմնադիրներից է: Նա ստեղծել է ունակային շարժիչները և նաև կատարելագործել է էլեկտրադինամիկայի հավասարումները, որոնք կոչվում են Մաքսվել-Իոսիֆյանի հավասարումներ: Ն. Քոչարյանը հիմնադրել է Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտը, որտեղ մի շարք կարևոր գիտական հայտնագործություններ են արվել առաջին անգամ: Մասնավորապես, Գ. Ղարիբյանը կառուցել է անցումային ճառագայթման տեսությունը, իսկ Հ. Գորխնազյանը մի խումբ հայ գիտնականների հետ կառուցել են օնդուլյատորային ճառագայթման տեսությունը: Այս երկու տեսությունների փորձնական հաստատման և հետագա զարգացման համար շնորհվել է երկու

Նորբելյան մրցանակ արտերկրյա գիտնականների: Հայկական այդ գիտական դպրոցները շարունակում են հաջողությամբ գործել նաև այսօր:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

1. 4 մ բարձրությամբ ուղղաձիգ ձողի ստվերը 0,8 մ է: Որքա՞ն է ծառի բարձրությունը, եթե այդ նույն պահին նրա ստվերի երկարությունը 10 մ է:
2. Լույսի աղբյուրի տրամագիծը 0,2 մ է, դրա հեռավորությունը էկրանից՝ 2 մ: Էկրանից ի՞նչ նվազագույն հեռավորությամբ պետք է տեղադրել 0,08 մ տրամագծով անթափանց գնդակը, որպեսզի այն էկրանին միայն կիսաստվեր առաջացնի: Լույսի աղբյուրի և գնդակի կենտրոններով անցնող ուղիղն ուղղահայաց է էկրանի հարթությանը:
3. Ի՞նչ անկյան տակ պետք է ճառագայթն ընկնի հարթ հայելու վրա, որպեսզի անդրադարձած ճառագայթն ուղղահայաց լինի ընկնող ճառագայթին:
4. Արեգակը գտնվում է հորիզոնից 20՝ բարձրության վրա: Հորիզոնի նկատմամբ ի՞նչ սուր անկյան տակ պետք է տեղադրել հարթ հայելին, որպեսզի նրանից անդրադարձած ճառագայթն ուղղված լինի ուղղաձիգ դեպի վեր:
5. Մարդը հարթ հայելուն մոտենում է 2 մ/վ արագությամբ: Ի՞նչ արագությամբ է նա մոտենում հայելում իր պատկերին:
6. Որքա՞ն է թափանցիկ դիելեկտրիկի բեկման ցուցիչը, եթե հայտնի է, որ վակուումից այդ դիելեկտրիկի վրա ընկնող ճառագայթի 45՝ անկման անկյան դեպքում բեկման անկյունը 30՝ է:
7. Լույսի ճառագայթն օդից ընկնում է $\sqrt{2}$ բեկման ցուցիչ ունեցող թափանցիկ դիելեկտրիկի վրա: Անկման անկյունը 45՝ է: Բեկման հետևանքով ի՞նչ անկյամբ է շեղվում ճառագայթն իր սկզբնական ուղղությունից:
8. Ի՞նչ անկյան տակ պետք է լույսի ճառագայթը վակուումից ընկնի $\sqrt{3}$ բեկման ցուցիչ ունեցող թափանցիկ դիելեկտրիկի վրա, որպեսզի բեկման անկյունը երկու անգամ փոքր լինի անկման անկյունից:
9. Հավաքող ոսպնյակի կիզակետային հեռավորությունը 3 մ է: Որքա՞ն է առարկայի հեռավորությունը ոսպնյակից, եթե այն 2 անգամ փոքր է, քան պատկերի հեռավորությունը ոսպնյակից:
10. Առարկան տեղադրված է հավաքող բարակ ոսպնյակի ձախ կիզակետից 0,25 մ դեպի ձախ: Առարկայի պատկերը ստացվում է ոսպնյակի աջ կիզակետից 0,36 մ դեպի աջ: Որքա՞ն է ոսպնյակի կիզակետային հեռավորությունը:

ՄԱԿՐՈՂԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱ

Գլուխ 11.

ՆՅՈՒԹԻ ՎԻՃԱԿՆԵՐԸ

§37. Նյութի կառուցվածք: Բրոունյան շարժում և դիֆուզիայի երևույթ

Մեխանիկայում ուսումնասիրել ենք մարմնի շարժումն արտաքին ուժերի ազդեցության տակ՝ համարելով մարմինը հոծ զանգված առանց ներքին կառուցվածքի: Ուստի համարել ենք, որ մարմինների ներսում ոչ մի ներքին շարժում չկա և հաշվի չենք առել մարմնի վիճակի ոչ մի բնութագրիչ: Նյուտոնի դինամիկայի ընդհանրացումը հսկայական քանակի մասնիկներից բաղկացած համակարգերի համար պահանջեց սկզբունքորեն նոր մոտեցում: Դա հանգեցրեց վիճակագրական ֆիզիկայի ստեղծմանը, որին նախորդեց երևութաբանական և հիմնականում փորձնական ուսմունք՝ ջերմադինամիկան:

Փորձերից հայտնի է, որ մարմիններն օժտված են նաև ջերմային հատկություններով: Ընդ որում միևնույն մեխանիկական պայմաններում գոյություն ունեն մարմնի իրարից տարբերելի վիճակներ, որոնք չեն նկարագրվում մեզ հայտնի մեխանիկական պարամետրերով: Ֆիզիկայի զարգացման վաղ շրջանում ենթադրել են, որ բացի նյութի քանակից, մարմինները լցված են նաև երևակայական ջերմածնով: Ջերմածնի ուսմունքը ևս չէր ենթադրում մարմնի ներքին կառուցվածքի հնարավորությունը: Փորձերը հերքեցին այդ ուսմունքը: Նախ, ջերմածին կոչվածը երբեք չհայտնաբերվեց անմիջականորեն: Հետո էլ տարբեր երևույթների բացատրության համար հաճախ նոր հատկություն էին վերագրում ջերմածնին: Վերջա-

պես, փորձերն անառարկելի փաստեցին մարմինների ներքին կառուցվածքի առկայությունը՝ հարկադրելով մինչ այդ եղած բոլոր մոտեցումները վերանայել:

Այսպես՝ ոսկու ձուլածո կտորը կարող ենք մանր մասերի բաժանել, հետո ամեն մաս դարձյալ մանրել, միևնույն է, ամեն փոքր մասնիկ իր հատկություններով մնում է ոսկի: Ավելին, կարելի է մեծ ճնշման կամ բարձր ջերմաստիճանում այդ փշուրներից կրկին վերականգնել ոսկու նույն կտորը: Երևույթը չի փոխվի, որքան էլ մանրացնենք կտորները: **Ինչու՞ է այդպես և որտե՞ղ է մանրանալու սահմանը:**

Մի այլ օրինակ է մարմինների դեֆորմացիան արտաքին ուժերի ազդեցության տակ. տարբեր նյութեր տարբեր չափով, բայց բոլորը դեֆորմացվում են՝ փոխելով իրենց ձևն ու չափերը: Մարմիններն իրենց չափերը մեծացնում կամ փոքրացնում են նաև տաքանալիս կամ սառելիս: Վերցնենք կվարցե խողովակ, մեջը սառույցի փոքր կտոր տեղավորենք և երկու կողմն էլ փակենք: Երբ տաքացնենք, սառույցը կդառնա ջրի կաթիլ, իսկ երբ մի քիչ էլ տաքացնենք (կամ երկար ժամանակով թողնենք տաք սենյակում), այն կգոլորշիանա, կարծես կանհետանա: Իսկ երբ սկսենք դանդաղ սառեցնել, ի հայտ կգա ջրի կաթիլը, հետո՝ նաև սառույցը:

Այսօրինակ բոլոր երևույթները գիտական բացատրություն են ստանում նյութի ներքին կառուցվածքի գոյությամբ: Սրա հիման վրա ձևակերպենք հետևյալ վարկածը. ***ցանկացած նյութի համար գոյություն ունի այդ նյութի ֆիզիկաքիմիական հատկությունները կրող փոքրագույն մասնիկ, իսկ նյութը հանդիսանում է այդ մասնիկների մակրոհամակարգ*** (այսինքն, շատ մեծ թվով այդպիսի մասնիկների՝ **կորպուսկուլների** հանրույթ):

Այդպիսի մասնիկներն անվանեցին մոլեկուլներ, որոնք, ըստ քիմիկոսների, ֆիզիկորեն անբաժանելի են, քիմիապես՝ բաժանելի: Մոլեկուլներն իրենց հերթին բաղկացած են ավելի փոքր մասնիկներից՝ ատոմներից, որոնք արդեն քիմիապես անբաժանելի են (հունարեն **սպոս** բառը նշանակում է **անբաժանելի**): Գուցե զավեշտական է, բայց պարզվեց, որ ատոմները ֆիզիկորեն բաժանելի են և ունեն շատ բարդ ներքին կառուցվածք: *Այս կապակցությամբ հարկ է ընդգծել, որ ամեն տեսության մեջ նրա կառուցվածքային տարրի ներքին կառուցվածքն անտեսվում է՝ համարելով տարրը համասեռ հոծ գոյակցություն: Մեխանիկայում մարմինը համարվում է հոծ նյութ, մոլեկուլային-կինետիկ տեսությունում մոլեկուլը և ատոմն են հոծ համարվում, ատոմային և միջուկային ֆիզիկայում հոծ են համարվում էլեկտրոնը, պրոտոնը, նեյտրոնը և այլն:*

Ի հաստատում նյութի մասնիկային (կորպուսկուլային) կառուցվածքի բերենք Ռեյլիի առաջարկած փորձը: Հանդարտ ջրի մակերևույթին լցնենք ջրում չլուծվող V

ծավալի որևէ հեղուկ, օրինակ, կերոսին կամ յուղ: Որոշ ժամանակ հետո այն կտարածվի ջրի մակերևույթի վրա բարակ թաղանթով, որը միշտ կունենա S մակերես, չնայած կընդունի տարբեր ձևեր: Այստեղից հետևում է, որ յուղը չի կարող ինչ-որ նվազագույն d հաստությունից ավելի բարակ շերտաթաղանթ կազմել, ուստի d -ն կարող ենք համարել յուղի մասնիկի մոտավոր չափը: Եթե լցնենք $V = 1\text{մ}^3$ ծավալով յուղ, ապա թաղանթի մակերեսը կլինի $S = 5\text{մ}^2$, ուստի $d = 2 \cdot 10^{-10}\text{մ} = 2$ անգստրեմ:

Տարբեր նյութերի մոլեկուլները պարունակում են տարբեր քանակի ատոմներ: Մի շարք նյութեր (Մենդելեևի աղյուսակի շատ մետաղներ, իներտ գազերը, սիլիցիումը, ածխածինը և այլն) միատոմ են, ջրածինը, թթվածինը և շատ այլ գազեր երկատոմ են կամ ունեն ավելի շատ ատոմներ (ածխաթթու գազի մոլեկուլը կազմված է մեկ ածխածնի և երկու թթվածնի ատոմից), սպիտակուցները պարունակում են հազարից ավելի, պոլիմերները տասնյակ հազար, իսկ կաուչուկները կես միլիոն ատոմներ:

Իմանալով մոլեկուլների չափերը, կարելի է մոտավոր հաշվել նրանց կոնցենտրացիան (քանակը միավոր ծավալում) $n \approx d^{-3}$ առնչությամբ: Կարող ենք նաև մոլեկուլի զանգվածը գնահատել: Օրինակ, ջրի մոլեկուլի համար $d \approx 3 \cdot 10^{-10}$ մ, ուստի 1 լիտրում կա $\approx 3,7 \cdot 10^{25}$ մոլեկուլ, բայց քանի որ 1 լիտր ջրի զանգվածը 1 կգ է, ապա ջրի մեկ մոլեկուլի զանգվածը կլինի $\approx 3 \cdot 10^{-26}$ կգ: Այս արդյունքը թույլատրում է նյութի քանակը՝ զանգվածը, արտահայտել նյութում մոլեկուլների քանակով: 12 գրամ ածխածնում եղած ատոմների քանակն անվանում են Ավոգադրոյի թիվ, որը ունիվերսալ հաստատուն է, ցույց է տալիս 1 մոլ նյութի քանակում եղած մոլեկուլների թիվը և հավասար է $N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{մոլ}^{-1}$: Այսինքն, տվյալ նյութի 1 մոլը նյութի այն քանակն է, որը պարունակում է տվյալ նյութի N_A հատ մոլեկուլներ: Որ Ավոգադրոյի N_A թիվը ունիվերսալ հաստատուն է, բխում է *Ավոգադրոյի օրենքից*, ըստ որի **ցանկացած նյութի 1 մոլը պարունակում է միևնույն քանակի՝ N_A թվով մոլեկուլներ**: Հիմա գիտության որոշ ոլորտներում մարմնում եղած մասնիկների քանակը շատ հաճախ չափում են մոլերի քանակով (նյութի քանակով) ըստ $N = \nu \cdot N_A$ բանաձևի, որտեղ ν -ն մոլերի քանակն է:

20-րդ դարի սկզբում արդեն հայտնագործված ռենտգենյան ճառագայթների օգնությամբ անվիճելի ապացուցվեց նյութի մոլեկուլային կառուցվածքը և ավելի ճշգրտվեցին նախկինում ստացված քանակական տվյալները: Նաև սկսեցին ուսումնասիրել նյութերի, հատկապես բյուրեղային, կառուցվածքի երկրաչափական

ու ներքին շարժումների որոշ հատկություններ: Արդեն դարավերջին իոնային մանրադիտակով դիտեցին և նկարեցին առանձին մեծ մոլեկուլներ, ուժային թունելային մանրադիտակով սովորեցին բյուրեղում բռնել ու տեղաշարժել անգամ առանձին ատոմներ: Նանոտեխնոլոգիական եղանակներով հաջողվեց ստանալ մի քանի տասնյակ ատոմների կանոնավոր կազմավորումներ՝ ֆուլերեններ, առանձին ատոմական հարթություններ՝ գրաֆեններ, և այլն: Սկսեցին կիսահաղորդիչներում խառնուրդային առանձին ատոմների հիման վրա մշակել և ստեղծել ապագայի գերիզուցող համակարգիչներ: Նյութի ներքին կառուցվածքը և նրանով պայմանավորված հատկությունները դարձան քաղաքակրթության տարր:

Ավստրիացի հռչակավոր գիտնական Լյուդվիգ Բոլցմանը համակարգեց այն ժամանակ հայտնի փորձնական հիմնական արդյունքները և ստեղծեց նոր ուսմունք: Ցանկացած նյութական մարմին բաղկացած է մոլեկուլներից, որոնցից յուրաքանչյուրը մարմնից դուրս գտնվող դիտորդի համար հանդիսանում է նյութական կետ: Եվ քանի որ մենք գիտենք նյութական կետի մեխանիկական, ապա նրա օգնությամբ սկզբունքորեն կարող ենք որոշել մարմնի ամեն մի մասնիկի վիճակը, հետևաբար, մարմնի վիճակը: Սակայն մարմնում մասնիկների շատ մեծ քանակի պատճառով այդ սկզբունքային հնարավորությունը իմաստագրվում է: Նախ, դա գործնականում անիրականացնելի հսկայածավալ աշխատանք է, քանի որ հարկ կլինի գտնել 10^{25} - 10^{26} հատ շարժման հավասարման լուծումներ: Նույնիսկ եթե գտնենք էլ, միևնույնն է, արդյունքը տեխնիկապես չենք կարող ներկայացնել կամ գրել (եթե մի մասնիկի շարժման օրենքի բանաձևը 5 սմ երկարություն ունենա և միմյանց ետևից շարենք, ապա ամբողջ շարքի երկարությունը ավելի քան 6 միլիարդ անգամ կգերազանցի Երկրի Արեգակից ունեցած հեռավորությունը):

Վերջապես, մարմնի հատկություններից են նաև նրա ջերմային հատկությունները, որոնք, թեկուզև էմպիրիկ մակարդակով, մասամբ նկարագրված են մի քանի ոչ մեխանիկական մեծություններով՝ ջերմաքանակ, ջերմաստիճան և այլն: Ուստի, եթե կառուցվի մեխանիկական հենքով մոլեկուլյար տեսություն, ապա անհրաժեշտ է լինելու ջերմային ու մեխանիկական մեծությունների միջև որոշ կապերի հաստատում:

Բրոունյան շարժում և դիֆուզիայի երևույթ: Ռ. Բրոունը 1827 թ. փորձնականորեն հայտնաբերել է հեղուկում կախույթային վիճակում գտնվող որոշ մասնիկների՝ բրոունյան մասնիկների անընդհատ քառասային շարժման երևույթը, որը կոչվել է բրոունյան շարժում: Բրոունը մանրադիտակով դիտեց ջրի կաթիլի մեջ լողացող գետնամուշկի հատիկների չղաղարող անկանոն շարժումը: Նա նաև

նկատեց, որ որքան տաք է ջուրը, այնքան արագ են շարժվում բրոունյան մասնիկները՝ գետնամուշկի հատիկները: Հավասար ժամանակահատվածը մեկ որոշեց բրոունյան մասնիկների տեղը, դրանք ուղիղ գծով միացրեց և ստացավ նկ. 1-ում բերված հետագծերը:



Նկար 1

Բրոունյան շարժման որակական բացատրությունը տրվեց 19-րդ դարի երկրորդ կեսին, իսկ քանակական տեսություն արեղծեցին Ա. Էյնշտեյնը (1905 թ.) և Մ. Սմոլուխովսկին (1906 թ.), ըստ որի մասնիկների պարահասկան բնույթ ունեցող անկանոն շարժումները կատարվում են խիստ որոշակի օրինաչափություններով: Մասնավորապես, Էյնշտեյնը ցույց տվեց, որ t ժամանակամիջոցում բազմաթիվ բախումների հետևանքով բրոունյան մասնիկը կատարում է միջին հաշվով որոշակի ուղղությամբ վերջավոր տեղափոխություն, որի մոդուլի մեծությունը ենթարկվում է մի օրինաչափության՝ $|S| \sim \sqrt{t}$, որն էապես տարբերվում է հավասարաչափ շարժման $|S| \sim t$ և հավասարաչափ արագացող շարժման $|S| \sim t^2$ օրինաչափություններից: Այս տարբերությունները վկայում են, որ բրոունյան շարժումը նոր բնույթի՝ վիճակագրական բնույթի, շարժում է: Ժ. Պեռենը փորձով հաստատեց այդ տեսությունը:

Բրոունյան շարժման հետևանք, ուստիև ապացույց է հանդիսանում նաև բնության մեջ ամենատարածված երևույթը՝ դիֆուզիան: **Դիֆուզիան** նյութի ինքնատարածման երևույթ է, որը տեղի է ունենում առանց արտաքին գործոնների միջամտության և որի շնորհիվ նյութը կարող է ներթափանցել մի այլ նյութի մեջ:

Դիֆուզիայի շարժիչ ուժը մակրոհամակարգի ձգտումն է անցնելու հավասարաչափ, համասեռ բաշխման վիճակի, որը նման է մեխանիկայում համակարգի ձգտմանը նվազագույն էներգիայի վիճակին: Այսինքն, եթե համակարգում ինչ-որ նյութ բաշխված է անհամասեռ՝ մի տեղ շատ, մի այլ տեղ քիչ, ապա նյութը *ինքնաբերաբար* ձգտում է այդ անհամասեռության վերացմանը: Բրոունյան շարժումը, որպես մոդել, բացատրում է դիֆուզիային շարժումը, իսկ դիֆուզիայի գոյությունը հիմնավորում է բրոունյան մոդելը: Ուսումնասիրենք բրոունյան և դիֆուզիային շար-

ժուճները փորճնականորեն: Եթե սենյակի ձախ անկյունում կաթեցնենք օճանելիքի մի կաթիլ, ապա շուտով ողջ սենյակում մենք նրա հոտը կզգանք: Եթե այդ նույնը կամ այլ օճանելիք փչեինք օդում, ապա ավելի շուտ նրա հոտը կտարածվեր: Հոտի զգացում առաջացնում են օճանելիքի մասնիկները: Նրանք կատարում են քառասային շարժում, բայց մի անկյունում, ասենք ձախ, նրանք շատ են, քան այդ անկյունում: Ուստի ձախից այդ ավելի շատ մասնիկներ են շարժվում, քան աջից ձախ: Արդյունքում առաջանում է ձախից դեպի այդ դիֆուզային ուղղորդված շարժում միայն շնորհիվ *մասնիկների քանակների տարբերության*: Իսկ կաթիլի դեպքում մասնիկները նախ պիտի դուրս գան կաթիլից և նոր միայն դիֆուզվեն դեպի մյուս անկյուն: Կաթիլից դուրս գալը ուղացնում է մասնիկների դիֆուզային շարժումը, ուստիև հոտի տարածումը: Միայն այս փորճից մենք չենք կարող պնդել, թե սա *միակ* բացատրությունն է: Բայց կարող ենք պնդել, որ բրուսյան մոդելը և դիֆուզիան սպառնիչ բացատրում են հոտի տարածման երևույթը:

Պնդումը, որ դիֆուզային շարժումը կատարվում է ինքնաբերաբար, և առանց արտաքին գործոնների ազդեցության, դեռ չի նշանակում, որ արտաքին գործոնների առկայությամբ այն տեղի չի ունենա: Օրինակ, դիտարկենք հոտի տարածումը քամու առկայությամբ: Կնկատենք, որ քամու ուղղությամբ ուժգին ու արագ է տարածվում հոտը, քան քամուն ուղղահայաց ուղղությամբ, և ամենադանդաղը տարածվում է քամուն հակառակ ուղղությամբ: Այս երևույթն առկա է անգամ կենդանական աշխարհում. որսին գազանը մոտենում է քամուն հակառակ, որպեսզի իր հոտը որսին ուշ և թույլ չափով հասնի:

Հեղուկներում ուղղակի տեսանելի է դիֆուզիայի երևույթը: Օրինակ, ջրի մեջ լցնենք կալիումի պերմանգանատի մի քանի փոշեհատիկ և անմիջապես կնկատենք նրանց լուծվելը ջրում: Որոշ ժամանակ հետո ջրի ողջ ծավալը կներկվի մանուշակագույնով: Եթե չափենք դիֆուզիայի ժամանակը (այսինքն, գունավորման ժամանակը), ապա կհաստատենք երկու օրինաչափություն. դիֆուզիայի արագությունը մեծանում է հեղուկի ջերմաստիճանի բարձրացման հետ, դիֆուզիայի արագությունը նվազում է հեղուկի խտության աճման հետ:

Պինդ նյութերում ևս կա դիֆուզիայի երևույթը, սակայն շատ ավելի դանդաղ: Եթե կապարի վրա դնենք ոսկե թիթեղ, նրա վրա էլ ծանր մարմին, ապա մի տարի հետո իրարից անջատելիս կնկատենք, որ ոսկու որոշ ատոմներ փայլում են կապարի խորքում, ընդ որում, նվազելով խորության աճման հետ:

Եթե նյութում դիֆուզային շարժման ենթակա մի շարք մասնիկներ կան, ապա նրանք բոլորը միաժամանակ իրականացնում են իրենց դիֆուզային շարժումը միմյանցից անկախ՝ յուրաքանչյուրն իր արագությամբ:

Դիֆուզիայի երևույթն ունիվերսալ է, առկա է գրեթե ամենուրեք և կիրառվում է գիտության մեջ, ֆիզիկաքիմիական տեխնոլոգիաներում, էլեկտրոնիկայում և շատ այլ ոլորտներում: Ի դեպ, հասարակագիտության մեջ մշակվել է գաղտնի լուրի տարածման դիֆուզային մոդել, երբ լուրի աղբյուրից տեղեկացված անձը պատահական հանդիպում է իր վստահելի ծանոթին և 50% հավանականությամբ (այն է՝ երկուսից մեկին) հայտնում է այդ լուրը, սա էլ նման կերպ իր ծանոթներին և այլն: Այս մոդելը կառուցվել է դիֆուզային շարժման նմանակմամբ և կոչվում է դիֆուզային մոդել:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք մոլեկուլների չափերի որոշման եղանակը:
2. Յուրացրե՞ցի՞ք նյութի մոլեկուլային կառուցվածքի առաջարկի ձևակերպումը:
3. Հասկացե՞լ եք Բրոունի փորձը և բրոունյան շարժումը:
4. Յուրացրե՞ցի՞ք դիֆուզային երևույթի գաղափարը:
5. Ըմբռնե՞ցի՞ք բրոունյան շարժման ու դիֆուզային երևույթի կապը:
6. Ընկալե՞լ եք դիֆուզային շարժման հավանականային՝ վիճակագրական բնույթը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Ձևակերպե՛ք Ավոգադրոյի օրենքը:
2. Տվե՛ք դիֆուզիայի երևույթի սահմանումը և նշե՛ք դիֆուզային շարժման առանձնահատկություններն ու օրինաչափությունները:
3. Մեկնաբանե՛ք դիֆուզիայի արագությունը տարբեր ագրեգատային վիճակների դեպքերում և կատարե՛ք համեմատումներ: Բացատրե՛ք դիֆուզիայի երևույթի կախումը ջերմաստիճանից և նյութի խտությունից:
4. **Խմբային առաջադրանք:** Կառուցե՛ք դիֆուզիայի օրինակ ոչ ֆիզիկական համակարգում:

§38. Մոլեկուլային կինետիկ տեսության հիմնադրույթները

Նյութի մասնիկային կառուցվածքը պահանջում էր նոր մոտեցում և կինետիկական տեսության ստեղծում, որը մի կողմից հարմար բացատրություն կտար բացահայտված բոլոր երևույթներին, մյուս կողմից կկանխագուշակեր նոր երևույթներ: Այդ նպատակով Բոլցմանը դիմամիկան հարստացրեց ու լրացրեց հետևյալ երեք հիմնադրույթներով.

1. Բոլոր նյութերը բաղկացած են մոլեկուլներից, մոլեկուլներն էլ՝ ատոմներից, իսկ ատոմները համասեռ հոծ գնդիկներ են առանց ներքին կառուցվածքի:

2. Նյութի մեջ բոլոր մոլեկուլները և ատոմները գտնվում են անընդհատ, կատարյալ անկանոն՝ քառսային շարժման մեջ:

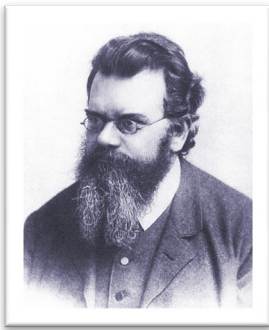
3. Նյութի մոլեկուլները և ատոմները միմյանց հետ փոխազդում են վանողական ու ձգողական ուժերով, ընդ որում պարտադիր գոյություն ունի հավասարակշռության դիրք:

Սեկնաբանենք այս հիմնադրույթների իմաստը և բերենք որոշ փաստարկներ ի հաստատում դրանց:

Առաջին հիմնադրույթում նյութի մոլեկուլյար կառուցվածքը փորձնական հաստատված փաստ է: Այնտեղ ենթադրականն ատոմների առանց ներքին կառուցվածքի հոծ գնդիկներ լինելն է, որն ընդունում ենք որպես մոդել, որպեսզի կառուցենք մակրոհամակարգի որոշակի հատկություններ բացատրող տեսություն: Այդպիսի մոտեցումը հաճախ արդարացվում է նաև այն դեպքում, երբ հաստատապես գիտենք, որ ատոմն ունի ներքին կառուցվածք: Դա ճիշտ է բոլոր այն երևույթների համար, որոնք կախված չեն ատոմի ներքին կառուցվածքից:

Երկրորդ հիմնադրույթը լիովին նոր է, շատ խորն ու կարևոր, բայց և անապացուցելի: Իհարկե, որոշ փորձնական ու տեսական հիմքեր կային նաև այս կանխադրույթի «անընդհատ շարժում» և «կատարյալ անկանոն շարժում» արտահայտությունների համար: Սակայն բուն պատճառը կենսունակ տեսություն կառուցելու համար, անհրաժեշտ հիմքերի ստեղծումն էր: Պարզաբանենք «կատարյալ անկանոն շարժում» հասկացությունը և նրա դերը տեսության կառուցման գործում: Մենք գիտենք, որ տարածությունն իզոտրոպ է, այսինքն, նրա բոլոր ուղղություններն իրավահավասար են, նույն հատկություններն ունեն, ոչ մի ուղղություն մյուսից գերադասելի չէ: Սակայն իզոտրոպ տարածության մեջ շարժումը կարող է լինել որևէ ուղղությամբ գերադասելի: Օրինակ, ազատ շարժվող մարմնի համար գերադասելի է իր սկզբնական արագության ուղղությունը: Որոշակի պայմաններում,

ասենք, ուժի ազդեցության դաշտում, ուժի ուղղությունը գերադասելի է մասնիկների շարժման համար և նրանք կատարում են ուղղորդված, կարգավորված շարժում: Շարժումն անկանոն է, եթե այն մասամբ է կարգավորված կամ էլ չկարգավորված է: Դա նշանակում է, որ շարժում հնարավոր է բոլոր ուղղություններով, բայց ոչ համահավասար կարգով: Եթե շարժումն այնպիսին է, որ բոլոր ուղղություններով հավասարհավանական է, նույնչափ և նմանապես է կատարվում, ապա կոչվում է կատարյալ անկանոն կամ որ նույնն է՝ քառասային: Տարածության իզոտրոպությունը տարածության հատկությունն է, ընդհանուր բնույթի է և կախված չէ նրանում կատարվող որևէ շարժումից: Շարժման իզոտրոպությունն, այսինքն, քառասայնությունը՝ կատարյալ անկանոնությունը, մասնավոր բնույթի է, միայն այդ շարժման հատկությունն է: Հիմա տեսենք ի՞նչ է բխում շարժման քառասայնությունից:



Քուցման Լյուդվիգ (1844 - 1906)

Ավստրիացի մեծ ֆիզիկոս, վիճակագրական ֆիզիկայի հիմնադիրներից: Հիմնական աշխատանքները վերաբերում են մոլեկուլային ֆիզիկային, ջերմադինամիկային և ճառագայթման տեսությանը: Ապացուցել է ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի վիճակագրական բնույթը:

Նախ, շարժման քառասայնությունից բխում է, որ տվյալ Δt ժամանակում մասնիկն ինչ-որ ուղղությամբ եթե կատարի S տեղափոխություն, ապա նույն հավանականությամբ հակառակ ուղղությամբ կկատարի $(-S)$ տեղափոխություն և միջին հաշվով տեղափոխություն չի կատարի, հետևաբար, այդ ուղղությամբ միջին արագությունը կլինի 0: Հետևաբար՝

$$\bar{v}_x = \bar{v}_y = \bar{v}_z = \bar{v} = 0, \quad (1)$$

որտեղ տառի գլխի գծիկը ցույց է տալիս միջին արժեքը: Ակնհայտ է նաև, որ $v_x^2 + (-v_x)^2 \geq 0$, քանի որ, աջ թե՛ ձախ շարժվի, միևնույն է, տեղափոխությունների քառակուսիները դրական են անկախ տեղափոխությունների նշանից: Ավելին, որպեսզի շարժումը լինի **անընդհատ**, այդ գումարը չի կարող 0 դառնալ, քանի որ շարժումը կդադարի: Ուստի $\overline{v_x^2} \neq 0$: *Արագության քառակուսու միջինն*

անվանում են միջին քառակուսային արագություն: Իսկ շարժման քառասյնությունից էլ բխում է, որ միջին քառակուսային արագության համար տեղի ունի.

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} : \quad (2)$$

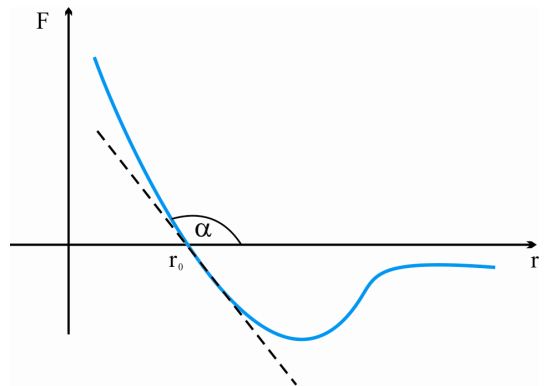
Բայց քանի որ $v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 = v^2$, ապա տեղի ունի նաև հետևյալ հավասարությունը.

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_x^2} + \overline{v_x^2} , \quad (3)$$

Ուստի (2)-ից և (3)-ից հետևում է, որ

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2} : \quad (4)$$

Այսպիսով, (1)-(4) առնչություններն «անընդհատ քառասյին շարժում» արտահայտության մաթեմատիկական մոդելն են և մաթեմատիկական դրսևորումը: Իսկ ֆիզիկայի տեսանկյունից այն, ինչպես կոտեսները հետո, արդեն իսկ պարունակում է ջերմադինամիկայի 2-րդ և 3-րդ սկզբունքների սաղմերը, նաև վիճակի հավասարումը (Նյուտոնի 2-րդ օրենքով հանդերձ): Ահա թե որքան հանճարեղ էր Բոյլմանի հասարակ թվացող 2-րդ կանխադրույթն իր երկու բառով՝ «անընդհատ քառասյին»: Այս դրույթը փաստող հիմք են հանդիսացել բրոունյան շարժումն ու Պեռենի փորձերը:



Նկար 1

Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության

3-րդ հիմնադրույթի փորձնական հիմքը նախ նյութական մատերիայի գոյությունն է պինդ, հեղուկ և գազային մարմինների տեսքով: Ըստ առաջին կանխադրույթի նյութական մարմինները բաղկացած են մասնիկներից, իսկ ըստ 2-րդ կանխադրույթի այդ մասնիկներն անընդհատ շարժվում են և առանց արտաքին ազդեցությունների: Եթե չլինեին նաև ներքին փոխազդեցություններ, ապա այդ մասնիկները կլինեին ազատ շարժվող (զերծ ամեն տեսակ ազդեցություններից), ուստի կպահպանեին իրենց ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման վիճակը և կգնային անվերջություն՝ լքելով մարմինը: Եվ մարմիններ չէին լինի, այնինչ կան, այն էլ բազմապիսի: Այստեղից եզրակացնում ենք, որ կան ներքին ուժեր, որոնց շնորհիվ էլ կան մարմիններ: Այդ ուժերը չէին կարող լինել միայն վանողական, քանի որ միմյանցից վանվելով, մասնիկներն իրարից անընդհատ կհեռանային, մարմիններն էլ անընդ-

հատ կընդարձակվեին, որը բնավ չի դիտվում բնության մեջ: Բայց այդ ուժերը չէին կարող լինել նաև միայն ձգողական, քանի որ այդ դեպքում մասնիկները միմյանց ձգելով՝ անընդհատ կմոտենային իրար, կսեղմվեին և կետ կդառնային, որը բացառում է նաև փորձը (օրինակ, յուղի շերտը ջրի վրա):

Այսպիսով, նյութի գոյություն ունենալը պահանջում է, որպեսզի ցանկացած նյութի մասնիկների միջև գոյություն ունենան ձգողական ու վանողական բնույթի փոխազդեցության ուժեր միաժամանակ: Ավելին, այդ ուժերը պիտի լինեն այնպիսին, որ ամեն մասնիկի համար գոյություն ունենա հավասարակշռության վիճակ, երբ նրա վրա ազդող ուժերի գումարը զրո է (r_0 կետը նկ. 1-ում): Նկ. 1-ից նաև բխում է, որ ուժը վերադարձնող է, քանի որ ուժի F պրոյեկցիան $F > 0$, եթե $r < r_0$, և $F < 0$, եթե $r > r_0$: Իսկ եթե r և r_0 կետերը միմյանց շատ մոտ են, ապա այդ ուժը նաև առաձգական է և տեղի ունի Հուկի օրենքը՝ $F = -k(r - r_0)$, որտեղ $(-k) = \text{tg } \alpha$ մեծությունը r_0 կետում գրաֆիկի շոշափողի անկյունային գործակիցն է: Քանի որ առանց իմանալու մոլեկուլների և ատոմների ներքին կառուցվածքը մենք չենք կարող պարզել նրանց միջև գործող փոխազդեցության ուժերի բնույթը (հատկապես որ մենք համարել ենք մասնիկները էլեկտրաչեզոք), ուստի այն որպես կանխադրույթ ենք ընդունել: Հետագայում պարզվել է, որ ատոմներն էլ բաղկացած են դրական լիցքավորված միջուկներից ու բացասական լիցքավորված էլեկտրոններից, որոնք իրար հետ *նույնական են՝ իրարից տարբերելի չեն*: Եվ միայն դրանից հետո է պարզվել, որ այդ ուժերը պայմանավորված են *նույնական էլեկտրոնների և միջուկների էլեկտրասազնիսական փոխազդեցությամբ*:

Այս փոխազդեցության ուժերը թույլատրում են դասակարգել նյութերն ըստ ազդեցատային վիճակների:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք Բոլցմանի առաջին կանխադրույթի իմաստն ու նշանակությունը:
2. Յուրացրե՞ցի՞ք «կատարյալ անկանոն» արտահայտության իմաստը, դերակատարումն ու նշանակությունը:
3. Հասկացե՞լ եք նյութի մասնիկների միջև փոխազդեցության առկայության անհրաժեշտությունը:
4. Ընթռնե՞ցի՞ք, թե ինչի՞ համար են նյութի մասնիկների միջև փոխազդեցության ուժերի համակշռված արժեքները (հավասարակշռության դիրքերը):

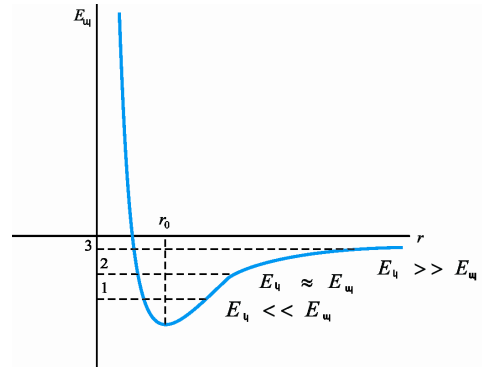
Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Քառասային շարժման միջին արագությունը և միջին քառակուսային արագությունն h° նչ հատկություններ ունեն:
2. Հաշվե՞ք այն մակերեսը, որը կգբաղեցնեն 2 լիտր կերոսինը, եթե նա լցված լիներ հանդարտ ջրի մակերեսին: Կերոսինի տվյալները վերցնել աղյուսակից: Կերոսինի մոլեկուլի տրամագիծը համարել $1,6 \cdot 10^{-10}$ մ:
3. Դիցուք ինչ-որ նյութի համար փորձարարական եղանակով գտնվել է նկ. 1-ի կորը: Ինչպե՞ս կչափեք այդ նյութի առաձգականության գործակիցը: Ինչպե՞ս կորոշեք Հուկի օրենքի կիրառելիության տիրույթը:
4. **Խմբային առաջադրանք:** Ի՞նչ տվյալներ են անհրաժեշտ փորձարարական եղանակով ստացված նկ. 1-ի կորից տվյալ նյութի տեսակը որոշելու համար:

§39. Նյութի ագրեգատային վիճակներ: Վիճակի հավասարում

Սովետական-կինետիկ տեսության կանխադրույթների համաձայն ցանկացած մակրոհամակարգում ամեն մասնիկ ունի E_k կինետիկ և $E_{պ}$ պոտենցիալ էներգիա, քանի որ մասնիկները գտնվում են անընդհատ շարժման մեջ և փոխազդում են միմյանց հետ: Այդ մասնիկները նաև անընդհատ բախվում, հարվածում են միմյանց, այլ կերպ շարժումը չէր լինի քառասային: Ընդ որում այդ բախումները պատահական երևույթ են, ուստի ունեն հավանականային

(և վիճակագրական) բնույթ: E_k կինետիկ էներգիան կախված է նյութի **վիճակից** (մասնիկները ինչպիսի՞ արագությամբ են շարժվում, նյութը տա՞ք է, և այլն) և **վիճակի բնութագիր է**, իսկ $E_{պ}$ պոտենցիալ էներգիան կախված է այդ նյութի **տեսակից** և **նյութի բնութագիր է**: Եթե տրված է նյութը, ապա տրված է փոխազդեցության էներգիայի կորը: $E_{պ}$ պոտենցիալ էներգիան ծնում է



Նկար 1

վերադարձնող ուժ, որի մոդուլը համեմատական է հավասարակշռության դիրքից եղած շեղման չափին: Նկ. 1-ում պատկերված է $E_{պ}(r)$ կախումը, որը համապատասխանում է §39 նկ.1-ին, և որից երևում է, որ ինչքան մասնիկը հեռանում է հավասարակշռության r_0 դիրքից, այնքան մեծանում է մասնիկի պոտենցիալ էներգիան: Իսկ մասնիկների $E_կ$ կինետիկ էներգիան կարող է լինել փոքր, հավասար կամ մեծ $E_{պ}(r)$ -ից: Կախված $E_կ$ և $E_{պ}$ էներգիաների հարաբերությունից, նյութի մի շարք ֆիզիկական հատկություններ արմատապես փոխվում են, ուստի ըստ այդմ ևս կարելի է նյութի վիճակները դասակարգել: Հնարավոր է երեք դեպք.

1. $E_կ \ll E_{պ}(r_0)$, այս դեպքում մասնիկի էներգիան չի բավարարի հաղթահարել պոտենցիալը և նա կմնա r_0 -ի շրջակայքում՝ կատարելով տատանողական շարժում: Նյութն այս դեպքում պահպանում է իր ձևը և ծավալը՝ չափերը, որի պատճառով այն անվանում են *նյութի ագրեգատային պինդ վիճակ*, կամ ուղղակի *պինդ մարմին*:

2. $E_կ \approx E_{պ}$, այս դեպքում մասնիկի տատանման լայնությունը դառնում է r_0 -ի կարգի և մասնիկը կարող է հասնել հարևան հավասարակշռության դիրք և մնալ այնտեղ: Նյութն այս դեպքում էլ է պահպանում իր ծավալը, բայց ձեռք է բերում հոսունության հատկություն, ուստի իր ձևը չի պահպանում, այլ ընդունում է այն անոթի ձևը, որում պահվում է: Սա *նյութի ագրեգատային հեղուկ վիճակն է*, կամ ուղղակի՝ *հեղուկ*:

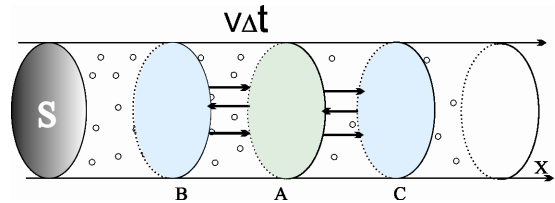
3. $E_կ \gg E_{պ}$, այս դեպքում վերադարձնող ուժը չի կարողանում սահմանափակել մասնիկի շարժումը: Արդյունքում նյութը չի պահպանում իր ձևն ու ծավալը, այլ ընդունում է այն անոթի ձևն ու ծավալը, որում պահվում է: Նյութի ագրեգատային այս վիճակն անվանում են *գազային*, կամ ուղղակի՝ *գազ*:

Մենք §37-ում արդեն ծանոթացել ենք «սառույց-ջուր-գոլորշի» օրինակի վրա նյութի երեք ագրեգատային վիճակների հետ: Նշենք միայն, որ այդ հատկությունն ունեն բոլոր նյութերը (բացի հելիումից, որը գերցածր ջերմաստիճաններում դառնում է գերհոսելի և չի պնդանում): Հարկ է նկատել, որ այս երեք՝ պինդ, հեղուկ և գազային, ագրեգատային վիճակներն ի հայտ են գալիս մոլեկուլային-կինետիկ տեսության շրջանակներում, երբ կորպուսկուլներն ատոմն ու մոլեկուլն են: Ֆիզիկայի ավելի խորունկ տեսություններում կան նաև պլազմային, գերխիտ և նախաստղային ագրեգատային վիճակներ:

Տրված ագրեգատային վիճակում մակրոհամակարգի վիճակը նկարագրելու խնդիր է առաջանում, որը դիտարկենք գազի օրինակի վրա: Ընտրենք գազի պարզ

մողել: Քանի որ գազը անհրաժեշտաբար պետք է պահվի անոթում, ապա պարզեցնելու համար անոթի ազդեցությունն անտեսենք: Դա նշանակում է անտեսել անոթի ստոմների փոխազդեցությունը գազի մասնիկների հետ և նաև գազի մասնիկների հարվածները անոթի պատերին:

Գազի մասնիկների սեփական ծավալների գումարը արհամարհենք անոթի ծավալի նկատմամբ՝ համարելով անոթի ծավալը որպես գազի ծավալ: Արհամարհենք նաև մասնիկների միջև փոխազդեցության



Նկար 2

ուժերը և հաշվի առնենք միայն մասնիկների հարվածները միմյանց: Այս պայմաններին բավարարող գազն անվանում են **իդեալական գազ** (այսուհետ՝ գազ), որի մոտավոր իրական մոդելը շատ նոսր գազն է:

Դիցուք S լայնական կտրվածքով գլանում գտնվում է n կոնցենտրացիայով միատոմ իդեալական գազ (նկ. 2): Հաշվենք գազի p ճնշումը, որը, ըստ Պասկալի օրենքի, միևնույնն է անոթի ամեն կետում: Մտովի վերցնենք մտացածին A միջնորմը և հաշվենք գազի ճնշումը նրա վրա: Եթե x ուղղությամբ նա ունենա իմպուլս, ապա առաձգական հարվածից հետո իմպուլսը կլինի $(-mv_x)$, իսկ իմպուլսի փոփոխությունը՝ $\Delta mv_x = mv_x - (-mv_x) = 2mv_x$: Նյութոսնի 2-րդ օրենքից ունենք՝

$$F_x = \frac{\Delta mv_x}{\Delta t} = \frac{2mv_x}{\Delta t} : \tag{1}$$

A միջնորմի աջ կողմից Δt ժամանակամիջոցում կհասցնեն միջնորմին հասնելու նրան իմպուլս հաղորդել միայն այն մասնիկները, որոնք միջնորմից հեռացված են ոչ ավել, քան $v_x \Delta t$ հեռավորությունն է: Դրանք գլանի B-A մասի ծավալում գտնվող $n \cdot S \cdot v_x \Delta t$ քանակով մասնիկներն են : Սակայն ըստ 2-րդ դրույթի, դրանց միայն կեսն է շարժվում դեպի միջնորմ, իսկ մյուս կեսը հակառակ ուղղությամբ է շարժվում: Ուստի իմպուլս հաղորդում են $\frac{1}{2} n S v_x \Delta t$ հատ մասնիկները: Ծնշման սահմանումից և (1) պայմանից ունենք.

$$P \equiv \frac{1}{2} \cdot n \cdot S \cdot v_x \Delta t \cdot \frac{F_x}{S} = \frac{1}{2} \cdot n \cdot S \cdot v_x \Delta t \cdot \frac{2mv_x}{S \Delta t} = n \cdot mv_x^2 : \tag{2}$$

Հաշվի առնենք §38-ի (4) բանաձևը և (2)-ը միջինացնենք՝

$$P = n \cdot m \overline{v_x^2} = n \cdot \frac{1}{3} m \overline{v^2} = n \cdot \frac{1}{3} \cdot 2 \cdot \frac{m \overline{v^2}}{2} = n \cdot \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{m \overline{v^2}}{2} \right) \equiv n \cdot \frac{2}{3} \cdot \overline{E_k} : \tag{3}$$

Միջին կինետիկ էներգիան բոլոր մասնիկների համար նույնն է, ուստի հանդիսանում է ողջ համակարգի (մարմնի) վիճակի բնութագիր, քանի որ դրանով կարող են տարբերվել մարմնի որևէ երկու վիճակներ: Այդ նոր բնութագրի համար մտցնենք հետևյալ նշանակումը.

$$\frac{2}{3} \overline{E_{կին}} \equiv kT, \quad \overline{E_{կին}} \equiv \frac{3}{2} kT, \quad (4)$$

որտեղ T -ն կոչվում է **բացարձակ ջերմաստիճան**, որի չափման միավորն է Կելվինը. $1^\circ\text{C} = 1\text{K}$ և $T = t + 273^\circ\text{C}$: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Ջ}}{^\circ\text{C}}$ ունիվերսալ հաստատուն է և կոչվում է Բոլցմանի հաստատուն, որը կապ է հաստատում էներգիական ու ջերմային միավորների միջև: (3)-ից և (4)-ից բխում է Բոլցմանի մոլեկուլային կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումը՝ իդեալական գազի վիճակի հավասարումը.

$$P = nkT : \quad (5)$$

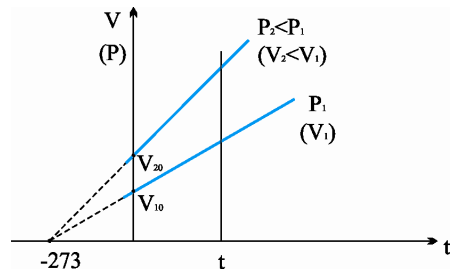
M մոլային զանգվածով գազի համար հաշվի առնելով §38-ում բերված բանաձևերը՝ $n = \frac{N}{V}$, $N = \frac{m}{M} N_A$ և նշանակելով $R \equiv N_A \cdot k$, (5)-ից կստանանք Կլայպերոն-Մենդելեևի հավասարումը.

$$PV = \frac{m}{M} RT, \quad (6)$$

որտեղ V -ն գազի (անոթի) ծավալն է, m -ը՝ զանգվածը, M ՝ մոլային զանգվածը, R -ը կոչվում է ունիվերսալ գազային հաստատուն և հավասար է $R = 8,31 \frac{\text{Ջ}}{\text{մոլ} \cdot ^\circ\text{C}}$:

Ջերմադինամիկական համակարգում ընթացող պրոցեսը հաստատուն զանգվածով գազի համար կոչվում է իզոթերմ, եթե $T = \text{const}$, իզոխոր՝ եթե $V = \text{const}$ և իզոբար՝ եթե $P = \text{const}$: Տվյալ զանգվածով գազի այդ իզոթերմության համար հայտնաբերված էմպիրիկ օրենքները բխում են նաև գազի վիճակի Կլայպերոն-Մենդելեևի (6)- հավասարումից՝

Բոյլ- Մարիոտի օրենքը իզոթերմ պրոցեսի համար. $PV = \text{const}$, $T = \text{const}$, Չեյ-Լյուսակի օրենքը իզոբար պրոցեսի համար. $P = \text{const}$, $V = \frac{m}{\mu P} RT = V_0 \alpha_1 T$, Շարլի օրենքը



Նկար 3

իզոխոր պրոցեսի համար. $V = \text{const}$, $P = \frac{m}{\mu V} RT = P_0 \alpha_2 T$: Այստեղ V_0 -ն և P_0 -ն գազի ծավալն ու ճնշումն է $t = 0^\circ\text{C}$, իսկ α_1 և α_2 գործակիցներն իրար հավասար

$\alpha_1 = \alpha_2 \equiv \alpha \approx \frac{1}{273}$ ունիվերսալ հաստատուններ են, որոնք կապ են հաստատում բացարձակ ու սովորական ջերմաստիճանների միջև. $T = \frac{1}{\alpha} + t \approx 273 + t$: Այս կապի միջոցով կարող ենք ձևափոխել Գեյ-Լյուսակի և Շառլի օրենքները՝ $V = V_0(1 + \alpha t)$ և $P = P_0(1 + \alpha t)$, որոնց գրաֆիկները բերված են նկ. 3-ում:

Խնդիրների լուծման օրինակներ:

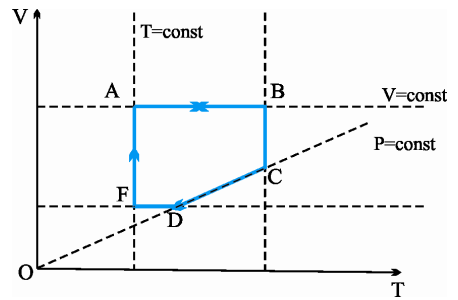
Խնդիր: Ստացեք Կլապեյրոն-Մենդելևի հավասարումը իզոթերմությունում անցնելով $(P_1, V_1, T_1,)$ վիճակից $(P_2, V_2, T_2,)$ վիճակի:

Լուծում: Այս եռյակից, եթե որևէ երկուսը տրված զանգվածով տվյալ գազի համար հայտնի են, ապա վիճակի հավասարումից հայտնի է մաս երրորդը: Ուստի կարող ենք օգտվել լուծման հետևյալ սխեմայից: Սկզբում $(P_1, V_1, T_1,)$ եռյակից որևէ մեկը պահենք հաստատուն, ասենք T_1 -ը, և իզոթերմով ճնշումը հասցնենք P_2 -ի, ըստ Բոյլ-Մարիոտտի օրենքի ունենք. $P_1 V_1 = P_2 \widetilde{V}_2$: Ընդ որում $\widetilde{V}_2 \neq V_2$ -ին, քանի որ $T_1 \neq T_2$: Հիմա էլ իզոբարով T_1 -ը դարձնենք T_2 , այսինքն, $(P_2, \widetilde{V}_2, T_1)$ վիճակից կանցնենք $(P_2, \widetilde{V}_2, T_2)$

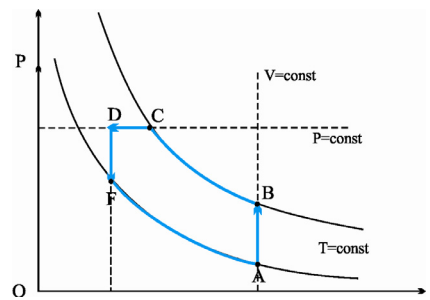
վիճակին, որը (P_2, V_2, T_2) վիճակն է, քանի որ եթե գազի վիճակի երկու պարամետրերը համընկնում են, ապա համընկնում են մաս երրորդ պարամետրերն ու վիճակները:

Ըստ Շառլի օրենքի ունենք՝ $\frac{\widetilde{V}_2}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$, ուստի արտաքսելով \widetilde{V}_2 , կստանանք՝ $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$, որը (6)- ի հիմնական մասն է:

Խնդիր: Որոշել նկ.4ա-ում ներկայացված երևույթները և այն բերել (V, P) հարթություն:



ա



բ

Նկար 4.

Լուծում: Նախ վերլուծենք երևույթները: AB և FD ուղիղները ներկայացնում են իզոխոր տաքացում, իսկ BA -ն և DF -ն՝ իզոխոր սառեցում, ընդ որում $V_{AB} > V_{DF}$, քանի որ միևնույն T -ի դեպքում A վիճակում ճնշումը փոքր է, քան F վիճակում: BC -ն իզոթերմ սեղմում է, իսկ FA -ն՝ իզոթերմ ընդարձակում: CD -ն էլ իզոբար սեղմում է (սառեցում է): Նշված երևույթների ֆիզիկական պատկերները կախված չեն նրանից, թե ո՞ր հարթության մեջ են ներկայացվում, ուստի որոնելի ներկայացումը որակապես կլինի այնպիսին, ինչպիսին այն ցույց է տրված նկ. 4 ք-ում:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Կարո՞ղ եք սահմանել նյութի պինդ, հեղուկ և գազային վիճակները:
2. Յուրացրեցի՞ք նյութի ագրեգատային վիճակների կապը փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիայի հետ:
3. Հասկացե՞լ եք իդեալական գազի մոդելը:
4. Ընթռնե՞լ եք բացարձակ և Յելսիուսի սանդղակների իմաստը, դրանց կապը, նմանությունն ու տարբերությունը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Ձևակերպե՞ք Բոյլ-Մարիոտի, Գեյ-Լյուսակի և Շառլի օրենքները և այն ներկայացրե՞ք բանաձևով ու գրաֆիկորեն:
2. Ստացե՞ք Կլապերոն-Մենդելեևի հավասարումը՝ **ա.** Բոլցմանի (5) հավասարումից, **բ.** իզոթերևույթներով անցնելով $(P_1, V_1, T_1,)$ վիճակից $(P_2, V_2, T_2,)$ վիճակին, սկզբում հաստատուն պահելով P_1 -ը:

ՁԵՐՄԱԳԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՀԻՄՈՒՆՔՆԵՐԸ

§40. Չերմադինամիկայի առաջին օրենքը

Ինչպես տեսանք նախորդ պարագրաֆներում, մակրոհամակարգի (մարմնի) ամեն մի մոլեկուլ կատարում է քառասային շարժում մարմնի ծանրության կենտրոնի նկատմամբ և ուղղորդված շարժում արտաքին աշխարհի նկատմամբ: Մարմնի մասնիկների քառասային շարժմամբ պայմանավորված կինետիկ էներգիան կոչվում է **մարմնի ջերմության քանակ՝ Q**, որն այդ բոլոր մասնիկների միմյանց հետ փոխազդեցության գումարային պոտենցիալ էներգիայի հետ միասին կոչվում է մարմնի (մակրոհամակարգի) **ներքին էներգիա՝ U: Արտաքին** մարմինների հետ մարմնի բոլոր մասնիկների փոխազդեցության գումարային $E_{պ}$ էներգիան մարմնի մեխանիկական պոտենցիալ էներգիան է: Մարմնի բոլոր մասնիկների ուղղորդված շարժումը դա մարմնի, որպես ամբողջության, շարժումն է, որը պայմանավորում է մարմնի մեխանիկական կինետիկ E_k էներգիան: E_k -ն և $E_{պ}$ -ն միասին կազմում են մարմնի մեխանիկական էներգիան՝ $E_{մեխ} = E_k + E_{պ}$: Մարմնի **E_L լրիվ էներգիան** մարմնի ներքին և մեխանիկական էներգիաների գումարն է՝ $E_L = E_{մեխ} + U$: Մեխանիկա բաժնում մենք համոզվեցինք, որ ուժերի կատարած աշխատանքը ΔA փոփոխում է համակարգի կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաները: Այդ նույնը վերաբերում է նաև ներքին էներգիային: Աշխատանքով կարելի է փոխել մարմնի ջերմության քանակը, այն է, մասնիկների կինետիկ էներգիան, ուստի և մարմնի ջերմաստիճանը: Աշխատանքով նաև կարելի է փոխել մարմնի ծավալը, ուստիև միջմոլեկուլային հեռավորությունը, հետևաբար, նրանց պոտենցիալ էներգիան: Սակայն աշխատանքը մարմնի ներքին էներգիան փոխելու միակ միջոցը չէ. այն կարելի է փոխել նաև մարմնին ջերմություն հաղորդելով: Չերմային երևույթները ուսումնասիրող գիտության ճյուղը կոչվում է ջերմադինամիկա, որն առանձին նոր ճյուղ է, քանի որ **միայն** մեխանիկայի օրենքները բավարար չեն ջերմային երևույթները բացատրելու համար: Եվ պատահական չէ, որ ջերմադինամիկան իր զարգացման նախնական փուլում լիովին ինքնուրույն գիտություն էր:

18-րդ դարի վերջին և 19-րդ դարի սկզբում մեծ եռանդով ուսումնասիրում էին ջերմային երևույթները և դրանց կապն աշխատանքի հետ: Կար նպատակ ստեղծել առաջին սեռի հավերժական շարժիչ, որը կկատարեր **իր ստացած էներգիայից ավելի** աշխատանք, այն է՝ հավերժ կաշխատեր: Ի վերջո հետազոտություններն այդ ուղղությամբ օրենքով արգելվեցին, իսկ Ջոուլի, Մայեր եղբայրների և Հելմհոլցի աշխատանքներում դրա անհնարիությունը նաև խիստ գիտականորեն ապացուցվեց:

Ջ. Պ. Ջոուլը քանակական փորձերով ճշգրիտ ապացուցեց, որ մարմնի ջերմաստիճանը միևնույն չափով կարելի է բարձրացնել որոշակի աշխատանք կատարելով կամ որոշակի քանակի ջերմություն հաղորդելով: Նա հավասարեցրեց այդ աշխատանքն ու այդ ջերմաքանակը և ստացավ երկու ունիվերսալ գործակիցներ՝ **ջերմության մեխանիկական և աշխատանքի ջերմային համարժեքները**: Ջոուլի փորձերը միայն պնդում են, որ էներգիան ավելի ընդհանուր գաղափար է, կան էներգիայի շատ տեսակներ և դրանք կարող են միմյանց փոխակերպվել, սակայն էներգիան չի կարող կորչել, ոչնչանալ կամ էլ ստեղծվել ոչնչից: Դա նշանակում է, որ բնության մեջ էներգիայի քանակն անփոփոխ է, չի ստեղծվում ոչնչից և չի էլ անհետանում, սակայն գոյություն ունեն էներգիայի շատ տեսակներ և էներգիան կարող է տվյալ ձևից անցնել այլ ձևերի: Հելմհոլցն այն ձևակերպեց որպես **ջերմադինամիկայի 1-ին օրենք. մակրոհամակարգի լրիվ էներգիայի փոփոխությունը հավասար է արտաքին ուժերի կատարած աշխատանքի և համակարգին հաղորդված ջերմության քանակի գումարին՝**

$$\Delta E_1 \equiv \Delta U + \Delta E_{\text{տեխ}} = A + Q: \quad (1)$$

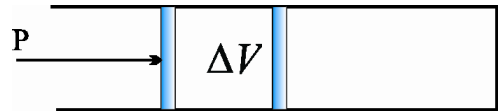
Այստեղ, եթե համակարգն է կատարում աշխատանք (կամ տալիս ջերմաքանակ), ապա $\Delta E_1 < 0$ և $A < 0$ (կամ $Q < 0$):

(1) –ից բխում է 1-ին սեռի հավերժական շարժիչի՝ մեկից մեծ օգտակար գործողության գործակից ունեցող շարժիչի անհնարիությունը: Իրոք, դիցուք $\Delta E_{\text{տեխ}}$ արհամարհելի փոքր է ΔU -ի համեմատ: Դա տեղի կունենա, եթե համակարգը, որպես ամբողջություն, անշարժ է և դիրքի պոտենցիալ էներգիան ու շարժման կինետիկ էներգիան անփոփոխ են: Այդ դեպքում (1)-ից հետևում է, որ $\Delta U = A + Q$: Իսկ եթե համակարգը նաև ջերմամեկուսացված է՝ $Q=0$, ապա $\Delta U = A$, որը նշանակում է համակարգը կարող է կատարել աշխատանք ոչ ավել իր ներքին էներգիայից, այսինքն, շարժիչը, երբ իր ողջ ներքին էներգիան դարձնի աշխատանք, կդադարեցնի իր աշխատանքը:

Համակարգի ներքին էներգիան՝ U -ն, կախված է T ջերմաստիճանից, ծավալից, նյութի M տեսակից (մոլային զանգվածից) և m զանգվածից: Մենք հեշտությամբ կարող ենք իդեալական գազի ներքին էներգիան հաշվել, քանի որ իդեալական գազի համար այն կախված չէ ծավալից (չէ՞ որ իդեալական գազի համար մասնիկների գումարային կինետիկ էներգիան խիստ մեծ է նրա մասնիկների փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիայից): Մեկ մասնիկի միջին կինետիկ էներգիան հավասար է $\frac{3}{2}kT$, N մասնիկի համար N անգամ մեծ է, քանի որ $N = \frac{m}{\mu} N_A$ և $N_A k = R$, ապա կստանանք.

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} N_A k T = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R T: \quad (2)$$

Հիմա քննարկենք աշխատանքը ջերմադինամիկայում, երբ աշխատանքը ներքին էներգիայի փոփոխության չափն է: Դիցուք գլանում մխոցով պարփակված գազի վրա (նկ. 1) ազդում է F

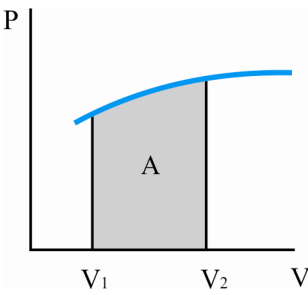


Նկար 1

արտաքին ուժը և գազը իզոբար սեղմվում է $\Delta V = S\Delta h$ չափով: Ըստ աշխատանքի սահմանման $A = F\Delta h$, իսկ $F = PS$, որտեղ P -ն գազի ճնշումն է: Ուստի այս բոլորի հիման վրա կարող ենք գրել.

$$A = F\Delta h = PS \Delta h = P \Delta V, \quad (3)$$

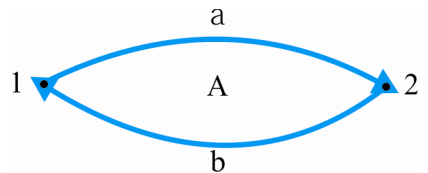
որը թույլատրում է աշխատանքը երկրաչափորեն մեկնաբանել որպես $P(V)$ կորով սահմանափակված մակերես (նկ. 2): Ուշագրավ է, որ եթե **1**-ից **2** վիճակ



Նկար 2

անցնելիս համակարգը A_1 աշխատանք կատարի (1a2 կորը նկ. 3-ում), իսկ հետո մենք կատարենք A_2

աշխատանք և **2** վիճակից համակարգը վերադարձնենք **1** վիճակին (**1b2** կորը նկ. 3-ում), ապա գումարային աշխատանքը կլինի $A = A_1 - A_2$, որը նկ. 3-ում գծապատված մակերեսն է: **1a2** և **1b2** անցումները կարող են լինել մի քանի տարբեր երևույթների հաջորդականություն: Քանի որ համակարգն այս ցիկլից հետո վերադարձել է ելակետային վիճակի, ապա գործընթացը կարելի է բազմիցս



Նկար 3

կրկնել՝ ամեն անգամ կատարելով A աշխատանք: Սրա հիման վրա են աշխատում ջերմային մեքենաները, որոնք արտաքին ջերմության հաշվին կատարում են աշխատանք: Սակայն ինչպիսի կառուցվածքի մեքենա էլ որ պատրաստենք, միևնույն է, նա չի կարող ավելի մեծ աշխատանք կատարել, քան իր վերցրած ջերմության քանակն ու ներքին էներգիան են, քանի որ կխախտվի ջերմադինամիկայի 1-ին օրենքը:

Մի այլ հետաքրքիր երևույթ է, երբ մակրոհամակարգի վիճակը և ներքին էներգիան փոխվում են առանց աշխատանք կատարելու, այսինքն, երբ տեղաշարժ չկա, ծավալը չի փոխվում: Օրինակ, հաստատուն ծավալով անոթում գազի տաքացումը, կամ պինդ մարմնի տաքացումը և այլն: Այսօրինակ երևույթները կոչվում են **ջերմահաղորդականության և ջերմափոխանակման երևույթներ**, իսկ տված կամ վերցրած էներգիան՝ **ջերմաքանակ**: Դիցուք m զանգվածով մարմնին հաղորդել ենք Q ջերմաքանակ և նրա ջերմաստիճանը բարձրացրել ենք Δt աստիճանով՝ պահելով նույն ագրեգատային վիճակում: Եթե այդ վիճակում նրանից ջերմություն վերցնենք և ջերմաստիճանն իջեցնենք Δt աստիճանով, ապա վերցրած ջերմաքանակը դարձյալ կլինի հավասար Q : Այսինքն, մարմնն ունակ է ջերմություն պահելու, որի չափն անվանում են **ջերմունակություն**: Ջերմունակությունը նյութի բնութագիր է, ուստի նրա համար ներմուծենք քանակական մեծություն՝ նյութի տեսակարար ջերմունակություն. դա այն c ջերմաքանակն է, որն անհրաժեշտ է տվյալ նյութի միավոր զանգվածն այդ ջերմաստիճանում 1 աստիճանով տաքացնելու համար: Փորձը ցույց է տալիս, որ c տեսակարար ջերմունակությունը գրեթե կախված չէ ջերմաստիճանից, ուստի

$$Q = cm \Delta t: \quad (4)$$

Եթե համակարգը ջերմամեկուսացված է՝ $Q = 0$, ապա ըստ (1)-ի ունենք.

$$\Delta U = A, \quad (5)$$

որը կոչվում է ադիաբատ պրոցես և հանդիսանում է իզոպրոցես՝ լրացնելով իզոխոր, իզոբար և իզոթերմ իզոպրոցեսների խումբը:

Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը ընդհանուր պնդում է առ այն, որ էներգիան չի ստեղծվում և չի կորչում, այլ հաղորդվում է, փոխանակվում, մի տեսակից անցնում մյուսին: Այն ներկայացնում է էներգիայի հաշվեկշիռը ցանկացած երևույթում, բայց ոչինչ չի ասում երևույթի և նրա էվոլյուցիայի մասին: Օրինակ, հնարավոր է վերցնել ջերմության Q քանակ և ամբողջությամբ վերածել աշխատանքի, այսինքն, $Q = A$: Առաջին օրենքին չի հակասում դրա ոչ հնարավոր, ոչ անհնար լի-

նելը: Նյութաբանական մեխանիկական որոշականացված (դետերմինացված) ուսմունք է և իր հիմքում ունի շրջելի երևույթներ: Որևէ երևույթ կոչվում է շրջելի, եթե այն կարող է ընթանալ երկու ուղղությամբ էլ, այսինքն, կարող ենք համակարգը վերադարձնել իր սկզբնական վիճակին՝ որևիցե փոփոխություն չմտցնելով շրջապատում: Ջերմադինամիկական, հակառակը, հանձինս քառասյնության, անորոշականացված է և հարուստ է նաև անշրջելի երևույթներով: Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը չի պարունակում ոչ մի տեղեկություն պրոցեսների ուղղության մասին: Իրոք, դեռևս չի դիտվել սենյակում դիֆուզիայով տարածված մասնիկների ետ հավաքումը կաթիլի մեջ: Չի դիտվել նաև, որ ջերմությունն **ինքնաբերաբար** սառը մարմնից անցնի տաքին: Դժվար է անգամ իրականում գտնել շրջելի որևէ երևույթ:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Յուրացրե՞լ եք ջերմության քանակի և ներքին էներգիայի գաղափարներն ու դրանց կապը:
2. Հասկացե՞լ եք ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը, նրա իմաստն ու նշանակությունը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Սահմանե՞ք ներքին էներգիան և ջերմության քանակը:
2. Ձևակերպե՞ք ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը:
3. Քա՞նի անգամ կմեծանա իդեալական գազի ներքին էներգիան ըստ Կելվինի և ըստ Յելսիուսի՝ նրա ջերմաստիճանը 2 անգամ մեծացնելու դեպքում:

§41. Ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքը

Բազմաթիվ փորձնական արդյունքների վերլուծությունն ու ընդհանրացումը բերեցին ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի առաջացմանը, որն ունի մի քանի ձևակերպումներ: Նախ, Ռ. Կլաուզիուսը ձևակերպեց, որ *երբեք ինքնուրույն և ինքնաբերաբար ջերմությունը չի անցնի սառը մարմնից տաքին:*

Եթե այդպիսի անցում հնարավոր լիներ, ապա կարող էինք ստեղծել, այսպես կոչված, 2-րդ սեռի հավերժական շարժիչ, որը կարողանար շրջապատի ջերմային էներգիան **ինքնուրույն** վերցնել և **ամբողջովին** վերածել աշխատանքի՝ առանց շրջապատում փոփոխություն մտցնելու:

Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը չի արգելում ոչ ջերմության ինքնուրույն անցումը սառչից տաք մարմնին, ոչ էլ 2-րդ սեռի հավերժական շարժիչի գոյությունը, սակայն հենց ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքն է դա արգելում:

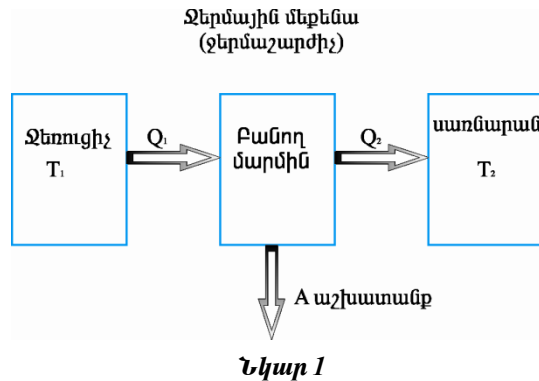
Ջերմադինամիկայի երկրորդ

օրենքի ևս մի շարք հետաքրքիր ձևակերպումներ են եղել, այդ թվում Ս. Կառնոյի ձևակերպումը: Նախ դիտարկենք ջերմային մեքենան (ջերմաշարժիչը), որի կառուցվածքը բերված է նկ. 1-ում: Ջերմության շտեմարան-աղբյուրը՝ ջեռուցիչը միշտ պահպանում է T_1 ջերմաստիճան, իսկ սառնարանը (շրջապատը)՝ T_2 ջերմաստիճան: Բանող մարմինը մտնում է ջերմային հպման (կոնտակտի) մեջ ջեռուցիչի հետ, տաքանում է մինչև T_1 ջերմաստիճան՝ բարձրացնելով իր ներքին էներգիան և վերցնելով Q_1 ջերմության քանակ, կատարում է A աշխատանք իր ներքին էներգիայի հաշվին և Q_2 ջերմության քանակ է հաղորդում սառնարանին՝ սառնելով մինչև T_2 ջերմաստիճան և դարձյալ անցնում է իր սկզբնական վիճակին: Եթե բանող մարմինը չանցնի իր սկզբնական վիճակին, չի կարող ցիկլով աշխատել: Ջերմային մեքենայի արդյունավետությունը գնահատում են կատարված օգտակար աշխատանքի և ծախսված լրիվ ջերմության քանակի հարաբերությամբ, որին անվանում են օգտակար գործողության գործակից (օգգ).

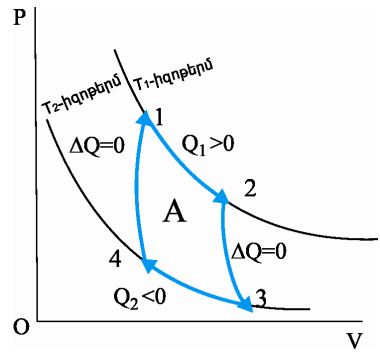
$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (1)$$

Սովորաբար բանող մարմինը գազ է լինում: Փակ ցիկլ կոչվում է գազի վիճակի փոփոխությունների հանրությթը, որը գազը բերում է սկզբնական վիճակի:

Ս. Կառնոն ցույց տվեց, որ η օգգ-ն իր ամենամեծ արժեքին կհասնի, եթե բանող մարմինը լինի իդեալական գազ, ցիկլի բոլոր պրոցեսները, ուստիև ամբողջ ցիկլը, լինեն շրջելի և ուրիշ ոչ մի տեսակի էներգակորուստներ չլինեն: Կառնոն առաջարկեց իր անունը կրող ցիկլ (նկ. 2), որը հետևյալ պրոցեսների հանրությթ է.



1 → 2 $T_1 = \text{const}$ իզոթերմից, երբ գազը ջեռուցիչից վերցնում է Q_1 ջերմության քանակ և կատարում է A_1 աշխատանք, 2 → 3 ադիաբատից, երբ գազը միայն իր ներքին էներգիայի շնորհիվ է կատարում A_2 աշխատանք, 3 → 4 $T_2 = \text{const}$ իզոթերմից, երբ գազը մեր կատարած A_3 աշխատանքի շնորհիվ Q_2 ջերմության քանակ է տալիս սառնարանին և 4 → 1 ադիաբատից, երբ մեր կատարած A_4 աշխատանքի շնորհիվ գազը սառում է և անցնում իր սկզբնական վիճակին: Իսկ A օգտակար աշխատանքը կլինի ($A_1 + A_2 - A_3 - A_4$):



Նկար 2

Այս ցիկլի համար Կառնոն ստացավ օգգ-ի արտահայտությունը.

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \tag{2}$$

որի հիման վրա տվեց ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի նոր ձևակերպում, այն է՝ $\eta < 1$, այսինքն, **հնարավոր չէ այնպիսի մեքենայի գոյություն, որը անընդհատ (ցիկլիկ) աշխատի և իր վերցրած ողջ ջերմության քանակությունը դարձնի աշխատանք, առանց շրջապատում փոփոխություն առաջացնելու, այն է, սառնարանին ոչինչ չտա կամ առանց սառնարանի աշխատի:** Այլ կերպ ասած, գոյություն չունի նաև 2-րդ սեռի հավերժական շարժիչ (որի $\eta = 1$):

Ապացուցվում է, որ փրված T_1 և T_2 ջերմաստիճանների դեպքում **իդեալական** բոլոր մեքենաների օգգ-ները առավելագույնն են ու միմյանց հավասար և փոքր 1-ից, իսկ ցանկացած **իրական** մեքենայի օգգ-ն միշտ փոքր է **իդեալական** մեքենայի օգգ-ից: Ջերմադինամիկական տեսակետից դա նշանակում է, որ իրական մեքենաներն աշխատում են ոչ փակ ցիկլերով: Այսինքն, իրական մեքենան ջեռուցիչից վերցրած Q_1 ջերմության քանակից Q_2 ջերմության քանակ **անհրաժեշտաբար պետք է տա սառնարանին**, իսկ որոշ ΔQ քանակ էլ ծախսում է ներքին շփումների, կորուստների և բանոդ մասի պրոցեսների ոչ իդեալականության վրա, որոնց պատճառով էլ ցիկլը չի փակվում: Արդյունքում աշխատանքի է վերածվում ($Q_1 - Q_2 - \Delta Q$) մասը միայն՝ էլ ավելի փոքրացնելով օգգ-ն: Ուստի ջերմային մեքենայի արդյունավետությունը՝ օգգ-ն մեծացնելու համար ձգտում են փոքրացնել T_2/T_1 հարաբերությունը և կատարելագործում են մեքենան, որպեսզի ΔQ կորուստը փոքրացնեն:

Կառնո Նիկողա Լեոնար Սադի (1796 - 1823)

Ֆրանսիացի ֆիզիկոս և ճարտարագետ, ջերմադինամիկայի ստեղծողներից: Մտցրել է ջերմամեքենաների շրջանային պրոցեսի և շրջելի պրոցեսի հասկացությունները, ձևակերպել է ներկայումս իր անունը կրող թեորեմը ջերմաշարժիչի առավելագույն օգգ-ի մասին: Նպաստել է ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի հայտնագործմանը:



Լրացուցիչ նյութ:

Կարգավորվածությունը և չկարգավորվածությունը մակրոհամակարգերում:

Էնտրոպիա:

Ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի ոչ երևույթաբանական ձևակերպումը բերենք՝ ներմուծելով մի նոր ֆիզիկական մեծության՝ Էնտրոպիայի հասկացությունը:

Ջերմադինամիկայի 2-րդ օրենքը մի շարք այլ ձևակերպումներ, մեկնաբանություններ և ընդհանրացումներ ևս ունեցավ: Այն ոչ միայն արգելող նշանակություն ունի՝ բացառելով 2-րդ սեռի հավերժական շարժիչի գոյությունը, այլև ունի շար կարևոր ու կիրառական իմաստ. ցույց է տալիս մակրոհամակարգի վիճակի զարգացման ուղղությունը և շրջելիության չափը: Մենք արդեն համոզվել ենք, որ որոշ էներգիաներ կարելի է շրջելի ձևով ամբողջովին դարձնել աշխատանք: Այդպիսին է մեխանիկական էներգիան, որը կարելի է ամբողջովին ջերմության վերածել: Այնինչ ջերմային էներգիան հնարավոր չէ ամբողջովին վերածել աշխատանքի: Իսկ ջերմային էներգիայի ո՞ր մասը կարելի է վերածել աշխատանքի և ինչպե՞ս այդ չափը որոշենք: Ի պատասխան այս հարցադրման Կլաուզիուսը ներմուծեց վիճակի մի նոր ֆունկցիայի՝ **Էնտրոպիայի** գաղափարը որպես էներգիայի անհակադարձելի (անշրջելի) ցրման չափ : Կլաուզիուսը ցույց տվեց, որ ժամանակի ընթացքում շար դանդաղ փոփոխվող հավասարակշիռ ցիկլիկ պրոցեսներում Էնտրոպիան հանդիսանում է ջերմադինամիկական պոտենցիալ, որի փոփոխությունը երկու վիճակներում կախված չէ պրոցեսի ճանապարհից, և այն կարելի է սահմանել որպես $1/T$ ջերմաստիճանին ընկնող ջերմության քանակություն:

$$\Delta S = \Delta Q / T, \quad (3)$$

որտեղ S , Q և T -ով նշանակված են էնտրոպիան, ջերմության քանակը և ջերմաստիճանը:

Կան իզոէնտրոպիական երևույթներ (օրինակ, ադիաբատները), երբ մակրոհամակարգի էնտրոպիան մնում է հաստատուն, մնացած բոլոր պրոցեսներում էնտրոպիան աճում է: Այս պնդումը համարժեք է ջերմադինամիկայի 2-րդ օրենքին: Կլաստիկոսի սահմանումը միայն էնտրոպիայի փոփոխությունն է արտահայտում, ուստի այն լրացվեց **ջերմադինամիկայի 3-րդ օրենքով**, ըստ որի էնտրոպիան զրո է դառնում միմիայն բացարձակ զրո ջերմաստիճանում:

Էնտրոպիայի վիճակագրական՝ հավանականային սահմանումը Լ. Բոլցմանը և մեկնաբանեց ու հիմնավորեց նախկին բոլոր երևույթաբանական սահմանումները: Մակրոհամակարգը, շնորհիվ իր հսկայաքանակ բաղկացուցիչ մասնիկների, չի կարող դեպքերում հնարավոր չլինում կերպով նկարագրվել, չնայած ամեն մասնիկ առանձին վերցրած դեպքերում հնարավոր չարժան է անում: Ինքնըստիներյան հասկանալի է, որ դա գործնականում անիրագործելի է և նաև անմիտ: Իրոք, եթե անոթում վերցնենք N_{α} հատ (Ավոգադրոյի թվով) օդի մասնիկ նորմալ պայմաններում, ապա ամեն մասնիկ **միջին հաշվով** վայրկյանում 10^9 հարված է ունենում (նույնն է, որ իրեն 10^9 հարված են տալիս) և արդյունքում 10^{-9} վայրկյանը մեկ փոխում է իր ու բախվող մասնիկի շարժման վիճակը: Դիցուք որևէ մասնիկ չկա կամ էլ նրա վիճակը ճիշտ չենք գնահատել: Այդ դեպքում 1 նանովայրկյան հետո մի այլ մասնիկ էլ հարվածից կխտրորվի, 2 նանովայրկյան հետո ևս 4 մասնիկ բախվելուց կխտրորվեն, n նանովայրկյան հետո ևս 2^n մասնիկ բախվելուց կխտրորվեն, որը N_{α} -ից մեծ կամ հավասար կդառնա, երբ n -ը լինի մոտ 53: Այսինքն, 53 նանովայրկյանում անոթում բոլոր մասնիկները կխտրորվեն և ամեն ինչ կդառնա անկանխատեսելի և անմիտ:

Մակայն հարցը միայն դա չէ: Եթե մասնիկների քանակը քիչ լինի և մենք կարողանանք որոշակիորեն (դեպքերում հնարավոր չլինում) իմանալ բոլոր մասնիկների հետագոծերը, միևնույնն է, քննարկումից դուրս կթողնենք համակարգում կարգավորվածության երևույթը և նրա ֆիզիկական դրսևորումները: Դիտարկենք փրատված մի օրինակ: Դիցուք ունենք անոթ, որը նեղ անցք ունեցող միջնորմով բաժանված է երկու հավասար մասերի: Ենթադրենք անոթում կա 10 մասնիկ, որոնք համարակալենք 1, 2, ..., 10 թվերով: Համակարգի մակրովիճակները ներկայացնենք շախ մասում գրկվող մասնիկների քանակով: Այդ

դեպքում կունենանք հետևյալ մակրովիժնակները. **0, 1, 2, 3, ..., 9, 10: 0** (և **10**) մակրովիժնակն իրականացվում է $W=1$ եղանակով՝ միկրովիժնակով: **1** (և **9**) մակրովիժնակն իրականացվում է $W=10$ միկրովիժնակներով՝ 1, 2, ..., 10 համարի մասնիկներով: **2** (և **8**) մակրովիժնակը իրականացվում է $W=10.9/2=45$ միկրովիժնակներով և այլն: Այսինքն, համակարգի մակրովիժնակներն իրարից փարքերվում են իրենց իրականացնող միկրովիժնակների W քանակով, որն անվանում են փոխյալ մակրովիժնակի **վիճակագրական կշիռ**: Որքան մեծ է վիճակագրական կշիռը, այնքան մեծանում է փոխյալ վիճակի տեղի ունենալու հավանականությունը: Վիճակագրական կշիռը, այսպիսով, վիճակի բնութագիր է, որը ադիրքով դարձնելու նպատակով լոգարիթմում են և անվանում են մակրովիժնակի **էնտրոպիա**.

$$S = 0,693k \log_2 W, \quad (4)$$

որտեղ k -ն Բոլցմանի հաստատունն է:

0 (և **10**) մակրովիժնակը լիակատար կարգավորված է և մենք նրա վիճակի մասին ամեն ինչ գիտենք, չկա ոչ մի անորոշություն: **1** (և **9**) մակրովիժնակը մի փոքր թույլ է կարգավորված, մենք չգիտենք, թե 10 գ մասնիկից որն է շահի մասում գրկվում, դա անորոշ է մնում: **2** (և **8**) մակրովիժնակն էլ ավելի է չկարգավորված, անորոշությունն ավելի մեծ է, քանի որ չգիտենք, թե վերը նշված 45 փարքերակներից ո՞րը տեղի ունի: Իսկ **5** (և **5**) մակրովիժնակը ամենամեծ անորոշությունն ունի, ամենաքիչը գիտենք նրա մասին, նա ամենաչկարգավորվածն է: Ուստի էնտրոպիան, ըստ (4)-ի, ցույց է տալից փոխյալ մակրովիժնակի չկարգավորվածության, անորոշության, չիմացության չափը, որը համակարգի անկախ բնութագիր է, որով կարելի է ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքը վերաձևակերպել. **Փակ համակարգը ինքնաբերաբար չգտնում է դեպի իր ամենահավանական, ամենաչկարգավորված, ամենամեծ անորոշությամբ՝ առավելագույն էնտրոպիայով վիճակը:**

Սա նշանակում է, որ փակ համակարգի էնտրոպիան ինքնաբերաբար երբեք չի նվազում, այլ աճում է անհավասարակշիռ վիճակից հավասարակշիռ վիճակ անցնելիս և հաստատուն է մնում հավասարակշիռ վիճակում և իզոէնտրոպիական պրոցեսներում: Այլ կերպ ասած, էնտրոպիան նաև էներգիայի որակի ցուցանիշ է: Ջերմային էներգիան անորակ է այն առումով, որ հավասարակշիռ վիճակում չի կարող հակադարձելի վերածվել աշխարհաքի: Սրա հիման վրա Կելվինը սկսարկել է, իսկ Կլաուզիուսը 1865 թ. առաջարկել է «Տիեզերքի ջերմային մասիվան» անխուսափելիությունը, երբ Տիեզերքի ողջ էներգիան կվերածվի անորակ ջերմային էներգիայի, քանի որ էնտրոպիան այդ դեպքում ամենամեծը կլինի: Բնականաբար, կրոնավորեն-

րը փութով օգտվեցին այս հանգամանքից գերբնական անձի գոյության անհրաժեշտությունը հիմնավորելու համար: Նրանց նպատակը հասկանալի է, իսկ պնդումը՝ անհիմն: Գիտության զարգացումը ցույց տվեց, որ ջերմադինամիկայի 2-րդ օրենքն այս ձևակերպմամբ չի գործում ո՛չ միկրոաշխարհում, ո՛չ էլ մեգաաշխարհում: Ըստ արդի ստատիստիկայի, Տիեզերքը փակ համակարգ չէ և չի գրկվում ստացիոնար վիճակում, նա կամ սեղմվում է, կամ ընդարձակվում: Հիմա ընդարձակման փուլում ենք: Իսկ այդ վիճակում էնտրոպիայի աճելը **չի նշանակում** հավասարակշռության ձգտել, ուստի ողջ տիեզերքի մասշտաբով ջերմադինամիկայի 2-րդ օրենքը այս ձևակերպմամբ չի գործում: Մտահոգվելու հարկ չկա, Կլաուզիուսը ճիշտ չէր, բարեբախտաբար:

Խնդրի լուծման օրինակ:

Խնդիր: Հաշվել իրական ջերմային մեքենայի կատարած աշխատանքը, եթե ջեռուցիչից $Q=7000$ Ջ ջերմաքանակ է վերցրել, իսկ $T_2/T_1 = 0,1$ և իդեալական մեքենայի օգգ-ն $0,2$ -ով մեծ է իրական մեքենայի օգգ-ից:

Լուծում: (2) բանաձևից հաշվենք իդեալական մեքենայի օգգ-ն.

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - 0,1 = 0,9 \quad \text{և} \quad \eta_{\text{իր}} = \eta - 0,2 = 0,7: \quad \text{Ելնելով օգգ-ի սահմանումից,}$$

կարող ենք հաշվել կատարված A աշխատանքը.

$$A = \eta_{\text{իր}} \cdot Q = 0,7 \cdot 7000 \text{ Ջ} = 4900 \text{ Ջ}:$$

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Յուրացրե՞լ եք ջերմային մեքենայի գաղափարն ու աշխատանքի սկզբունքը:
2. Ըմբռնե՞լ եք, թե ի՞նչ է բնութագրում օգտակար գործողության գործակիցը՝ ա. մեքենայի համար, բ. պրոցեսի համար:
3. Հասկացե՞լ եք ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքը, նրա իմաստն ու նշանակությունը և նրա տարբեր ձևակերպումները:
4. Յուրացրե՞լ եք էնտրոպիայի հասկացությունը և նրա սահմանումները:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Ներկայացրե՛ք ջերմային մեքենայի սկզբունքային կառուցվածքը և վերլուծե՛ք նրա աշխատանքի սկզբունքը:
2. Ներմուծե՛ք օգտակար գործողության գործակցի գաղափարը և այն մեկնաբանե՛ք օրինակների միջոցով:
3. Ձևակերպե՛ք ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքը:
4. **Խմբային հանձնարարություն:** Տվե՛ք էներոպիայի Կլաուզիուսի և Բոլցմանի սահմանումները և վերլուծե՛ք կապը նրանց միջև:

ԽՆԳԻՐՆԵՐ

1. Ջրի զանգվածը հավասար է 0,036 կգ-ի, իսկ մոլային զանգվածը՝ $18 \cdot 10^{-3}$ կգ/մոլ-ի: Հաշվել այդ զանգվածում պարունակվող ջրի մոլեկուլների թիվը:
2. $S=2 \cdot 10^{-3}$ մ² մակերևույթի մակերես ունեցող առարկայի վրա նստեցված է 10^{-6} մ հաստությամբ արծաթի շերտ: Արծաթի քանի՞ ատոմ է պարունակում ծածկույթը, եթե արծաթի մոլային զանգվածը $108 \cdot 10^{-3}$ կգ/մոլ է:
3. Քանի՞ անգամ է մեծանում իդեալական գազի մոլեկուլների համընթաց շարժման միջին կինետիկ էներգիան, երբ գազի ջերմաստիճանը մեծանում է 7°C -ից մինչև 147°C :
4. 10 լ տարողությամբ բալոնն ի՞նչ ճնշման տակ պետք է լցվի օդով, որպեսզի այն 30 լ տարողությամբ և 10^5 Ն/մ² ճնշման տակ օդ պարունակող բալոնին միացնելիս նրանցում հաստատվի $2 \cdot 10^5$ Ն/մ² ընդհանուր ճնշում: Ջերմաստիճանը հաստատուն է:
5. Իդեալական գազը իզոբար կերպով 3 Կ-ով տաքացնելիս նրա ծավալը մեծացավ 1%-ով: Ի՞նչի էր հավասար գազի սկզբնական ջերմաստիճանը:
6. Ի՞նչ ջերմաստիճան ուներ տվյալ զանգվածով գազը, եթե հաստատուն ծավալի դեպքում 100Կ-ով տաքացնելիս նրա ճնշումն աճեց 3 անգամ:
7. Քանի՞ տոկոսով կմեծանա գազի խտությունը, եթե նրա ճնշումը մեծանա երեք անգամ, իսկ ջերմաստիճանը ըստ Կելվինի՝ երկու անգամ:
8. Փակ անոթում պարփակված 0,7 կգ զանգվածով 25°C ջերմաստիճանում գտնվող գազը տաքացրեցին մինչև 77°C : Ի՞նչ զանգվածով գազ պետք է դուրս թողնել անոթից, որպեսզի նրա մեջ վերականգնվի նախկին ճնշումը:
9. $4 \cdot 10^{-2}$ մ³ տարողությամբ բալոնում գտնվում է 27°C ջերմաստիճանի գազ: Գազի հոսքի պատճառով ճնշումն իջել է $4,2 \cdot 10^{-3}$ Պա-ով: Քանի՞ մոլեկուլ է դուրս եկել բալոնից, եթե ջերմաստիճանը մնացել է անփոփոխ:

10. 10 կգ զանգված ունեցող մարմինն առանց սկզբնական արագության ընկավ 20 մ բարձրությունից: Որքանո՞վ կմեծանա մարմնի ներքին էներգիան գետնին հարվածելիս, եթե մարմնի տաքացման վրա ծախսվել է նրա կինետիկ էներգիայի 30%-ը:
11. Իրար են խառնել նույն քանակությամբ տաք և սառը ջրեր: Քանի՞ տոկոսով իջավ տաք ջրի ջերմաստիճանը, եթե տաք ջրի ջերմաստիճանը 100%-ով բարձր էր սառը ջրի ջերմաստիճանից (ըստ Յելսիուսի):
12. Որոշել իդեալական ջերմային մեքենայի սառնարանի ջերմաստիճանը (Կելվինի սանդղակով), եթե ջեռուցչի ջերմաստիճանը 77°C է, ու ստացված $2,5 \cdot 10^3$ Ջ ջերմության քանակի հաշվին կատարվում է 500Ջ աշխատանք:
13. Իդեալական ջերմային մեքենայում ջեռուցչի ջերմաստիճանը 2,5 անգամ բարձր է սառնարանի ջերմաստիճանից (Կելվինի սանդղակով): Ջեռուցչից ստացած ջերմության քանակի ո՞ր մասն է հաղորդվում սառնարանին:
14. Ջերմային մեքենայի օգգ-ն 20% է: Որոշել մեքենայի կատարած աշխատանքի հարաբերությունը սառնարանին տրված ջերմության քանակից:
15. Իդեալական ջերմային մեքենայում սառնարանին վերադարձվում է ջեռուցչից ստացած ջերմաքանակի մասը: Որքա՞ն է ջեռուցչի ջերմաստիճանը (Կելվինի սանդղակով), եթե սառնարանի ջերմաստիճանը 0°C է:
16. Ի՞նչ գործառույթ կկատարի ջերմային մեքենան, եթե աշխատի հակադարձ ռեժիմում:

ՌԵԼԱՏԻՎԻՍՏԱԿԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐ

Գլուխ 13.

ՌԵԼԱՏԻՎԻՍՏԱԿԱՆ ԿԻՆԵՄԱՏԻԿԱՅԻ ՏԱՐԲԵՐԸ

§42. Լույսի արագությունը

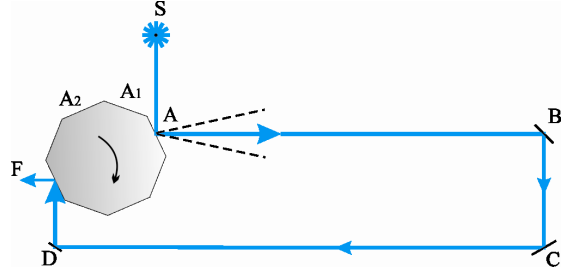
Լույսն ամենակարևոր դերակատարումն ունի բնության մեջ ընդհանրապես, ֆիզիկայում՝ հատկապես: Լույսի օպտիկական և կենսաբանական դրսևորումները բուրիս են քաջ հայտնի. այն ամեն պահ ենք կիրառում կամ նրա ազդեցությունը զգում: Երկրագնդի վրա թթվածնի առկայությամբ և արտադրությամբ մեծ մասամբ հենց նրան ենք պարտական, երբ բույսերը ֆոտոսինթեզ են կատարում: Չէ՞ որ թթվածինն այրման երևույթի մասնակիցն է: Ավելին, որ այսպիսին է բնությունը, տիեզերքը, փոխազդեցությունները, նյութական աշխարհն ու նրա կառուցվածքը, և մարդը ևս, պայմանավորված է նաև լույսի գոյությամբ ու հատկություններով:

1862թ. Ջ. Մաքսվելը իր կերտած էլեկտրադինամիկայի տեսությամբ կանխատեսեց, իսկ 1887թ. էլ Հ. Հերցը փորձով հայտնաբերեց էլեկտրամագնիսական ալիքների գոյությունը: Ըստ Մաքսվելի, այդ ալիքները տարածվում են վակուումում ևս, այն էլ $c = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \approx 299\,792\,458$ մ/վ արագությամբ (ϵ_0 – ն և μ_0 – ն այսպես կոչված էլեկտրական ու մագնիսական հաստատուններն են), որը մոտ էր 1675 թ. Օ. Ռյոմերի աստղագիտական դիտումներից ստացված արժեքին: Դա էլ հենց հիմք ծառայեց, որպեսզի ստեղծվի լույսի էլեկտրադինամիկական տեսությունը: Այստեղ, սակայն, կարևորն այն է, որ c -ն էլեկտրամագնիսական (և ընդհանրապես բոլոր ֆիզիկական) փոխազդեցությունների տարածման առավելագույն արագությունն է և ունիվերսալ հաստատուն է: Դրանով է պայմանավորված լույսի արա-

գության հիմնարար նշանակությունը և անհրաժեշտ է այն չափել անմիջականորեն և հնարավորինս ճշգրիտ:

Ա. Մայքելսոնը կատարեց հետևյալ փորձը: Նա վերցրեց ուղղաձիգ առանցքի շուրջ ազատ պտտվող հայելապատ

նիստերով կանոնավոր ութանկյուն պրիզմա և S լույսի աղբյուրից լուսավորեց այնպես, որ լույսն անդրադառնա A կետից դեպի B անշարժ հայելի, որտեղից էլ՝ C անշարժ հայելի, այստեղից էլ՝ D անշարժ հայելի, ապա F նիստի վրա, հետո էլ ընկնի O կետում տեղակայված ընդունիչը (աչքը), ինչպես պատկերված է նկ. 1-ում:



Նկար 1

Եթե պրիզման մի փոքր պտտենք, ապա S աղբյուրի պատկերը O կետում չի երևա, քանի որ կփոխվի անկման, ուստի և անդրադարձման անկյունը, հետևաբար լույսն այլևս չի ընկնի B հայելու վրա: Նկարում լույսի այդպիսի ճառագայթները ցույց են տրված կետագծերով: S աղբյուրի պատկերը կերևա միայն այն ժամանակ, երբ հարևան A₁ նիստը զբաղեցնի ճիշտ այն դիրքը, որտեղ մինչ պտույտը գտնվել էր A հայելին, այսինքն, երբ պրիզման պտտվի $2\pi/8$ ռադիան անկյունով: S աղբյուրի պատկերը կերևա ամեն անգամ, երբ որևէ նիստ զբաղեցնի ճիշտ այդ դիրքը և միայն այդ դեպքերում: Այնուհետև պրիզման այնպիսի հավասարաչափ ω անկյունային արագությամբ պտտեցվեց, որ S աղբյուրի պատկերն երևաց O կետում: Դա նշանակում է, որ այն t ժամանակում, երբ պրիզման կատարել է $\omega \cdot t = 2\pi/8$ անկյունով պտույտ, լույսը հասցրել է անցնել l երկարության A-B-C-D-F ճանապարհը c արագությամբ: Ուստի ունենք.

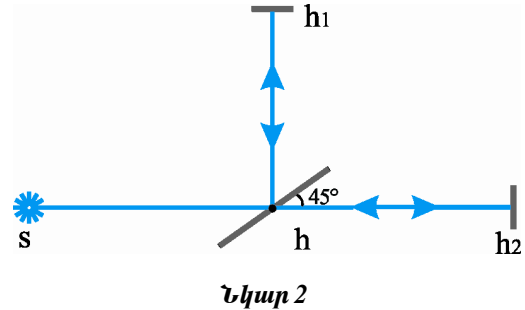
$$c = \frac{l}{t} = \frac{8\omega l}{2\pi}, \tag{1}$$

հետևաբար ունենալով ω -ի և l-ի արժեքները, կհաշվենք լույսի c արագության մեծությունը: Քանի որ c-ն շատ մեծ է, ապա փորձում l-ը վերցրեցին մոտ 70 կմ և ստացան $c = 299792,5 \pm 0,5$ կմ/վ արժեքը:

Հետագայում լույսի արագությունը շատ ավելի ճշգրիտ չափեցին ինչպես տարածման տարբեր ուղղությունների դեպքում, այնպես էլ չափողի կամ աղբյուրի շարժման տարբեր վիճակների դեպքում: Եզրակացվեց, որ **լույսի արագությունը**

բոլոր դեպքերում նույնն է, կախված չէ տարածման ուղղությունից, աղբյուրի և դիտորդի շարժումից, ունիվերսալ հաստատուն է:

Այդ մասին վկայող փորձերից էր, օրինակ՝ Մալթելսոնի և Մորլիի փորձը (նկ.2): Տ աղբյուրից լույսը Երկրի շարժման հարթության մեջ ընկնում է h կիսաթափանցիկ հայելու վրա, որը տեղադրված է $\pi/4$ անկյան տակ: Լույսի ճիշտ կեսն անդրադառնում և ընկնում է ուղղահայաց ուղղության վրա դրված h_1 հայելու վրա, իսկ մյուս կեսն անցնում է ուղիղ և ընկնում h_2 հայելու վրա: Կատարեցին զգայուն ինտերֆերոմետրական չափումներ: Փորձնականորեն չափեցին



լույսի տարածման արագությունն Երկրագնդի շարժման և նրան ուղղահայաց ուղղությամբ: Ինչպես պատկերված է նկ. 2-ում սարքի ճյուղերից մեկը տեղակայվում էր այնպես, որ լիներ գուգահեռ Երկրի տարեկան շարժմանը (h_2 հայելին), իսկ մյուսը՝ նրան ուղղահայաց (h_1 հայելին): Նյուտոնյան մեխանիկայի տեսանկյունից Երկրի շարժումը պետք է ազդեր միայն h_2 ճյուղի ուղղությամբ տարածվող լույսի արագության վրա, ուստի՝ չափելով ժամանակների տարբերությունը, կարելի էր հայտնաբերել Երկրի շարժումը: Սակայն մեծ ճշտությամբ կատարված փորձերը ժամանակային որևէ տարբերություն չհայտնաբերեցին: Այս արդյունքը հակասում էր դասական մեխանիկայի արագությունների գումարման կանոնին, ըստ որի, եթե մարմինը միաժամանակ մասնակցում է երկու շարժման, ապա դրանց արագությունները գումարվում են և, հետևաբար, ցանկացած արագություն կարող է գերազանցվել: Սակայն, լույսի պարագայում իրավիճակը բոլորովին այլ էր. այդ արագությունը միշտ հավասար էր մոտ 300.000 կմ/վ, անկախ նրանից, թե լույսն ի՞նչ ուղղությամբ է տարածվում և արձակվում է շարժվող, թե՛ անշարժ աղբյուրից:

Իհարկե, դասական էլեկտրադինամիկայի բազմաթիվ կանխատեսումներ փորձով շատ լավ հաստատվեցին, որը նույնպես, չնայած և անուղղակի, ապացույց էր լույսի ալիքային տեսությանը: Այնուամենայնիվ, կար մի հանգամանք, որը կասկածի տակ էր դնում դասական էլեկտրադինամիկայի հիմքերը: Էլեկտրադինամիկայի հիմնական հավասարումները՝ Մաքսվելի հավասարումները, կախված էին իներցիալ համակարգի ընտրությունից, ուստի չէին բավարարում Գալիլեյի հարաբերա-

կանության սկզբունքին: Նրանք իրենց տեսքը փոխում են Գալիլեյի ձևափոխությունների դեպքում: Այդ կապակցությամբ Լորենցը, հետագայում նաև Ա. Պուանկարեն, հետևյալ խնդիրը դրեցին. գտնել այնպիսի ձևափոխություններ, որոնց նկատմամբ Մաքսվելի հավասարումներն ինվարիանտ են, ձևով անփոփոխ: Այդպիսի ձևափոխություններ, իրոք, գտնվեցին և կոչվեցին Լորենց-Պուանկարեի ձևափոխություններ, որոնք ողջ գիտական աշխարհը կանգնեցրին դժվարին երկընտրանքի առջև. պետք էր հրաժարվել կամ Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքից, կամ դասական էլեկտրադինամիկայից, կամ էլ երկուսից էլ:

Ստացվեց այնպես, որ հարկադրաբար, ի վերջո, երկուսից էլ հրաժարվեցին: Նախ Ա. Էյնշտեյնն արմատապես նոր գաղափարներից ստացավ Լորենցի ձևափոխությունները, Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքը փոխեց նորով և ստեղծեց հարաբերականության հատուկ տեսությունը: Հետո էլ Մ. Պլանկը, Ն. Բորը, Լուի դե Բրոյլը, Ա. Էյնշտեյնը, Մ. Բոռնը և շատ ուրիշներ հրաժարվեցին լույսի էլեկտրադինամիկական ալիքային տեսությունից, նաև էլեկտրադինամիկայից, և ընդհանրապես ֆիզիկայի դասական հայեցակարգից՝ ստեղծելով աշխարհի քվանտային պատկերը:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Ըմբռնե՞լ եք դատարկությունում լույսի արագության հիմնարար դերն ու նշանակությունը բնության երևույթներում:
2. Հասկացե՞լ եք Մայքելսոնի և Մայքելսոն-Մորլիի փորձերի տարբերությունը:
3. Հասկացե՞լ եք լույսի արագության վերջավորության նշանակությունը և նրա հարուցած դժվարությունները դասական ֆիզիկայում:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Բացատրե՞ք միջավայրի ազդեցությունը Մայքելսոնի և Մայքելսոն-Մորլիի փորձերի արդյունքների վրա՝ ա. եթե միջավայրը համասեռ է, բ. եթե միջավայրը անհամասեռ է:
2. 90 կմ հեռավորությունից կայծակի լույսն ու որոտը ե՞րբ կհասնեն դիտողին:
3. Հաշվել կանոնավոր վեցանիստ հայելու պտտման անկյունային արագությունը, որպեսզի Մայքելսոնի փորձով չափվի լույսի արագությունը և պարզել, թե ի՞նչ դեր կկատարի լույսի ճանապարհի մեծացումը՝ դարձնելով այն 140 կմ:

§43. Հարաբերականության հատուկ տեսության կանխադրույթները

Ինչպես տեսանք, դասական ֆիզիկան, իր հսկայական հաջողություններով հանդերձ, հայտնվել էր սկզբունքային փակուղում: Հակասությունն էլեկտրադինամիկայի և Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքի միջև էր: Մաքսվելի տեսությունը փորձով շատ լավ հաստատված էր, իսկ հարաբերականության սկզբունքն ուղղակի բնության օրենքների օբյեկտիվության պահանջի գիտական ձևակերպումն էր: Ա. Էյնշտեյնը հակասության պատճառը որոնեց ավելի խորքում, ֆիզիկայի հիմքերում:

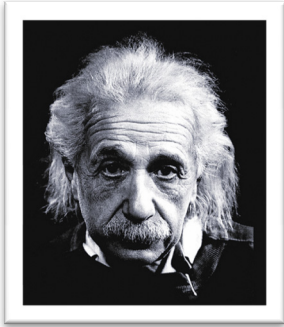
Էյնշտեյնը կասկածի տակ առավ տարածության և ժամանակի նյութոնյան ընկալումը, որը շատ մանրակրկիտ մենք ներկայացրել էինք 10-րդ դասարանի ֆիզիկայի դասընթացում: Ըստ Նյուտոնի տարածությունը և ժամանակը բացարձակ, անփոփոխ, միմյանցից և մատերիայից անկախ մաթեմատիկական հասկացություններ են, որոնք մեզ ծառայում են լոկ որպես միջոց բնության օրենքները ներկայացնելու համար: Էյնշտեյնը նկատեց, որ այդ թեզը հակասում է Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքին, քանի որ, ըստ էության, հանձինս հենց տարածության և ժամանակի, ենթադրվում էր մի ընտրյալ, բացարձակ և անշարժ իներցիալ համակարգի գոյություն: Դա հուշում էր, որ պետք է վերանայել տարածության ու ժամանակի էությունը և ըստ այդմ էլ վերուղղել հարաբերականության սկզբունքը, բայց չհրաժարվել նրանից: Դրան նպաստեց նաև այն, որ լույսի արագությունն ունիվերսալ հաստատուն է, որի չափողականությունը երկարության (ուստիև տարածության) և ժամանակի չափողականությունների հարաբերությունն է: Հետևաբար տարածության և ժամանակի մեջ կարող է լինել ունիվերսալ կապ՝ անտեսված նյութոնյան հայեցակարգում: Այս դատողությունների հիման վրա Էյնշտեյնը նոր տեսության համար հիմք ընդունեց փորձերի ընդհանրացումից բխող երկու կանխադրույթ:

Առաջին կանխադրույթ: *Բնության մեջ դատարկությունում մատերիայի տարածման ամենամեծ արագությունը լույսի արագությունն է, որը ունիվերսալ հաստատուն է և կախված չէ լույսի պարամետրերից՝ լայնությանից, հաճախականությունից, բևեռացումից, տարածման ուղղությունից, աղբյուրի և դիտորդի շարժման վիճակից:*

Երկրորդ կանխադրույթ: *Բնության (ֆիզիկայի) բոլոր օրենքներն ինվարիանտ են (չևսապահպան են, անփոփոխ են) մի իներցիալ համակարգից մյուսին*

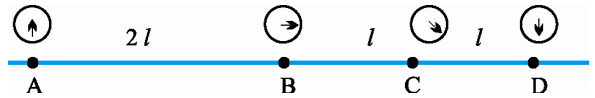
անցնելու չհասկոհությունների նկարմանը, այսինքն, կախված չեն իներցիալ համակարգի ընտրությունից:

Էյնշտեյն Ալբերտ (1879 - 1955)

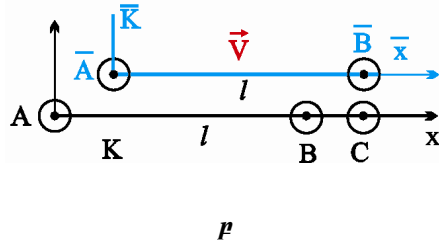
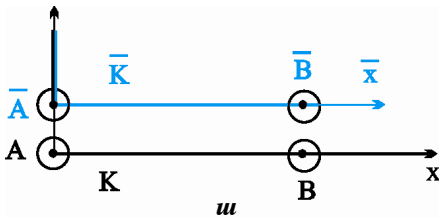


Հրեա սեծ ֆիզիկոս: Ստեղծել է հարաբերականության հատուկ տեսությունը: Այդ տեսությունն ընդհանրացնելով ոչ իներցիալ համակարգերի համար՝ կառուցել է հարաբերականության ընդհանուր տեսությունը, որը տիեզերական ձգողության ժամանակակից տեսությունն է: Առաջարկել է լույսի մասնիկի՝ ֆոտոնի գաղափարը: Կառուցել է բրոունյան շարժման տեսությունը, որը նպաստել է նյութի կառուցվածքի մոլեկուլային-կինետիկ տեսության վերջնական հաղթանակին:

Հիմա կատարենք տերմինաբանական որոշ հստակեցումներ: Դիցուք ունենք միանման մի քանի ժամացույցներ նույն տեղում: Մենք կարող ենք համեմատել և համոզվել, որ դրանք միանման են աշխատում, այսինքն, ցանկացած պահի դրանք նույն ցուցմունքն են տալիս: Ժամացույցները տեղաբաշխենք տարբեր կետերում,



Նկար 1



Նկար 2

ինչպես նկ. 1-ում: Դրանք ամեն **ժամանակամիջոց** հավասար ցուցմունքներով կներկայացնեն, սակայն ժամանակի **սպահերը** կարող են տարբեր լինել: Ենթադրենք A կետից ըստ A ժամացույցի t_A պահին լույս ենք ուղարկել B կետ, որտեղ այն հասել է t_B պահին ըստ B ժամացույցի և հայելուց անդրադարձել է և հասել A կետ ըստ A ժամացույցի t_A պահին: Եթե լույսի գնալ-գալու ժամանակամիջոցները նույնն են՝ $(t_B - t_A) = (t_A - t_B)$, ապա կասենք, որ A և B ժամացույցներն աշխատում են **համաժամանակ՝ սինքրոն**: Ենթադրենք B կետում լույսի կետային աղբյուրից t_B պահին ըստ B ժամացույցի A և D կետերի ուղղությամբ

լույս է ուղարկվել: A և D ժամացույցները ցույց կտան $(t_B + \frac{2l}{c})$ պահը, իսկ C ժամացույցը ցույց կտա $(t_B + \frac{l}{c})$ պահը: Բայց բոլոր ժամացույցները կմնան սինքրոն:

Հիմա համեմատենք տարբեր իներցիալ համակարգերի ժամացույցները: Գիտարկենք նկ. 2 ա-ում ցուցադրված K և \bar{K} իներցիալ համակարգերը, երբ \bar{K} -ն K -ի նկատմամբ շարժվում է հավասարաչափ v արագությամբ: Գիցուք, երբ \bar{A} և A կետերը համընկել են, լուսային ազդանշան է ուղարկվել: \bar{K} համակարգում ազդանշանը \bar{B} կետ կհասնի $\bar{\tau} = \frac{l_{\bar{A}\bar{B}}}{c}$ ժամանակում և նույն ժամանակում էլ K-ում կհասնի B կետ: Իսկ K համակարգում այդ ընթացքում \bar{B} կետը v արագությամբ շարժվելով հասած կլինի K համակարգի C կետ (նկ. 2 բ), ուստի ազդանշանը \bar{B} կետը կհասնի, ըստ K ժամացույցի, $\tau = \frac{l_{AC}}{c}$ ժամանակում: Քանի որ $\tau > \bar{\tau}$, ապա խախտվում է ժամացույցների սինքրոնությունը. *ամեն իներցիալ համակարգ ունի իր սեփական ժամանակը*, այսինքն, ժամանակը հարաբերական է, կախված է իներցիալ համակարգի ընտրությունից: Այն դեպքերը, որոնք ըստ K համակարգի ժամանակի կատարվում են միաժամանակ, \bar{K} համակարգի ժամանակով արդեն միաժամանակ չեն: Միաժամանակության հասկացությունը հարաբերական է, կախված է իներցիալ համակարգի ընտրությունից, ի հակադրություն դասական ֆիզիկայի և մեր առօրյայի:

Այս դատողությունները շարունակելով, Էյնշտեյնը ստացավ K և \bar{K} իներցիալ համակարգերի կոորդինատների կապը, որը համընկավ Լորենցի ձևափոխությունների հետ.

$$\bar{x} = \frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}, \quad \bar{y} = y, \quad \bar{z} = z, \quad \bar{t} = \frac{t-\frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}; \quad (1)$$

Հակառակ ձևափոխությունը կստացվի (1)-ից, եթե v արագությունը փոխարինենք $(-v)$ -ով, քանի որ K -ն \bar{K} -ի նկատմամբ շարժվում է $(-v)$ արագությամբ: Համեմատության համար բերենք Գալիլեյի ձևափոխությունները.

$$\bar{x} = x - vt, \quad \bar{y} = y, \quad \bar{z} = z, \quad \bar{t} = t: \quad (2)$$

Ինչպես երևում է (1)-ից և (2)-ից, $v \ll c$ դեպքում Լորենցի ձևափոխություններից ստացվում են Գալիլեյի ձևափոխությունները:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք ժամացույցների սինքրոնությունը:
2. Յուրացրե՞լ եք միաժամանակության գաղափարը և նրա հարաբերական բնույթը:
3. Յուրացրե՞լ եք հարաբերականության հատուկ տեսության կանխադրույթների իմաստը և նշանակությունը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Չնակերպե՛ք հարաբերականության հատուկ տեսության առաջին կանխադրույթը և թվարկե՛ք նրան հաստատող փորձարարական փաստեր:
2. Չնակերպե՛ք հարաբերականության հատուկ տեսության առաջին կանխադրույթը և նշե՛ք նրա ծագման դրդապատճառները:
3. (1) առնչություններից ստացե՛ք հակառակ անցման ձևափոխությունները:

§44. Ժամանակը և տարածությունը հարաբերականության հատուկ տեսության տեսանկյունից

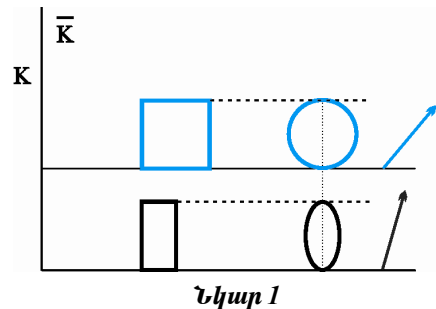
Լորենցի ձևափոխություններում արտահայտված են տարածության ու ժամանակի փոխկապվածությունը, որը պայմանավորված է լույսի արագության վերջավորությամբ: Դա ուղղակի հակադրությունն էր նյուտոնյան հայեցակարգի, ըստ որի ոչ մի կապ չկա տարածության ու ժամանակի միջև: Եթե բնության մեջ փոխազդեցությունները տարածվեն անվերջ մեծ արագությամբ, ապա կկտրվի կապը ֆիզիկական տարածության ու ժամանակի միջև և կստանանք միմյանցից անկախ մաթեմատիկական տարածություն ու ժամանակ: Այսպիսով, վերացական մաթեմատիկական տարածության ու ժամանակի փոխարեն հարաբերականության հատուկ տեսության հիմքում դրվեց իրական ֆիզիկական ժամանակի և տարածության գաղափարը: Լորենցի ձևափոխություններից նաև երևում է, որ կոորդինատն ու ժամանակը նման իրավունքով են հանդես գալիս և, դեռ ավելին, կարող են նույն միավորով չափվել: Իրոք, քանի որ c -ն ունի վերսալ հաստատուն է, ապա ժամանակը կարող ենք c անգամ մեծացնել և նույնացնել ct արտադրյալի հետ՝ վերագրելով նրան երկարության չափողականություն, իսկ l վ համարել արդեն c մետր: Այս բո-

լորի հիման վրա էյնշտեյնը եկավ միասնական քառաչափ տարածություն-ժամանակի հասկացությանը, որտեղ չորս կոորդինատներից երեքը մեր իմացած տարածական կոորդինատներն են, իսկ չորրորդը՝ ժամանակային կոորդինատն է: Քառաչափ աշխարհը շատ հետաքրքիր հատկություններ ունի, որոնք չկան մեր դասական աշխարհում: Դիտարկենք դրանցից երկուսը՝ երկարության ու ժամանակամիջոցի չափումը:

Դիցուք ունենք K և \bar{K} իներցիալ համակարգերը, ընդ որում \bar{K} -ն K -ի նկատմամբ շարժվում է հավասարաչափ v արագությամբ: Եթե չափվող ձողը անշարժ է K -ի նկատմամբ, ապա նրա ծայրերը կհամեմատենք մասշտաբի հետ և կչափենք l_0 երկարությունը, որին կանվանենք **սեփական երկարություն**: Գասական ֆիզիկայում երկարությունը սկայյար մեծություն է և կախված չէ իներցիալ համակարգի ընտրությունից, ուստի ձողի երկարությունը l_0 կլինի նաև \bar{K} իներցիալ համակարգում: Իրականում, սակայն, դա այդպես չէ: Հիմա ենթադրենք ձողը \bar{K} համակարգում է, այդ դեպքում K համակարգի դիտորդը ինչպե՞ս պիտի չափի \bar{K} -ում գտնվող ձողի l երկարությունը, քանի որ չափման սովորական եղանակն այլևս կիրառելի չէ ձողի ծայրերը **միաժամանակ** չիմանալու պատճառով: Այդ պատճառով վարվենք հետևյալ կերպ: K համակարգի բոլոր կետերում տեղադրենք միմյանց հետ սինքրոնացված ժամացույցներ, որոնցով ինչ-որ պահի **միաժամանակ** նշենք ձողի ծայրերի x_1 և x_2 դիրքերը, հետո K -ի քանոնով չափենք այդ կետերի հեռավորությունը և ստացվածը համարենք ձողի l երկարություն K -ում: Այդ դեպքում §43-ի (1) բանաձևից կունենանք.

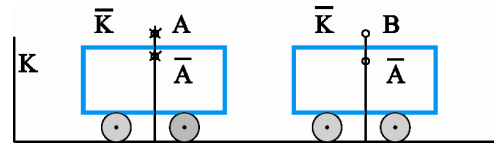
$$l_0 \equiv \bar{x}_2 - \bar{x}_1 = \frac{x_2 - x_1 - v(t_2 - t_1)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (1)$$

որտեղ հաշվի առանք, որ $t_2 = t_1$, քանի որ K -ում նշումները կատարել ենք միաժամանակ: (1) բանաձևերից երկրորդը վկայում է, որ շարժվող ձողը կարճանում է, նրա երկարությունը **շարժման ուղղությամբ** փոքրանում է, ընդ որում արագության մեծացման հետ ավելի է կարճանում: Բայց շարժմանն ուղղահայաց ուղղությամբ դա տեղի չի ունենում, քանի որ, ըստ Լորենցի ձևափոխությունների տեղի ունեն $\bar{y} = y$, $\bar{z} = z$ պայմանները:



Օրինակ, \bar{K} -ում գտնվող շրջանագիծը, քառակուսին և սլաքը K -ում կդիտվեն էլիպս, ուղղանկյունի և ուղղությամբ ետ թեքված կարճացած սլաք, ինչպես նկ. 1-ում:

Հիմա դիտարկենք ժամանակամիջոցի չափումը: Ենթադրենք K համակարգը կայարանն է, իսկ \bar{K} –ն հավասարաչափ v արագությամբ շարժվող գնացքի փակ վագոնն է, որի տանիքին և ներսում երկու զուգահեռ միացված լամպեր կան (նկ. 2):



Նկար 2

\bar{K} ժամացույցով \bar{t}_1 պահին տեղի ունեցավ պատահար՝ լամպերում միացվեցին լուսային ազդանշանը վագոնի \bar{A} կետում, իսկ \bar{t}_2 պահին տեղի ունեցավ երկրորդ պատահարը նույն \bar{A} կետում՝ ազդանշանը անջատվեց: \bar{K} համակարգում այդ

պատահարների միջև ժամանակամիջոցը՝ $\tau_0 \equiv \bar{t}_2 - \bar{t}_1$, կոչվում է **սեփական ժամանակ**: Ինչպիսի τ ժամանակամիջոց ցույց կտա K համակարգի ժամացույցը: K -ի դիտորդն ազդանշանը միացնելու պատահարը կտեսնի A կետում t_1 պահին, իսկ լույսը անջատելու պատահարը՝ B կետում t_2 պահին (նկ.2): Ըստ Լորենցի ձևափոխությունների.

$$\tau \equiv t_2 - t_1 = \frac{(\bar{t}_2 - \bar{t}_1) + \frac{v(\bar{x}_2 - \bar{x}_1)}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \tag{2}$$

որտեղ հաշվի է առնվել, որ \bar{K} համակարգում երկու պատահարներն էլ տեղի են ունեցել միևնույն \bar{A} կետում, այսինքն, ($\bar{x}_2 = \bar{x}_1$):

(2)-ից բխում է, որ K դիտորդի տեսանկյունից վագոնում ժամացույցը դանդաղ է աշխատում: Եթե գնացքը էլ ավելի արագ ընթանա, ապա վագոնում ժամացույցը էլ ավելի դանդաղ կաշխատի: Հետաքրքիր է, որ վագոնի դիտորդի կարծիքով հենց կայարանի ժամացույցն է դանդաղ աշխատում:

Քանի որ հայտնի են կոորդինատները և ժամանակը, ապա Լորենցի ձևափոխություններից կարելի է հաշվել նաև K և \bar{K} իներցիալ համակարգերում u և \bar{u} արագությունները.

$$u = \frac{\bar{u} + v}{1 + \frac{\bar{u}v}{c^2}}, \quad \bar{u} = \frac{u - v}{1 - \frac{uv}{c^2}}, \tag{3}$$

որը հանդիսանում է արագությունների գումարման թեորեմը հարաբերականության հատուկ տեսությունում: (3)-ից հետևում է, որ եթե $v \ll c$, $u = \bar{u} + v$ ինչպես դասական դեպքում: Իսկ եթե $\bar{u} = c$ կամ $v = c$, ապա $u = c$, այսինքն, լույսի

արագությանը ինչ արագություն էլ որ գումարենք, միևնույնն է, լույսի արագությունից ավելի մեծ արագություն չենք ստանա: Անգամ եթե $v=c$ (\bar{K} -ն K -ի նկատմամբ լույսի արագությամբ է շարժվում) և $\bar{u}=c$ (այսինքն, մարմինն էլ \bar{K} -ի նկատմամբ է լույսի արագությամբ շարժվում), ապա միևնույն է, գումարը դարձյալ կլինի c : Դասական դեպքում դա անիմաստ է, քանի որ չի կարող $c+c=c$: Օրինակ, եթե երկու ֆոտոն (լույսի մասնիկ) հակառակ ուղղությամբ շարժվում են յուրաքանչյուրը c արագությամբ, ապա իրար նկատմամբ էլ են շարժվում c արագությամբ:

Վերջում նշենք, որ երկրային պայմաններում ևս կարելի է դիտել ռելյատիվիստական էֆեկտներ: Օրինակ, գերձայնային երկու ինքնաթիռներ, եթե միաժամանակ թռչեն մեկը Երկրի պտտման ուղղությամբ, իսկ մյուսը՝ հակառակ ուղղությամբ և հանդիպեն, ապա նրանց ժամացույցները 50-60 նանովայրկյանի տարբերություն կտան ըստ տեսության: Արդի չափման հնարավորությունները թույլատրում են նման նուրբ չափումներ անել և համոզվել տեսության ճշտության մեջ: Նման չափումներ արվել են և հաստատել են ժամացույցների ընթացքի փոփոխությունները:

Ինքնատուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք ժամանակի և տարածության հարաբերականությունը:
2. Յուրացրե՞լ եք սեփական ժամանակի և սեփական երկարության հասկացությունները:
3. Յուրացրե՞լ եք քառաչափ տարածություն-ժամանակի ներմուծման անհրաժեշտությունը:
4. Հասկացե՞լ եք, ի՞նչ են նշանակում «ժամացույցը դանդաղ է ընթանում» և «քանոնը կարճ է» արտահայտությունները:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Ձևակերպե՛ք սեփական ժամանակի և սեփական երկարության սահմանումները և ստացե՛ք նրանց համար արտահայտություններ Լորենցի ձևափոխություններից:
2. Ստացե՛ք արագությունների գումարման թեորեմը և ցույց տվե՛ք, թե առաջին կանխադրույթն ինչպես է այնտեղ արտահայտվում:
3. Հաշվե՛լ այն արագությունը, որի դեպքում՝ ա. քանոնը 2 անգամ կկարճանա, բ. ժամանակը 2 անգամ կդանդաղի:

Գլուխ 14.

ՌԵԼՅԱՏԻՎԻՍԱԿԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՏԱՐԲԵՐԸ

§45. Էներգիայի և զանգվածի կապը

Ինչպես պարզեցինք նախորդ պարագրաֆներում, ըստ հարաբերականության հատուկ տեսության ժամանակամիջոցը, հեռավորությունը և արագությունը հարաբերական բնույթի մեծություններ են: Նրանց մեծություններն ինչ-որ K իներցիալ համակարգի նկատմամբ կախված են K -ի նկատմամբ իրենց արագություններից: Ուստի հարց է առաջանում. իսկ դինամիկ մեծությունները՝ զանգվածը, իմպուլսը և էներգիան, նույնպե՞ս հարաբերական են:

Սա շեակաև հարցադրում է, կա նաև բովանդակային և հիմնարար հարցադրում: Դասական ֆիզիկայում շարժման հավասարումն արքահայրում էր պայրճառականության սկզբունքը՝ կապելով շարժման ձևը նրա ներքին ու արքաքին պայրճառների հեք: Ուստի հարցը դրվում է այսպես՝ գործու՞մ է պայրճառականության սկզբունքը ռելյաքիվիստական ֆիզիկայում:

Ըստ Նյուտոնի 2-րդ օրենքի հասքայրուն ուժի ազդեցությանք մարմինը կշարժվի հասքայրուն արագացմամք և անընդհաք կմեծացնի արագությունը, մինչև գերագանցի լույսի c արագությունը: Դա կհակասի հարաբերականության քեսության առաջին կանխադրությունին: Բացի այդ, արքաքին \vec{F} ուժը կախված չէ մարմնի շարժման վիճակից, ուստի $\vec{F} = m\vec{a}$ օրենքից բխում է, որ m արքադրյալը նույնպես պիտի կախված չլինի մարմնի շարժման վիճակից, այնինչ \vec{a} -ն կախված է: Ուստի առաջանում է երկրնքրանք՝ կամ m -ը ևս պիտի կախված լինի մարմնի շարժման վիճակից, այն էլ այնպես, որ m արքադրյալը կախված չլինի դրանից, կամ էլ պեքք է հրաժարվել պայրճառականության սկզբունքից: Վերջինից հրաժարվելու հիմք դեռևս չկա, մնում է գրնել զանգվածի կախումը արագությունից:

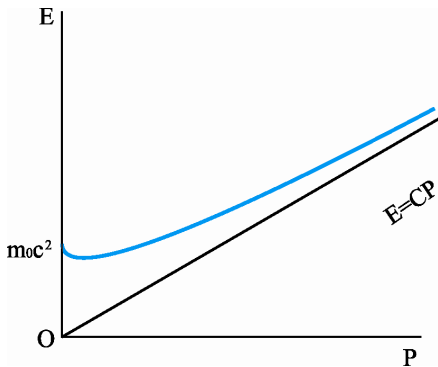
Էյնշտեյնը գտավ, որ

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (1)$$

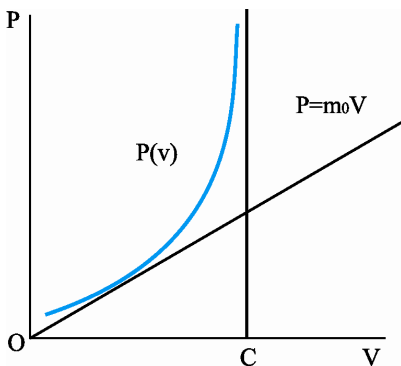
$$E = m c^2, \quad (2)$$

այստեղ E -ն մարմնի էներգիան է, m -ը մարմնի զանգվածն է K իներցիալ

համակարգում, իսկ m_0 -ն այդ նույն մարմնի զանգվածն է այն իներցիալ համակարգում, որն ամրացված է մարմնին և որի նկատմամբ K -ն շարժվում է հաստատուն v արագությունով: m_0 -ն կոչվում է **հանգստի զանգված**:



Նկար 1



Նկար 2

Հետագայում բարձր ճշտության չափումները հաստատեցին այս բանաձևերի ճշտությունը: Այդ նպատակով մշակվեց գիտափորձ. հաշվեցին մեծ արագության էլեկտրոնների (օրինակ, կատոդային ճառագայթների) հետագծերն էլեկտրական ու մագնիսական դաշտերում ըստ (1)-ի և առանց դրա: Փորձը հաստատեց (1)-ի ճշտությունը: Չնայած գիտափորձերով ցույց տրվեց նաև (2) բանաձևի ճշտությունը: Այդ փորձերը վերաբերում են տիեզերական և աստղային ճառագայթմանը, ռադիոակտիվ տրոհմանը և արագացուցիչների տեխնիկային, դուրս են սույն դասագրքի շրջանակներից, ուստի չենք նկարագրի:

(1)-ից կարող ենք ստանալ արտահայտություն իմպուլսի համար.

$$p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (3)$$

որի գրաֆիկը բերված է նկ. 1-ում: (3)-ից և (2)-ից կարող ենք ստանալ էներգիայի և իմպուլսի կապը.

$$E = \sqrt{m_0^2 c^4 + c^2 p^2}: \quad (4)$$

Նկ. 2-ում պատկերված է էներգիայի կախումն իմպուլսից: Եթե մարմինը ΔE էներգիա կորցնի, ասենք, ճառագայթի, ապա ըստ (2)-ի, նրա զանգվածը կփոխվի.

$$\Delta E = c^2 \Delta m, \quad (5)$$

որը կարևոր նշանակություն ունի միջուկային ռեակցիաների վերլուծության համար և հանդիսանում է միջուկային էներգետիկայի և նաև զինատեսականու հիմքը:

Շատ հիմնարար հետևանքներ են բխում (4) բանաձևից (կամ (2)-ից): Այն համակարգում, որտեղ մարմինը հանգստի կամ դադարի վիճակում է (չի շարժվում), նա ունի մշտապես իրեն ամրացված, ինչ-որ թաքնված էներգիա, որը կոչվում է հանգստի էներգիա.

$$E_0 = m_0 c^2, \quad (6)$$

հակառակ դեպքում, երբ մարմինը չունի հանգստի զանգված, ասենք ֆոտոնը, կունենանք.

$$E = pc: \quad (7)$$

Ի դեպ, եթե որևէ մասնիկի համար էներգիա-իմպուլս կապը տրվեր (7) բանաձևով, ապա (4)-ից կարելի էր ստանալ, որ նրա հանգստի զանգվածը զրո է՝ $m_0 = 0$: Այդպիսի մասնիկներ կան և՛ իրականում, և՛ մտացածին:

Այսպիսով, հարաբերականության տեսությունը նախ ընդլայնում է զանգվածի և էներգիայի իմաստները, հետո էլ վերականգնում է շարժման հավասարումը՝

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}, \quad (8)$$

որպես ռելյատիվիստական մեխանիկայի շարժման հավասարում:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Ըմբռնե՞լ եք դասական և ռելյատիվիստական շարժման հավասարումների տարբերությունն ու նմանությունը:
2. Պատկերացնո՞ւմ եք զանգվածի մեծանալն արագության հետ:
3. Ի՞նչ եք հասկանում (6) բանաձևի տակ:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Ձևակերպե՞ք շարժման հավասարումը ռելյատիվիստական մեխանիկայում:
2. Հաշվե՛լ այն արագությունը, որի դեպքում մարմնի զանգվածը կդառնա իր հանգստի զանգվածի կրկնապատիկը (նաև n -ապատիկը):

3. Հաշվել, թե որի հանգստի էներգիան է մեծ և քանի՞ անգամ, եթե ունենք՝
 - ա. մեկ մոլ թթվածին և մեկ մոլ ջրածին, բ. մեկ գրամ թթվածին և մեկ գրամ ջրածին:
4. 0,55 միկրոմետր ալիքի երկարության քանի ֆոտոն է պետք մեկ պրոտոնի հանգստի էներգիա ստանալու համար (ֆոտոնների թիվը կլորացնել):

§46. Աշխարհի ռեյատիվիստական պատկերը

Ռեյատիվիստական ֆիզիկան նոր աշխարհը մեզնում է: Իմաստափոխվել են նախկին բոլոր հասկացություններն ու ընկալումները՝ ստանալով հարաբերական բնույթ: Ամեն ինչ այլևս իմաստալից չէ, եթե չեն նշվում համապատասխան պայմանները:

Այն, ինչ կատարվում է միաժամանակ կամ պատահարը տեղի ունի նույն կետում, լոկ հարաբերական են և կախված են դիտորդից ու նրա շարժման վիճակից: Երկնակամարում այսօր դիտում ենք «առկայծող» աստղեր, որոնցից լույսի արագությամբ եկող ագրանշանը նոր է միայն մեզ հասնում, չնայած այն առաքվել է 10 միլիարդ տարի առաջ: Այդ աստղը գուցե այլևս գոյություն չունի, սակայն մենք հիմա ենք նրան դիտում: Բացառված չէ անգամ, որ մենք հիմա դիտենք ծնունդը աստղի, որն այլևս չկա այդ աստղին մոտիկ գտնվող մի այլ մոլորակի համար: Այնպես որ, ինչ-որ բանի լինել-չլինելը նույնպես հարաբերական է:

Բացարձակ է լույսի արագությունը: Այս արտահայտությանը որոշ զգուշությամբ պետք է վերաբերվել: Այստեղ խոսքը միայն լույսին չի վերաբերում, այլ նաև փոխազդեցությունների տարածմանը բնության մեջ: Այդ հանգամանքը միասնական է դարձնում տարածությունն ու ժամանակը ֆիզիկայում: Դա նշանակում է, որ մենք ապրում ենք քառաչափ աշխարհում, որը էապես տարբերվում է ժամանակից անկախ եռաչափ աշխարհից:

Հպանցիկ համեմատենք եռաչափ ու քառաչափ աշխարհները միմյանց հետ: Դասական հայեցակարգում ժամանակի և տարածության հասկացությունները միմյանցից անկախ են, որը հանգեցնում է նրան, որ հաշվարկման համակարգը փաստորեն միայն տարածական բնույթի է և ունի անփոփոխ, ամեն ինչից ան-

կախ, բացարձակ (ոչ հարաբերական) երկրաչափական ու չափային հատկություններ: Արդյունքում հենց ինքը՝ տարածությունը, հանդիսանում է մի բացարձակ համակարգ, որը եզակի է և առավել բոլոր այլ համակարգերից: Այդ բացարձակի մեջ է հարաբերականության սկզբունքը տարածվում մյուս համակարգերի վրա: Ի վերջո, այդ բացարձակության պատճառով «միաժամանակության» ու «միևնույն տեղում» գաղափարները դառնում են բացարձակ գաղափարներ: Չնականորեն դա արտահայտվում է նրանով, որ աշխարհը ներկայացնում ենք **իրարից անկախ** երկու սկալյարներով՝ τ ժամանակամիջոցով ու $l = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}$ հեռավորությամբ:

Լույսի c արագության ունիվերսալ հաստատուն լինելը վերացնում է ժամանակային ու տարածական հեռավորությունների անկախությունը և վերականգնում է աշխարհի ավելի ընդհանուր, (x, y, z, ct) չորս կոորդինատով նկարագրվող միասնական տարածաժամանակային քառաչափ պատկերը: Սակայն (x, y, z, ct) սովորական էվկլիդեսյան կոորդինատական քառյակ չէ, որի դեպքում երկու կետերի հեռավորությունը կլիներ $l = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2 + (ct)^2}$: Իրական քառաչափ աշխարհում (x, y, z, ct) քառյակը ներկայացնում է ոչ թե կետ սովորական առումով, այլ ֆիզիկական պատահար (տվյալ կետում տվյալ պահին), իսկ երկու պատահարների միջև հեռավորությունը՝ քառաչափ ինտերվալը, սահմանվում է որպես

$$\Delta s = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2 - (ct)^2} \quad (1)$$

բանաձևով: Այս քառաչափ տարածությունը անվանում են Մինկովսկու տարածություն: Հետագայում Էյնշտեյնն ընդհանրացնելով նաև այս տարածությունը՝ այն օգտագործեց հարաբերականության ընդհանուր տեսությունը կառուցելիս:

ԽՆԳԻՐՆԵՐ

1. Հոր տարիքը 36 է, որդունը՝ 18: Հայրը հրթիռով ուղևորվեց տիեզերական գիտարշավի և վերադարձավ հրթիռի ժամանակով 18 տարի հետո: Երբ վերադարձավ, որդին Երկրի ժամանակով 54 տարեկան էր: Ի՞նչ արագություն է ունեցել հրթիռը: Ե՞րբ պետք է վերադառնար հայրը, որպեսզի որդին Երկրի ժամանակով 18 տարով մեծ լիներ հորից:

2. Ինչպի՞սի արագություններ պետք է ունենան էլեկտրոնը և պրոտոնը (ջրածնի իոնացված ատոմը), որպեսզի դրանց իմպուլսները հավասար լինեն:
3. Երևանի արագացուցիչում էլեկտրոնին հաղորդեցին 6 միլիարդ էլեկտրոնվոլտ էներգիա: Հաշվել էլեկտրոնի զանգվածը:
4. Ի՞նչ արագությամբ պետք է շարժվի շրջանագիծը Երկրի վրա գտնվող դիտորդի նկատմամբ, որպեսզի նրա մակերեսը մեկ քառորդով նվազի: Էլիպսի մակերեսը հաշվել $S = \pi ab$ բանաձևով, որտեղ a – ն և b -ն էլիպսի կիսառանցքներն են:
5. Երկրի վրայի դիտորդը տեսավ հորիզոնական ուղղությամբ $0,9c$ արագությամբ շարժվող 1մ հորիզոնական կողմով քառակուսի: Ի՞նչ չափերով, ի՞նչ և ի՞նչպիսի դիրքով դրված պատկեր էր սեփական համակարգում:
6. Գետնի նկատմամբ նույն արագությամբ հակադիր ուղղություններով սլացող դիտորդների տեսակետով Երկրի ժամանակի ընթացքը դանդաղել է 5%-ով: Իսկ ի՞նչ կարծիք նրանք ունեն միմյանց ժամանակի մասին:
7. Ինչքա՞ն էլեկտրաէներգիա պետք է ծախսել, որպեսզի Երևանի արագացուցիչում էլեկտրոնին հանգստի վիճակից բերենք 6 միլիարդ էլեկտրոնվոլտ էներգիայով վիճակի և այդ վիճակում պահենք 1 ժամ: Համարել, որ ծախսված էներգիայի η_1 մասը հաղորդվում է էլեկտրոնին, որի η_2 մասը էլեկտրոնը ճառագայթում է էլեկտրամագնիսական ալիքի ձևով:

ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱ

Գլուխ 15.

ՄԻԿՐՈԱՇԽԱՐՀԻ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐ: ԱՏՈՄ

§47. Գասական ֆիզիկայի ճգնաժամը: Ֆոտոէլեկտրական երևույթը

Գասական ֆիզիկան 20-րդ դար մտավ որպես կուռ ձևավորված, կարծես ավարտուն, մի գիտություն, որն իր նոր եղանակներով և բազմազան կիրառություններով փութով նաև առաջատար դարձավ: Նա բավականին սպառիչ բացատրեց մինչ այդ հայտնաբերված բնության երևույթները և խթանեց բազում նորանոր երևույթների կանխատեսումներն ու նպատակային որոնումներն, ընդամին, երաշխավորված հաջողություններով: Բավ է նշել Ջ. Մաքսվելի և Հ. Հերցի կերտած էլեկտրադինամիկան, որը հիմք հանդիսացավ էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենաների ստեղծման, էլեկտրամագնիսական ալիքների ստացման ու դրա հիման վրա հեռակապի նոր միջոցների ստեղծման համար: *Դեռևս 1907 թ. գունավոր հեռուստատեսության սկզբունքների արդյունագրումը հայազգի մեծարտադան գիտնական Հ. Աղամյանի կողմից արդեն իսկ դասական ֆիզիկայի հաջողության և նրա դերակարարման վառ վկայությունն է մարդկային քաղաքակրթության զարգացման մեջ:* Սակայն ի հայտ եկան նաև սկզբունքային դժվարություններ:

Ըստ էլեկտրադինամիկայի, նյութի ատոմները էլեկտրաչեզոք են, պարունակում են էլեկտրոններ, ուստիև դրական լիցքեր: Ատոմը, ասենք ոսկու, կայուն է և պարունակում է դրական ու բացասական լիցքեր, որոնք միմյանց ձգում են կուլոնյան ուժով, սակայն իրար չեն միանում՝ լիցքաչեզոքանալով: Ինչպես գիտենք երկնային մեխանիկայից, աստղային համակարգի կենտրոնական ուժային դաշտում աստղը և մոլորակները կատարում են իրար շուրջ պտտական շարժում: Տիեզերա-

կան ձգողական ուժերի նման, նույն օրինաչափությունով են գործում նաև լիցքերի կուլոնյան ձգողական ուժերը՝ $F \sim \frac{1}{r^2}$, և թվում է, թե ատոմի մոլորակային մոդելը կգործի: Սակայն այդ մոդելը հակասում է էլեկտրադինամիկային: Արագացումով շարժվող լիցքը պիտի անընդհատ ճառագայթի էլեկտրամագնիսական ալիք, նվազեցնի իր էներգիան, ընկնի հականուն լիցքի վրա և ինքնաբերաբար անհետանա: Նման երևույթ չի դիտվել երբևիցե: Հետևաբար, էլեկտրադինամիկայի կանխադրույթներում կամ էլ **տրամաբանական հենքում** կան իրարամերժ կամ անճիշտ դրույթներ, կամ էլ պակասում է ինչ-որ մի ուժ: Եթե միայն դժվարությունը սա լիներ, ինչ-որ կերպ այն կարելի էր շրջանցել:

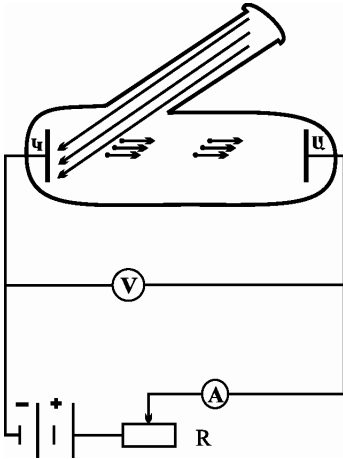
Կան բազմաթիվ երևույթներ, որոնց բացատրությունը դասական ֆիզիկայի շրջանակներում հնարավոր չէր: Փորձը ցույց է տալիս, որ ցանկացած միատարր նյութի արձակած լույսի հաճախականությունների բազմությունը՝ սպեկտրը, բաղկացած է առանձին արժեքներից (զծերից), որոնք ենթարկվում են խիստ որոշակի օրինաչափության: Դրանք դասական ֆիզիկայի և լույսի ալիքային տեսության շրջանակներում բացատրելի չեն: Լույսի ալիքային տեսությունը սպառնիչ բացատրում է ինտերֆերենցիայի, դիֆրակցիայի, դիսպերսիայի և տարածման երևույթները, իսկ լույսի փոխազդեցությունը միջավայրի հետ նրան փակուղի է տանում:

1900 թ. դեկտեմբերի 14-ին Մ. Պլանկը ներկայացրեց բացարձակ սև մարմնի ջերմային հավասարակշիռ ճառագայթման փորձերից ստացված արդյունքները և իր վարկածն այդ արդյունքները բացատրելու համար: Ըստ Պլանկի մոդելի, ուսումնասիրվող ճառագայթային դաշտը ներդաշնակ տատանակների հաճախությունների դաշտն է, բայց որպեսզի փորձի արդյունքները բացատրելի լինեն, առաջարկեց դասական ֆիզիկային հակասող վարկած. տատանակը տվյալ հաճախականության լույս է առաքում էներգիայի որոշակի բաժնի՝ **քվանտի** բազմապատիկ մասերով: Այդ օրը համարվեց քվանտային ֆիզիկայի ծննդյան օրը:

Մյուս կողմից էլեկտրոնների և մյուս տարրական մասնիկների հետ կատարած մի շարք փորձեր ցույց տվեցին, որ դրանք ենթարկվում են ինտերֆերենցիայի, դիֆրակցիայի և դիսպերսիայի այնպիսի ձևով, ինչպես ալիքներին է յուրահատուկ: Այդ փորձերը բարդության պատճառով չենք նկարագրի, բայց նշենք, որ դրանք ևս փակուղի են մտցնում դասական ֆիզիկան:

Հստակության համար մանրամասն դիտարկենք ֆոտոէլեկտրական (լուսաէլեկտրական) երևույթը:

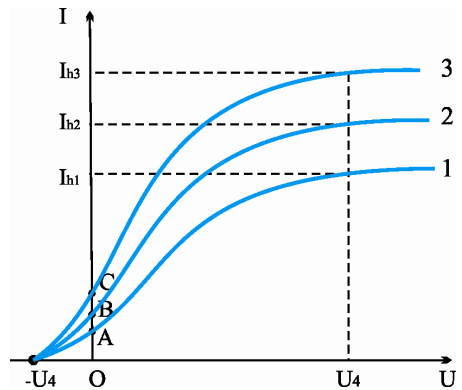
Ֆոտոէֆեկտ: Լուսային էներգիայի միջոցով էլեկտրոնների արտահոսքը մետաղից դատարկություն (վակուում)՝ կոչվում է լուսաէլեկտրական երևույթ կամ պարզապես արտաքին ֆոտոէֆեկտ: Երևույթը 1886-1887 թթ. հայտնաբերել է Հ.



Նկար 1

Հերցը, իսկ 1887-1888 թթ. երևույթն ուսումնասիրել են Ֆ. Լենարդը և Ա. Ստոլետովը: Ստոլետովը ստացավ ֆոտոէֆեկտի օրինաչափությունները, որի համար էֆեկտը կոչվեց նրա անունով: Փորձի սխեման պատկերված է նկ. 1-ում: Կվարցե անոթում տեղադրված են էլեկտրոդներ՝ անոդ և ցինկե կատոդ, այնուհետև օդը հանված է և լույսի պատուհանը փակված: Երբ պատուհանից ցինկե թիթեղը լուսավորեցին, միլիամպերմետրը հոսանք գույց տվեց ուլտրամանուշակագույն լույսի դեպքում: Երբ պատուհանի առջև ակապու հաստ շերտ դրվեց, որն անթափանց է ուլտրամանուշակագույն լույսի համար, հոսանքը մարեց: Երբ կատոդին դրա-

կան, իսկ անոդին բացասական լարում տվեցին, դարձյալ հոսանքը մարեց: Միակ հնարավոր եզրակացությունն այն է, որ լույսի էներգիայի հաշվին էլեկտրոնը կատոդից դուրս է թռչում դատարկություն, ձգվում է անոդի դրական լիցքերից, շարժվում է և առաջացնում հոսանք, որն էլ գրանցվեց: Փոխելով անոդի նյութը, նկատեցին, որ փոխվում է այն հաճախականությունը, որից փոքր հաճախականություններն էֆեկտ չեն առաջացնում, իսկ մեծերը՝ առաջացնում են: Այսինքն, գոյություն ունի շեմային հաճախականություն, որը կատոդի նյութի բնութագիրն է և որոշում է ֆոտոէֆեկտի, այսպես կոչված, կարմիր սահմանը: Երբ չափեցին հոսանքի կախումը լարումից՝ վոլտ-ամպերային բնութագիծը (նկ. 2), նկատեցին, որ հոսանք կա նաև այն դեպքում, երբ արտաքին լարում չկա՝ $U = 0$ (A, B,



Նկար 2

C կետերը նկ. 2-ում): Դա նշանակում է, որ ֆոտոէլեկտրոններն ունեն որոշ կինետիկ էներգիա, որի շնորհիվ հասնում են անոդին և հոսանք առաջացնում: Վոլտ-ամպերային բնութագծից պարզեցին, որ ֆոտոէլեկտրոնների կինետիկ էներգիան

ունի առավելագույն արժեք տրված հաճախականության և կատողի նյութի համար: Կինետիկ էներգիայի առավելագույն արժեքը գտնելու համար պետք է կատողին տալ դրական լարում, որը կձգի դուրս եկած ֆոտոէլեկտրոնները՝ ետ պահելով նրանց դեպի անոդ թռչելուց: Կասեցնող անվանենք այն U_y լարումը, որի դեպում ոչ մի ֆոտոէլեկտրոնի կինետիկ էներգիան չի բավարարի կատողից հեռանալու համար, այսինքն. $\frac{mv^2}{2} = eU_y$: U_y լարումը չափելով՝ կգտնենք ֆոտոէլեկտրոնի առավելագույն կինետիկ էներգիան:

Աղյուսակում բերված են ֆոտոէֆեկտի վերաբերյալ փորձնական արդյունքները, որոնք չեն համատեղվում դասական ֆիզիկայի սկզբունքների հետ, ինչպես կհամոզվենք նաև հաջորդ պարագրաֆում:

Հիմա նշենք ֆոտոէֆեկտի մի հատկություն, որը կիրառական մեծ նշանակություն ունի: Ֆոտոէլեկտրոնների ծմման (ֆոտոգեներացիայի) τ ժամանակը շատ փոքր է՝ $\tau < 10^{-9}$ վ = 1 նանովայրկյան: τ -ն լույսի ճառագայթը մետաղի վրա ընկնելու պահից մինչև էլեկտրոնի դուրս գալու ժամանակն է, որի փոքրությունը վկայում է, որ ֆոտոէֆեկտը ոչ իներցիոն երևույթ է: Հետևաբար, ֆոտոէֆեկտի հիման վրա աշխատող սարքերն արագագործ են:

	Լույսի ν հաճախականությունը	Լույսի Φ ուժգնությունը	Նյութի հատկությունը
Ֆոտոէֆեկտի գոյությունը	Կախված է ν -ից	Կախված չէ	Կախված է $A_{էլ}$ -ից
Հագեցման I_h Ֆոտոհոսանքը	Կախված չէ	Կախված է $I_h \sim \Phi$	Կախված չէ
Կասեցման լարում	Կախված է	Կախված չէ	Կախված է
Շեմային ν_2 հաճախականությունը	Կախված չէ	Կախված չէ	$h\nu_2 = A_{էլ}$
Ֆոտոէլեկտրոնի $E_{կին}$ կինետիկ էներգիան	$E_{կին} \sim \nu$	Կախված չէ	Կախված է $A_{էլ}$ -ից

Ֆոտոէֆեկտի հայտնագործումից անմիջապես հետո այն լայն կիրառություն գտավ տեխնիկայում որպես ֆոտոդիոդ, ֆոտոռելե, ֆոտոընդունիչ և այլն:

Սակայն բացի ենպիրիկ օրենքներից, ոչ մի գիտական բացատրություն և տեսություն այդ երևույթի համար չկար: Դա ուներ իր շատ խորն ու հիմնավոր պատճառը՝ աղյուսակում բերված փորձնական արդյունքները սկզբունքորեն անհամատեղելի էին գործող ֆիզիկական դասական տեսությունների հետ: Ինչպես տեսանք, անբացատրելի են մի քանի հանգամանքներ, որոնք ուղղակի հակասում են ընդհանրապես լույսի միայն ալիք լինելուն: Անտարակույս, լույսն օժտված է ալիքային բոլոր հատկություններով, ինչում մենք համոզվել ենք ինտերֆերենցիայի, դիֆրակցիայի և այլ ալիքային երևույթների ուսումնասիրությամբ: Ըստ դասական տեսության, էլեկտրամագնիսական ալիքի էներգիան որոշվում է լայնությով՝ համեմատական նրա քառակուսուն: Ալիքի դաշտի լարվածությունն ազդելով էլեկտրոնների վրա, նրանց արագացում կհաղորդի և կմեծացնի նրանց էներգիան այնքան, մինչև բավարարի նրանց արտահոսքին նյութից: Ընդ որում, առանց որևէ շեմային երևույթի: Միավոր ժամանակում թիթեղի վրա ընկած լուսային փնջի էներգիան՝ լույսի Փ ուժգնությունը, կորոշի նյութից արտահոսած էլեկտրոնների քանակը: Այնինչ փորձը ցույց է տալիս, որ էֆեկտի լինել-չլինելը կախված չէ լուսային փնջի ուժգնությունից կամ լուսային ալիքի լայնությունից: Ընդ որում դա կրում է **շեմային** բնույթ, այսինքն, գոյություն ունի այնպիսի հաճախականություն, որից մեծ հաճախականության լույսն է միայն առաջացնում ֆոտոէֆեկտ: Սա նշանակում է, որ կամ լույսի ալիքային տեսությունն է անընդունելի, կամ էլ էներգիայի պահպանման օրենքը մեզ հայտնի ձևով կիրառելի չէ:

Շուրջ 20 տարի հետո, 1905 թ. Ա. Էյնշտեյնը բացատրեց Ֆոտոէֆեկտի երևույթը և կառուցեց նրա տեսությունը: Տեսության հիմքում Էյնշտեյնն արմատապես նոր վարկած դրեց. *v* հաճախականության լույսը բաղկացած է *v* մասնիկներից՝ ֆոտոններից (ինչպես նրանց հետագայում անվանեցին), որոնք ամբողջական են, մասերի չեն բաժանվում, կլանվում և առաքվում են որպես մի ամբողջություն: Քանի որ մասնիկները բնութագրվում են իմպուլսով և էներգիայով, ապա *v* հաճախությամբ ֆոտոնին վերագրվեց էներգիա և իմպուլս, որոնց մեծությունները հետևյալն են.

$$E = h\nu, \quad p = mc = \frac{mc^2}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} = hk : \quad (1)$$

Այս դեպքում ըստ էներգիայի պահպանման օրենքի ունենք.

$$h\nu = h\nu_0 + \frac{mv^2}{2}, \quad (2)$$

որն անվանում են Էյնշտեյնի հավասարում ֆոտոէֆեկտի համար: (2) հավասարումը մեկնաբանվում է հետևյալ կերպ: Մի ֆոտոնը կլանվում է մի էլեկտրոնի կողմից, իսկ նրա $h\nu$ էներգիան ծախսվում է էլեկտրոնին նյութից հանելու ելքի աշխատանք կատարելու համար.

$$A = h\nu_0, \tag{3}$$

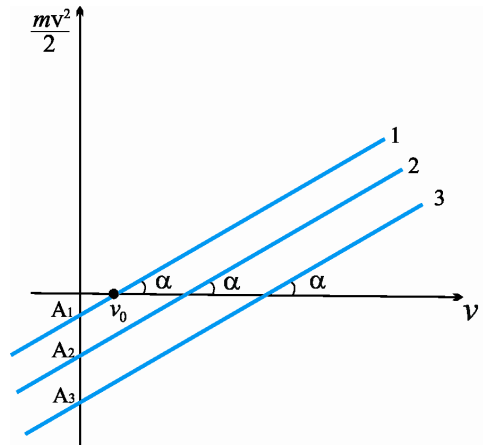
իսկ ավելցուկն անցնում է էլեկտրոնին որպես կինետիկ էներգիա: A ելքի աշխատանքը, ուստի և շեմային ν_0 հաճախականությունը, կախված է կատոդի նյութից: Այս մեկնաբանությամբ լույսի ինտենսիվությունը միավոր ժամանակում ընկած N ֆոտոնների բերած էներգիան է

$$\Phi = N h\nu \tag{4}$$

և միավոր ժամանակում N հատ ֆոտոնը կատոդից կհանի N հատ էլեկտրոն: Քանի որ հագեցման I_h ֆոտոհոսանքը միավոր ժամանակում էլեկտրոնների բերած լիցքն է, ապա $I_h \sim N \sim \Phi$, որը (2)-(4) բանաձևերի հետ միասին բացատրում է ֆոտոէֆեկտի օրենքները:

Էյնշտեյնն առաջարկեց **լույսի մասնիկային մոդելը**: Հիշենք, որ ժամանակին Նյուտոնն էլ էր առաջարկել լույսի մասնիկային մոդել, որը, սակայն, զերծ էր ակիբային հատկություններից: Այստեղ առաջարկված մոդելը պնդում է, որ լույսն այնպիսի մասնիկների հոսք է, որոնցից յուրաքանչյուրը, բացի մասնիկային բոլոր հատկություններից, օժտված է նաև ակիբային բոլոր հատկություններով: 1907 թ.

դա նոր ու արտառոց վարկած էր, ուստիև այն փորձով հատուկ և անմիջական ստուգման կարիք ուներ: Դա արեց Միլիկենը 1916 թ., երբ չափեց ֆոտոէլեկտրոնների կինետիկ էներգիայի կախվածությունն ընկնող լույսի հաճախականությունից: Այդ կախումները տարբեր նյութերի համար բերված են նկ. 3-ում, որտեղից ակնհայտորեն երևում է, որ, (2) առնչությունն իրոք տեղի ունի. $\frac{mv^2}{2} \sim \nu$, այսինքն,



Նկար 3

կախման գրաֆիկն ուղիղ գիծ է: Եվս շատ կարևոր մի փաստ է ակնառու. տարբեր նյութերի համար այդ կախումները տարբեր ուղիղ գծեր են, որոնք բոլորը միմյանց զուգահեռ են, այսինքն, այդ գծերի անկյունային գործակիցները նույնն են և

ունիվերսալ հաստատուն են՝ $tg\alpha=h$: Իհարկե, կարելի է մեծ ճշտությամբ այս կորերով չափել Պլանկի հաստատունը, նաև տվյալ նյութի ելքի աշխատանքը:

Խնդրի լուծման օրինակներ:

Խնդիր 1: Ֆոտոէֆեկտի ժամանակ չափեցին ֆոտոէլեկտրոնների առավելագույն կինետիկ էներգիան, որը 8 էՎ էր: Հաշվել կասեցնող լարման արժեքը: Քանի անգամ կմեծանա այդ դեպքում ֆոտոէլեկտրոնների առավելագույն արագությունը, եթե լույսի ալիքի երկարությունը փոքրացնենք այնքան, որ կասեցման լարումը դառնա 16 էՎ:

Լուծում: Միկրոաշխարհում շատ հաճախ օգտագործում են փոքր միավորներ, որպեսզի էներգիայի միավորը՝ էՎ-ը (էլեկտրոն-վոլտը): 1 էՎ-ը այն էներգիան է, որը ձեռք է բերում էլեկտրոնն անցնելով 1 Վ պոտենցիալների տարբերություն: Ըստ սահմանման ունենք. $1 \text{ էՎ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Կլ}$. $1 \text{ էՎ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Ջ}$: (1) բանաձևից ունենք.

$$eU_{\text{կ}} = mv^2/2 = E_{\text{ֆ}}, \quad (5)$$

որտեղից անմիջապես բխում է $U_{\text{կ}} = 8 \text{ Վ}$: (2)-ից հետևում է, որ $v \sim \sqrt{U_{\text{կ}}}$, ուստի արագությունը կաճի $\sqrt{2}$ անգամ:

Խնդիր 2: Ի՞նչ ալիքի երկարության երեք ֆոտոն միասին կարող են ունենալ հանգստի վիճակում գտնվող մեկ էլեկտրոնի էներգիային հավասար էներգիա:

Լուծում: λ ալիքի երկարությամբ մեկ ֆոտոնի էներգիան hc/λ է, իսկ էլեկտրոնի հանգստի էներգիան $m_e c^2$ է, ուստի, ըստ խնդրի պայմանների, ունենք՝ $\lambda = h/3m_e c = 7,3 \cdot 10^{-11} \text{ մ}$:

Ինքնաստուգման հարցեր.

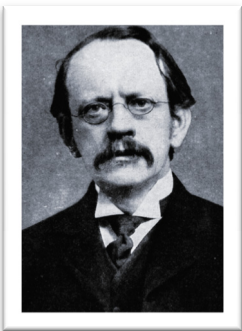
1. Ըմբռնել էք լույսի ալիքային տեսության դժվարությունները:
2. Յուրացրեցի՞ք ֆոտոէֆեկտի բնութագրիչ մեծությունների իմաստը:
3. Ըմբռնել էք աղյուսակում բերված օրինաչափությունները:
4. Հասկացել էք Միլիկենի փորձի և (2) հավասարման ու նրա մեջ ներկայացված բոլոր անդամների իմաստը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՞ք ֆոտոէֆեկտի երևույթը, ձևակերպե՞ք փորձից ստացված օրինաչափությունները և դրանք վերլուծե՞ք:
2. Հաշվե՞ք էլեկտրոնների առավելագույն արագությունն ըստ վերը դիտարկված խնդրի պայմանների:
3. Որոշե՞ք, թե 1 էՎ էներգիային ի՞նչ ջերմաստիճան է համապատասխանում: Ցուցում. օգտվել $kT=1$ էՎ պայմանից, որտեղ k -ն Բոլցմանի հաստատունն է:
4. Մեկնաբանե՞ք էյնշտեյնի բանաձևը ֆոտոէֆեկտի համար:
5. Մեկնաբանե՞ք Միլիկենի փորձը և ձևակերպե՞ք լույսի էյնշտեյնի մոդելը:

§48. Էլեկտրոնի հայտնագործումը: Ռենտգենյան ճառագայթումը

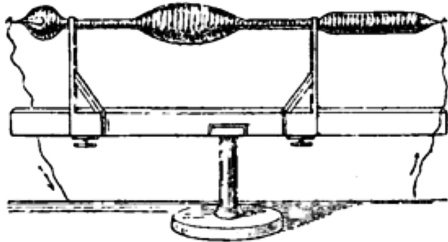
Էլեկտրական (և ավելի շուտ մագնիսական) երևույթները մարդկությանը վաղուց էին հայտնի: Նախագիտությունն այդ ամենը բացատրում էր էլեկտրածին նյութի միջոցով, որը, հասկանալի է, սնանկ էր ինչպես ջերմածինը: Այնուամենայնիվ, սկսել էին այդ երևույթներն օգտագործել, բնավ չհասկանալով մոգական տպավորություն թողնող այդ առեղծվածային և աներևույթ ուժերի բնույթը: Իհարկե, զուգընթաց շարունակում էին երևույթն ուսումնասիրել, որի պատմությունը որոշ չափով նաև զավեշտական է:



Թոմասն Չոզեֆ Չոն (1856 - 1940)

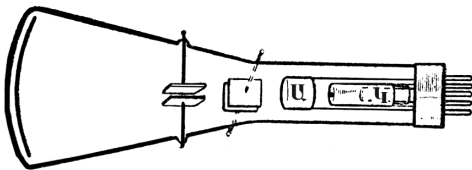
Անգլիացի ֆիզիկոս, աշխատանքները նվիրված են նոր գազերում էլեկտրական հոսանքի անցման, կատոդային և ռենտգենյան ճառագայթների, ատոմային ֆիզիկայի ուսումնասիրմանը: 1897թ. հայտնաբերել է էլեկտրոնը, 1899թ.-ին՝ ջերմաէլեկտրոնային առաքման երևույթը: Մետաղների դասական էլեկտրոնային տեսության հիմնադիրներից է: Փորձնականորեն ապացուցել է տարրերի իզոտոպների գոյությունը:

1906 թ. անգլիացի ֆիզիկոս Ջ. Ջ. Թոմսոնը Նոբելյան մրցանակ ստացավ 1887 թ. էլեկտրոնի հայտնագործման համար, որի անունը կնքել էր իռլանդացի ֆիզիկոս Ջ. Սթոնին դեռևս 1881 թ.: Մինչ այդ էլ շուրջ մեկուկես դար շարունակ ուսումնասիրել էին էլեկտրոնի մասնակցությամբ ֆիզիկական երևույթները, արել բազմաթիվ արժեքավոր հայտնագործություններ և լայնորեն կիրառել դրանք, նաև կառուցել տեսություն այդ երևույթների համար: 19-րդ դարի վերջին կարծես ամեն հարկավորը էլեկտրոնի մասին գիտեին, բացի բուն իրենից: Այն ժամանակվա տեխնիկական միջոցներով դժվար էր նկատել մոտ 10^{-30} կգ զանգվածով, $1,6 \cdot 10^{-19}$ Կլ լիցքով և 10^{-16} մ չափերով մասնիկը: Այդուհանդերձ, ֆիզիկոսների ջանքերն ու միտքը հաղթեցին այդ արտասոց էլեկտրոնին, որը իր ներսում դեռևս ծածուկ գաղտնիք է պահում:



Հեյսլերի սարքը

u



p

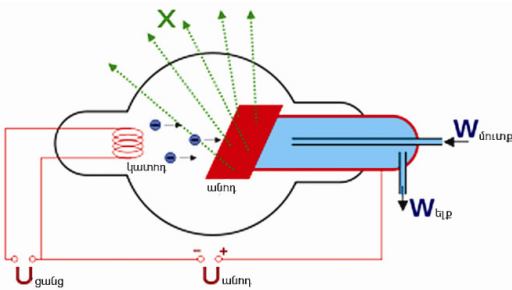
Նկար 1.

1749 թ. Բ. Ֆրանկլինը վարկածեց, որ էլեկտրականությունը յուրօրինակ նյութական գոյակցություն (սուբստանց) է, ներմուծեց լիցքի, պարպման, դրական և բացասական լիցքերի և այլ գաղափարներ: 1801 թ. Ի. Ռիտերն առաջ քաշեց էլեկտրականության հատիկավոր, դիսկրետ կառուցվածքի միտքը: 1846 թ. Վ. Վեբերն էլեկտրականության ատոմի, իսկ Մ. Ֆարադեյն էլ էլեկտրոլիտներում իոնի գաղափարը մտցրեցին: Եվ քայլ առ քայլ մոտեցան նպատակին, մինչև 1891 թ. Ջ. Սթոնին հաշվեց միավալենտ իոնի լիցքը, որը կնքեց էլեկտրոն տերմինով:

Հետագոտման մի ճյուղ էլ կապված էր 1859 թ. Յու. Պլյուկերի հայտնագործած կատոդային ճառագայթների հետ, երբ Վ. Կրուքսը դրանց նյութի մասնիկների հոսք լինելու միտքն առաջարկեց: Ժ. Պերենն այդ միտքը փորձով հաստատեց և հավաստեց, որ կատոդային ճառագայթները բացասական լիցքավորված մասնիկների հոսք են և ենթարկվում են էլեկտրական ու մագնիսական դաշտերի ազդեցությանը: *Վերջապես հասավ գիտափորձի հերթը:* Թոմսոնը սկզբնական փորձերը կատարեց նկ. 1ա-ում պատկերված Հեյսլերի սարքի վրա: Գիտափորձերը կատարվել են նկ. 1բ-ում բերված էլեկտրոնաճառագայթային խողովակի՝ կինեսկոպի վրա:

Կ կատոդից արտահոսած էլեկտրոնները z ուղղությամբ մեծ արագություն են հավաքում խողովակաձև Ա անոդի դաշտում և անցնելով անոդը, հասնում են առկայծող Է էկրանին և գրանցվում: x և y ուղղություններով էլեկտրոնների շարժումը կառավարվում է կոնդենսատորների և կոճերի դաշտերով: Տեղադրելով Նյուտոնի 2-րդ օրենքում էլեկտրական ու մագնիսական ուժերի արժեքները և էկրանի վրա լուսավոր կետի կոորդինատները՝ Թոմսոնը պարզեց, որ կատոդից դուրս եկող փունջը բաղկացած է բացասական լիցքավորված մասնիկներից, որոնց արագությունը խիստ փոքր է լույսի արագությունից, իսկ տեսակարար լիցքը՝ e/m հարաբերությունն ունիվերսալ հաստատուն է (ինչից էլ որոշեց էլեկտրոնի պարամետրերը): *Էլեկտրոնը հայրնաբերված էր:*

Ռենտգենյան ճառագայթում: 1895 թ. գերմանացի ֆիզիկոս Վ. Ռենտգենը նկատեց, որ խողովակում կատոդից դուրս թռած էլեկտրոնները՝ **կատոդային ճառագայթները**, արագանալով անոդի ձգողությամբ և հարվածելով անոդին, առաքում էին ինչ-որ անտեսանելի ճառագայթներ: Փորձի սխեման բերված է նկ. 2-ում: Այդ ճառագայթները, որոնց անվանեցին X-ճառագայթներ (հետագայում էլ ռենտգենյան ճառագայթներ), թափանցում էին թղթի, կտորի, ապակու և նաև լույսի համար անթափանց շատ այլ նյութերի միջով: **Ռենտգենյան ճառագայթները** գրանցվեցին և՛ լուսազգայուն նյութի վրա իրենց ուժեղ ազդեցությամբ, և՛ բազմաթիվ նյութերում լուսարձակում առաջացնելով:



Նկար 2

Այդ երևույթը բացատրվեց հետևյալ կերպ: Էլեկտրոնները շարժվելով ուժեղ էլեկտրական դաշտում, առաջացնում են հոսանք, որն իր հերթին ստեղծում է մագնիսական դաշտ: Երբ էլեկտրոնները հասնում են անոդին, հարվածում են, արգելակվում, հոսանքը վերանում է, ուստի և մագնիսական դաշտը դառնում է գրո: Այդ կարուկ փոփոխությունը, ըստ Ֆարադեյի էլեկտրամագնիսական մակաձման երևույթի, ծնում է էլեկտրամագնիսական ալիքներ (դա կոչվում է արգելակային ճառագայթում): Այդ ալիքների հաճախականությունն աճում է մագնիսական դաշտի փոփոխման արագության մեծացման հետ, սա էլ իր հերթին աճում է էլեկտրոնների էներգիայի, ուստիև արտաքին էլեկտրական լարման հետ: Եթե անոդի և կատոդի միջև լարումը մեծ է 20.000 Վ, ապա ճառագայթման ալիքի երկարությունը փոքրանում է 10

փոփոխությունը, ըստ Ֆարադեյի էլեկտրամագնիսական մակաձման երևույթի, ծնում է էլեկտրամագնիսական ալիքներ (դա կոչվում է արգելակային ճառագայթում): Այդ ալիքների հաճախականությունն աճում է մագնիսական դաշտի փոփոխման արագության մեծացման հետ, սա էլ իր հերթին աճում է էլեկտրոնների էներգիայի, ուստիև արտաքին էլեկտրական լարման հետ: Եթե անոդի և կատոդի միջև լարումը մեծ է 20.000 Վ, ապա ճառագայթման ալիքի երկարությունը փոքրանում է 10

նանումետրից, այսինքն, կարճ է, քան գերմանուշակագույն ալիքներինն է: Սովորաբար ռենտգենյան ճառագայթները գնահատում են կոշտությամբ. որքան ալիքի երկարությունը փոքր է, այնքան նա համարվում է կոշտ և այնքան լավ է թափանցում:

Եթե անողի և կատողի միջև լարումը հասցնենք 200.000 Վ, ալիքի երկարությունը կփոքրանա անգստրեմից, որի պատճառով շատ նյութեր թափանցիկ են դառնում, քանի որ ալիքի երկարությունը միջատոմսական հեռավորությունից զգալի փոքրանում է: Այս հանգամանքը կիրառությունների շատ լայն տիրույթ է բացում ռենտգենյան ճառագայթների համար:

Հանրահայտ է ռենտգենյան ճառագայթների դերը բժշկության մեջ. այն հնարավորություն ընձեռեց նկարել մարդու օրգանիզմի բազմաթիվ օրգաններ, կանխորոշել և ախտորոշել հիվանդությունները, նաև ներգործմամբ բուժել մի շարք ուռուցքային հիվանդություններ:

Նյութի, հատկապես բյուրեղային, կառուցվածքի ուսումնասիրությունը ռենտգենյան ճառագայթների միջոցով կազմում է դեֆեկտոսկոպիայի, ռենտգենյան կառուցվածքային վերլուծության և ռենտգենյան սպեկտրային վերլուծության հիմքը:

Ռենտգենյան ճառագայթների ծագումն ու բազմաթիվ հատկություններ բացատրվում են Մաքսվելի էլեկտրադինամիկայի սահմաններում:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Պատկերացնում եք էլեկտրոնաճառագայթային խողովակով Թոմսոնի կատարած փորձաշարում՝ **ա.** տրված, չափվող և հաշվվող մեծությունները, **բ.** ընթացող ֆիզիկական երևույթները:
2. Հասկացե՞լ եք ռենտգենյան ճառագայթների առաջացման մեխանիզմը Ռենտգենի փորձում:
3. Ըմբռնե՞լ եք էլեկտրոնի հայտնաբերման դժվարությունները:
4. Գիտակցո՞ւմ եք ռենտգենյան ճառագայթների մեծ թափանցելիություն ունենալու պատճառները և դրա օգտակար ու վնասակար որոշ դրսևորումներ:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

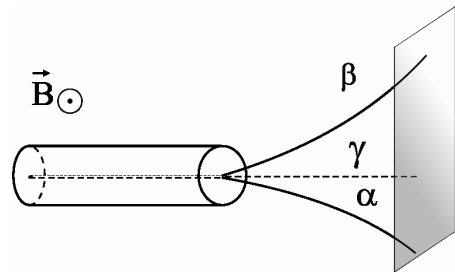
1. Թվարկե՛ք և մեկնաբանե՛ք Թոմսոնի փորձից արված եզրակացությունները:

2. Թոմսոնի փորձում կառաջանա՞ն, արդյոք, ռենտգենյան ճառագայթներ: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:
3. Թվարկե՛ք և հիմնավորե՛ք ռենտգենյան ճառագայթների ձեզ հայտնի հատկությունները:
4. Կինեսկոպի անոդի հեռավորությունն էկրանից 25 սմ է: Էլեկտրոնը 10^6 Վ/Վ արագությամբ հարվածում է էկրանին անոդից դուրս եկած ուղղությունից 10 սմ ուղղահիգ դեպի վեր: Որոշե՛լ անոդի պոտենցիալը և շեղող կոնդեսատորի դաշտի լարվածությունը, եթե կատոդից անոդ հասած էլեկտրոնների արագությունը համարենք 0:

§49. Ռադիոակտիվության հայտնագործումը:

Ատոմի մոլորակային մոդելը

Ռադիոակտիվություն: Ֆրանսիացի ֆիզիկոս Ա. Բեքերելը սեղանին թողել էր լուսաանթափանց ծրարում փակված չերևակված լուսազգայուն քիթեղ, իսկ ծրարի վրա դրված էր մնացել ուրանի աղի մի կտոր: Երկու օր հետո հետաքրքրությունից դրոյված՝ նա քիթեղը երևակեց և զարմանքով նկատեց աղի կտորի պատկերը: Նա համոզվելու համար, որ դա պատահականություն չէ, կրկնեց փորձն ուրանի այլ կտորների հետ և համոզվեց, որ ինքը պատահականորեն հայտնագործել է ուրանի աղի ինքնաբերաբար ճառագայթման երևույթ, որն անվանեց ռադիոակտիվություն: Սակայն, դա սովորական ճառագայթում չէր, քանի որ թափանցել էր արևի ճառագայթի համար անթափանց ծրարի միջով:



Նկար 1

Շուտով Պիեր և Մարի Կյուրի ամուսինները գտան այլ ռադիոակտիվ նյութեր ևս՝ ռադիում, թորիում և ուրիշներ: Պարզվեց, որ բերիլիումից սկսած (Մենդելեևի պարբերական աղյուսակում 83-րդ համարից հետո) բոլոր քիմիական տարրերը ռադիոակտիվ են: Արդեն 1903թ. Պ. Կյուրին և Ա. Լաբորտը նկատեցին, որ ռադիու-

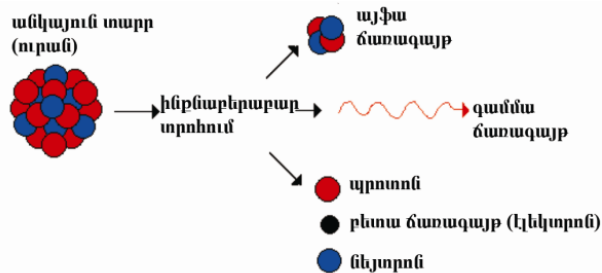
մի աղի կտորը շրջապատից միշտ ավելի բարձր ջերմաստիճան ունի, ուստի նա ինքը էներգիա է տալիս: Չափումները ցույց տվեցին, որ 1 գ ռադիումը 1 ժամում շուրջ 600 Ջ էներգիա է անջատում: Սկսվեցին երևույթի գիտական հետազոտությունները Կյուրիների, Է. Ռեզերֆորդի, Պ. Վիլարի և ուրիշների կողմից:

Ռադիոակտիվ նյութեր տեղավորեցին մետաղե հաստ պատերով նեղ խողովակի ձախ ծայրում, աջ ծայրի դիմաց, առանցքին ուղղահայաց տեղավորեցին գրանցիչները, իսկ մագնիսական դաշտը ուղղեցին նկ. 1-ի հարթությանը ուղղահայաց: Փորձով պարզեցին, որ նյութն առաքում է երեք տեսակ ճառագայթներ. α , β և γ :

α - ճառագայթներ, որոնք Լորենցի ուժի ազդեցությամբ շեղվեցին դեպի ներքև, ուստի ունեին դրական լիցք, իսկ հետագծից էլ որոշեցին, որ դրանց զանգվածը հավասար է հելիումի միջուկի զանգվածին, լիցքն էլ՝ $|2e|$:

β - ճառագայթներ, որոնք Լորենցի ուժի ազդեցությամբ շեղվեցին դեպի վերև, ունեին էլեկտրոնի լիցք ու զանգված:

γ - ճառագայթներ, որոնք չէին ենթարկվում մագնիսական (մաս էլեկտրական) ուժերի ազդեցությանը, չունեին լիցք ու զանգված և չշեղվեցին:



Նկար 2

Ստացված արդյունքներն անմիջականորեն հաստատում են ատոմի միջուկի բարդ կառուցվածքը և նաև նրանում ընթացող որոշակի երևույթների առկայությունը (նկ. 2): Բացահայտվեց նաև ռադիոակտիվ տրոհման օրենքը. ռադիոակտիվ նյութի ատոմները տրոհվում են իրարից անկախ և պատահականորեն, այնպես, որ նյութի ցանկացած տրված քանակի կեսի տրոհման ժամանակը հաստատում է, կախված չէ նյութի վերցրած քանակից և հանդիսանում է տվյալ ռադիոակտիվ նյութի ռադիոակտիվության բնութագրիչ: Այն ժամանակը, որի ընթացքում նյութի կեսը տրոհվում է, կոչվում է **կիսատրոհման պարբերություն**: Այն նշանակենք $T_{1/2}$ -ով:

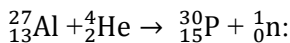
Դիցուք $t=0$ պահին ռադիոակտիվ միջուկների քանակը եղել է N_0 : $T_{1/2}$ ժամանակամիջոցում կտրոհվեն կեսը, իսկ մյուս կեսը՝ $\frac{N_0}{2}$ -ը կմնա չտրոհված: Հաջորդ $T_{1/2}$ ժամանակամիջոցում կտրոհվեն մնացած կեսի կեսը և կմնա չտրոհված $\frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2}$, իսկ $t = n T_{1/2}$ ժամանակ հետո կմնան չտրոհված N հատ ռադիոակտիվ միջուկներ:

$$N = \frac{N_0}{2^n} = N_0 \cdot 2^{-n} = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}: \quad (1)$$

Սա ռադիոակտիվ տրոհման օրենքն է, ըստ որի ռադիոակտիվ միջուկների սկզբնական տրված N_0 քանակով և կիսատրոհման $T_{1/2}$ պարբերությամբ կարող ենք որոշել չտրոհված միջուկների քանակը ժամանակի ցանկացած պահի:

Շատ ավելի կիրառական է, հատկապես հնագիտության մեջ, հակադարձ խնդիրը. տրված N_0 , N և $T_{1/2}$ պարամետրերով գտնել նյութի տարիքը: Այդ նպատակով ուսումնասիրվող մարմնում ընտրում են այնպիսի ռադիոակտիվ նյութ, որի կիսատրոհման $T_{1/2}$ պարբերությունը և N_0 քանակը մարմնում հայտնի են, ուստի չափում են միայն N -ը և (1) բանաձևով հաշվում են t տարիքը:

Ռադիոակտիվ նյութի միջուկներն անկայուն են, այլապես չէին տրոհվի: Որոշ նյութեր բացի անկայուն տրոհվող վիճակից, չունեն այլ կայուն վիճակներ: Դրանք բնականից են ռադիոակտիվ: Սակայն անկայուն վիճակ կարելի է ստեղծել նաև կայուն վիճակ ունեցող միջուկների համար: Օրինակ, այլումինի միջուկները α -մասնիկներով կարելի է ռմբակոծել և դրանք դարձնել ֆոսֆորի անկայուն վիճակով ռադիոակտիվ միջուկներ:

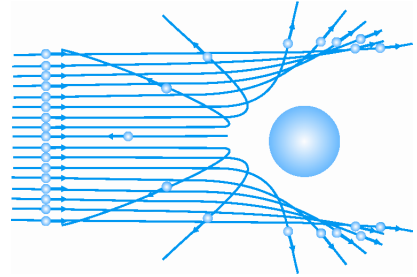


Այստեղ ${}_{15}^{30}\text{P}$ միջուկն արհեստականորեն է ռադիոակտիվացված և կոչվում է ֆոսֆորի ռադիոակտիվ իզոտոպ: Համարյա բոլոր նյութերն ունեն մեկ կամ մի քանի ռադիոակտիվ իզոտոպներ:

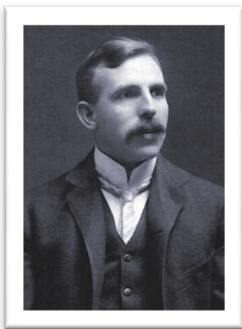
Ատոմի մոլորակային մոդելը: 19-րդ դարի վերջում ֆիզիկայում տիրում էր հետևյալ իրավիճակը. հաստատված էր նյութի ատոմական կառուցվածքը, որի հիման վրա բացատրվեցին ջերմադինամիկական բազմաթիվ երևույթներ: Հաստատված էր նաև էլեկտրական լիցքերի և նրանց միջև փոխազդեցության գոյությունը, ստեղծված էր էլեկտրադինամիկայի տեսությունը, որը բացատրում էր հայտնի էլեկտրամագնիսական և օպտիկական երևույթները: Հայտնաբերվեցին կատոդա-յին և ռենտգենյան ճառագայթներն ու ռադիոակտիվությունը. հայտնի դարձան է-

լեկտրոնը, α -մասնիկները և հաստատվեց ատոմի բարդ կառուցվածքը: Առաջ քաշվեցին երկու հարց՝ ինչպի՞սին է ատոմի կառուցվածքը և ինչպե՞ս բացատրել որոշ երևույթներ:

Ատոմի առաջին մոդելն առաջարկեց էլեկտրոնի հայտնագործող Ջ. Թոմսոնը: Ըստ այդ մոդելի ատոմն էլեկտրաչեզոք գունդ է, որի ծավալում հավասարաչափ, հոծ և անընդհատ բաշխված է դրական լիցք, որի մեջ համասեռ դասավորված են հանգստի վիճակում գտնվող էլեկտրոնները: Ատոմի գրգռման դեպքում էլեկտրոնները սկսում են տատանվել, ուստի որպես տատանակներ, առաքում են էլեկտրամագնիսական ալիքներ: Թոմսոնը նույնիսկ գնահատեց ատոմի չափերը՝ մոտ 0,1 նանոմետր: Սակայն այդ մոդելի իսկությունը կասկածելի էր լիցքերի էլեկտրաստատիկ բաշխման կայունության և մի քանի նման հարցերի առումներով:



Նկար 3

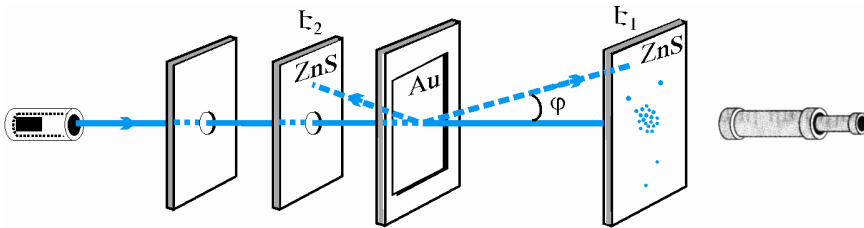


Ռեզերֆորդ էռնեստ (1871 - 1937)

Անգլիացի մեծ ֆիզիկոս: Փորձարարական հետազոտություններով դրել է ատոմի կառուցվածքի և ռադիոակտիվության ժամանակակից տեսության հիմքերը: Նա առաջինն է ուսումնասիրել ռադիոակտիվ նյութերի ճառագայթման բաղադրությունը: Բացահայտել է ատոմի միջուկների գոյությունը և առաջինն է իրականացրել ատոմային միջուկների արհեստական փոխակերպումները:

Է. Ռեզերֆորդը որոշեց այդ մոդելը ստուգել փորձարարական հետազոտմամբ: Նա ոսկու մի քանի միկրոն հաստությամբ (1 մկմ $=10^{-6}$ մ) նրբաթիթեղը ռմբակոծեց α -մասնիկներով, ըստ նկ. 3-ում պատկերված սխեմայի, որտեղ անցած և անդրադարձած α -մասնիկները գրանցվում էին երկու կողմերը դրված դետեկտորներով: Որպես գրանցիչ կարելի է վերցնել ֆոտոէմուլսային թիթեղ կամ ցինկի սուլֆիդով պատված առկայծող թիթեղ: Փորձի արդյունքը հերքեց Թոմսոնի մոդելը և բերեց հակառակ վարկածին՝ ատոմը բաղկացած է միջուկից, որի չափերը 10^{-15} մ - 10^{-14} մ կարգի են, որտեղ էլ կուտակված է ատոմի հիմնական զանգվածը: Քանի որ գրավիտացիայի և Կուլոնի ուժերը հեռավորությունից նույն կախվածությունն ունեն, ապա Ռեզերֆորդը մտածեց, որ երկնային մեխանիկայի

նմանությամբ էլեկտրոնները միջուկի շուրջը կկատարեն պտտական շարժում այնպես, ինչպես մոլորակներն Արեգակի շուրջը: Էլեկտրոնների ուղեծրերի շառավիղները շուրջ 100.000 անգամ գերազանցում էին միջուկի չափերը, որը համընկնում էր մինչ այդ հայտնի ատոմի չափերի հետ: Այդ մոդելն անվանեցին ատոմի մոլորակային մոդել:



Նկար 4

Որպեսզի գիտափորձով ստուգի ատոմի մոլորակային մոդելի իսկությունը, Ռեզերֆորդը դիտարկեց α -մասնիկների ցրումը դրական լիցքավորված միջուկների վրա, այսինքն, կուլոնյան պոտենցիալի վրա: Նա ստացավ ցրված մասնիկների քանակի կախումը ցրման անկյունից և համեմատեց փորձնական արդյունքների հետ: Փորձի բացատրությունը տանք ըստ նկ. 4-ի: α -մասնիկների արագությունը մոտ $2 \cdot 10^7$ մ/վ է, իսկ զանգվածը մոտ 7350 անգամ մեծ է էլեկտրոնի զանգվածից:

Այդպիսի էներգիայով մասնիկները, եթե հեռու են շարժվում միջուկներից, ապա գրեթե չեն շեղվում իրենց ուղղությունից: Իսկ եթե մոտիկ են շարժվում, ապա միջուկներից վանվում են, ինչպես ցույց է տրված նկ.4-ում: Դա կարելի է համարել առաձգական հարված, եթե միջուկների զանգվածը շատ մեծ է α մասնիկների զանգվածից և նրանք գրեթե չեն շարժվում: Այդ նպատակով էլ վերցված է ոսկու ատոմ: Այդ դեպքում α -մասնիկների կինետիկ էներգիան՝ $E = p^2/2m$, չի փոխվում,

ուստի իմպուլսի մեծությունը ևս չի փոխվում, այլ միայն ուղղությունն է փոխվում: Մասնիկի իմպուլսի փոփոխությունը $\Delta p = 0$, եթե մասնիկը իր ուղղությունը չի փոխում, $\Delta p = \sqrt{2}p$, եթե մասնիկը ուղղահայաց է թեքվում և $\Delta p = 2p$, եթե մասնիկը հարվածից ետ է վերադառնում (նկ. 4):

α -մասնիկները գրանցելով՝ կարող ենք պատկերացում կազմել երևույթի մասին: Օրինակ, կարող ենք գնահատել միջուկների միջև հեռավորությունները և

միջուկների չափերը: Շարժման հավասարման և Կուլոնի օրենքի հիման վրա Z լիցքով միջուկների համար ունենք.

$$\Delta p = F \Delta t = k \frac{2e \cdot Ze}{r^2} \cdot \Delta t = k \frac{4Ze^2}{vr}, \quad (1)$$

որտեղ $2e$ -ն և Ze -ն α -մասնիկի և նսկու ատոմի միջուկի լիցքն է, իսկ Δt -ն համարել ենք այն ժամանակը, որի ընթացքում մասնիկն անցնում է միջուկի տրամագծի չափ տարածք (հարվածի ժամանակը)՝ $2r = v \Delta t$: Եթե (1)-ում տեղադրենք $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Ն} \cdot \text{մ}^2}{\text{Կլ}^2}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Կլ, $m = 9 \cdot 10^{-31}$ կգ, $v = 2 \cdot 10^7 \frac{\text{մ}}{\text{վ}}$ և նսկու համար $Z=79$, կստանանք նսկու միջուկի շառավիղը՝ $r = 2 \cdot 10^{-14}$ մ: Փորձը լիովին հաստատեց ատոմի մոլորակային մոդելը:

Ամենապարզագույն ատոմը ջրածնի ատոմն է, որն ունի մեկ էլեկտրոն և միջուկում էլ մեկ դրական լիցքավորված մասնիկ, որն անվանեցին պրոտոն: Պրոտոնը նույնպես հայտնաբերեց Ռեզերֆորդը 1919 թ.:

Խնդրի լուծման օրինակ.

Խնդիր: Դիցուք T_A -ն և T_B -ն A և B ռադիոակտիվ նյութերի կիսատրոհման պարբերություններն են: B նյութի n° ր դ B մասը կտրոհվի այն ժամանակում, երբ տրոհվի A նյութի η_A մասը: Այդ տվյալներով էլ h° նչ մեծություն ևս կարելի է հաշվել:

Լուծում: Ըստ (1) բանաձևի ունենք.

$$N_A / N_{0A} \equiv \eta_A = 2^{-t/T_A}, \quad \text{կամ} \quad -\frac{t}{T_A} = \lg_2 \eta_A,$$

որտեղից միջանկյալ կհաշվենք երևույթի ժամանակը՝

$$t = -T_A \lg_2 \eta_A:$$

Մյուս կողմից սա տեղադրենք B նյութի համար գրված (1) բանաձևի մեջ, կստանանք՝

$$\eta_B \equiv N_B / N_{0B} = 2^{-t/T_B} = T_B / T_A \cdot \lg_2 \eta_A:$$

Ինքնատուգման հարցեր.

1. Յուրացրեցի՞ք α , β և γ ճառագայթների բնույթը, բնութագրական տվյալներն ու նրանց որոշման ձևը:
2. Ըմբռնեցի՞ք կիսատրոհման պարբերության իմաստն ու նշանակությունը:

3. Հասկացե՞լ եք արհեստական ռադիոակտիվության բնույթն ու ստացման եղանակը:
4. Գիտե՞ք ատոմի մոլորակային մոդելի առաջացման դրդառիթմերը:
5. Ինչու՞մ եք տեսնում ատոմի մոլորակային մոդելի և արեգակնային համակարգի մոդելի նմանություններն ու տարբերությունները:
6. Հասկացե՞լ եք Ռեզերֆորդի փորձն ու նրա իմաստը:
7. Հասկացե՞լ եք , թե ինչու՞ է նկ. 1-ում դետեկտորներ դրվել թիրախի երկու կողմում էլ:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՞ք և մեկնաբանե՞ք նկ. 1-ում ներկայացված փորձը:
2. Գծե՞ք և բացատրե՞ք ռադիոակտիվությունը բացահայտող փորձի սխեման և մտածե՞ք այնպիսի ազդեցություն, որը α , β և γ ճառագայթները կմոտեցնի իրար:
3. Ձևակերպե՞ք կիսատրոհման պարբերության սահմանումը և նրա հիման վրա ստացե՞ք (1) բանաձևը:
4. Մեկնաբանե՞ք արհեստական ռադիոակտիվության իմաստն ու ֆիզիկական հիմքը և բերե՞ք ${}_{15}^{30}\text{P}$ -ից տարբեր մի որևէ այլ ռադիոակտիվ իզոտոպի օրինակ:
5. Նկարագրե՞ք և մեկնաբանե՞ք Ռեզերֆորդի փորձը:
6. Հիմնավորե՞ք, թե ինչու՞ ատոմի էլեկտրոնները չեն խոչընդոտում α –մասնիկների մոտենալուն միջուկին և ինչու՞ են α –մասնիկները դեպի ետ ցրվում:

ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ՏԱՐԲԵՐԸ

§50. Բորի կանխադրույթները:

Ջրածնի ատոմի էներգիական սպեկտրը

Բորի կանխադրույթները: Ինչպես նշեցինք §47-ում, առաքման և կլանման սպեկտրների գծային բնույթը, լուսաէֆեկտը, սև մարմնի ջերմային ճառագայթումը և մի շարք այլ երևույթներ չեն բացատրվում դասական ֆիզիկայի հիման վրա: Այս կապակցությամբ Ն. Բորը առաջարկեց մի «հաշտվողական» տեսություն, որը որոշ երևույթներ բավարար հաջողությամբ բացատրեց: Բորի տեսության հիմքում դրված էին հետևյալ երեք կանխադրույթները:

Առաջին կանխադրույթ: Ատոմը կարող է գտնվել միայն որոշակի վիճակներում, որոնք կոչվում են ստացիոնար (կամ քվանտային) վիճակներ, որոնցում ատոմը չի ճառագայթում և որոնցից n -րդին համապատասխանում է էներգիայի որոշակի E_n արժեք:

Երկրորդ կանխադրույթ: Ատոմը E_n էներգիական վիճակից թռիչքաձև ավելի ցածր E_m վիճակի անցնելիս ճառագայթում է էներգիայի քվանտ, որը հավասար է այդ ստացիոնար վիճակների էներգիաների տարբերությանը (այսուհետ h -ը Պլանկի հաստատունն է)՝ $h\nu_{nm} = E_n - E_m$:

Երրորդ կանխադրույթ: n -րդ վիճակում էլեկտրոնի շարժման քանակի մոմենտը պետք է բավարարի $m v_n r_n = n \cdot \hbar$ պայմանին, որտեղ $\hbar \equiv \hbar/2\pi$ (ատոմի n -րդ վիճակում էլեկտրոնի ուղեծիրն այնպիսին է, որ էլեկտրոնի ալիքի երկարությունը ճիշտ n անգամ է տեղավորվում):

Որոշ մեկնաբանություններ անենք Բորի կանխադրույթներից յուրաքանչյուրի նշանակության, դրդապատճառների, հիմքերի և դժվարությունների մասին:

Առաջին կանխադրույթը նախատեսված է ապահովելու համար կայուն ատոմների գոյությունը՝ միաժամանակ չհերքելով փորձնականորեն շատ լավ հիմնավորված դասական էլեկտրադինամիկան: Անտարակոյս, այս կանխադրույթը հակասում է հենց իր նպատակին, քանի որ հակասում է էլեկտրադինամիկայի հիմնա-

կան արդյունքներից մեկին: Իրոք, կանխադրույթը հավաստում է այնպիսի վիճակի գոյություն, երբ էլեկտրոնը կշարժվի արագացումով, բայց էլեկտրամագնիսական ալիք, ուստիս էներգիա, չի առաքի: Դա հնարավոր չէ ըստ դասական էլեկտրադինամիկայի:



Բոր Նիլս (1885 - 1962)

Դանիացի մեծ ֆիզիկոս: Ստեղծել է ատոմի առաջին քվանտային տեսությունը և հետագայում ամենաակտիվ մասնակցությունն է ունեցել քվանտային մեխանիկայի հիմունքների մշակման գործում: Բորը միաժամանակ մեծ ավանդ ունի ատոմային միջուկի և միջուկային ռեակցիաների տեսության մեջ:

Բացի այդ, կուլոնյան կենտրոնական ուժերի դաշտում ուղեծրերը էլիպսներ ու շրջանագծեր են: Իսկ ուղեծրի գոյությունը ենթադրում է մասնիկի վիճակի, այն է, կոորդինատի և արագության միաժամանակյա իմացություն, որը հակադրվում է էլեկտրոնի ալիքային հատկությունների վերաբերյալ մի շարք փորձերի արդյունքների: Ի դեպ, այդ առումով 1-ին կանխադրույթը հակասում է նաև 3-րդ կանխադրույթին:

Երկրորդ կանխադրույթը նախատեսված է ապահովելու էլեկտրոնների անցումը մի ստացիոնար վիճակից մյուսին և, որ շատ կարևոր է, այն պարունակում է ու ներկայացնում նոր գաղափարը՝ լույսի քվանտի գաղափարը: Այս կանխադրույթը հրահրված է հենց քվանտի գոյության փաստից՝ հաստատված զանազան փորձերով: Մասնավորապես, այս կանխադրույթը բացահայտորեն թույլատրում է բացատրելու ատոմների ճառագայթման ու կլանման սպեկտրների գծային բնույթը: Այս դրույթը տեսության մեջ նոր դժվարություններ չի հարուցում և ոչ էլ հանգեցնում է նոր կամ այլ հակասությունների:

Երրորդ կանխադրույթը միջոց է ծառայելու ստացիոնար վիճակները որոշելու համար: Առաջին և երկրորդ կանխադրույթները տեղեկություն չեն պարունակում այն մասին, թե ինչպե՞ս պետք է ընտրենք այդ ստացիոնար վիճակները, ոչ էլ որևէ այլ միջոց են տրամադրում ընտրության համար: Բացի այդ, առաջին երկու դրույթներն էլեկտրոնին որոշ նպատակներով վերագրում են անհրաժեշտ հատկություններ, բայց չեն պնդում, որ այն ֆոտոնի նման քվանտային օբյեկտ է և միշտ ունի ա-

լիքային ու մասնիկային հատկություններ: Այն, ինչ վերագրում են առաջին երկու դրույթներն էլեկտրոնին, կարող է ունենալ նաև այլ, ոչ քվանտային օբյեկտը: Այնինչ երրորդ դրույթը բացահայտ ցուցանում է էլեկտրոնի ալիքային հատկությունը ևս: Իրոք, դրույթը պնդում է, որ էլեկտրոնը ալիք է, որը ատոմում կանգուն ալիքի վիճակով է ի հայտ գալիս: Հենց դա է հանդիսանում այն հայտանիշը, որով բոլոր վիճակներից ընտրվում են ստացիոնար վիճակները: Այդ պատճառով հաճախ երրորդ դրույթն անվանում են քվանտացման կանոն-դրույթ: Հատկապես այս պնդումն է պարունակում հիմնարար նոր գաղափար՝ քվանտային ֆիզիկայի սաղմերից մեկը:

Ըստ էության, Բորի կանխադրույթները նկարագրում են ատոմի մոլորակային մոդելը, ուստի հետաքրքիր կլինի այն համեմատել արեգակնային համակարգի հետ:

Երկու դեպքում էլ դիտարկվում է շարժում կենտրոնահամաչափ ուժային դաշտում, որպիսիք են Նյուտոնի և Կուլոնի փոխազդեցության ուժերը: Երկու դեպքում էլ շարժումը կատարվում է ստացիոնար էլիպսական ուղեծրերով, կարող են էներգիայի փոփոխությամբ մի վիճակից անցնել մյուս վիճակի: Տարբերությունն այն է, որ մոլորակի առաքած և ստացած էներգիաները գրեթե միշտ հաշվեկշռված են, ուստի կայուն են առանց հակասելու այլ օրենքի, իսկ ատոմի դեպքում էլեկտրադինամիկային հակասելու գնով է ձեռք բերվում կայունությունը, քանի որ արագացումով էլեկտրոնը միշտ պիտի առաքի ալիք: Սակայն մոլորակին թույլատրելի է ցանկացած ուղեծիր, իսկ էլեկտրոնին՝ ոչ, քանզի երրորդ դրույթը սահմանափակում է դնում: Սա հիմնարար տարբերություն է, որը հետևանք է էլեկտրոնի ալիքային հատկության: Մոլորակը, եթե անգամ ունի նման երկակի հատկություն, չի կարող այն դրսևորել իր վարքում: Այսպիսով, Բորի երրորդ կանխադրույթը վերաբերում է բացառապես քվանտային աշխարհին և կարող է սահմանվել միայն միկրոաշխարհի մեծությունների միջոցով: Բորի տեսության դժվարությունները կանխադրույթների ինքնահակասականության դրսևորումներն են, քանի որ առաջին երկուսը դասական ու քվանտային իրարամերժ հասկացություններով են արտահայտվում: Հետո էլ այն չունի ընդհանրություն և կարող է կիրառվել միայն ջրածնի ատոմի համար, այն էլ որակական մակարդակով: Իսկ բարդ ատոմների համար այն միայն մոտավոր որակական պատկերը կարող է տալ: Բայց եթե հայտնի է որևէ ատոմի էներգիական սպեկտրը, ապա այն կարող է ներկայացնել կլանման և առաքման սպեկտրները:

Ջրածնի ատոմի էներգիական սպեկտրը: Բորի տեսությունը հաջողությամբ բացատրեց ջրածնի ատոմի էներգիական սպեկտրը:

Ջրածնի ատոմն ամենապարզն է, բաղկացած է միջուկից և մի էլեկտրոնից, որոնք փոխազդում են կուլոնյան ուժով: Այդ առումով խնդիրը նման է երկնային մեխանիկայում երկու մարմինների խնդրին, եթե այն դիտարկենք ըստ Բորի կանխադրությունների: Գրենք շրջանագծով հավասարաչափ պտտվող էլեկտրոնի շարժման հավասարումը.

$$ma = m \frac{v^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2}, \quad (1)$$

որտեղ m , e և v -ն էլեկտրոնի զանգվածը, լիցքի մոդուլը և արագությունն են: Բորի կանխադրություններից չի բխում, որ էլեկտրոնը կատարում է միջուկի շուրջը պտտական *հավասարաչափ* շարժում շրջանագծով, այնինչ (1) հավասարումը գրված է հենց այդ դեպքի համար: Ընդհանրապես (1) հավասարումը լրիվ դասական է, որի հետ համատեղ ուզում ենք կիրառել Բորի կանխադրությունները, որոնք հակասում են դասական պատկերացումներին: Դա նշանակում է, որ (1) հավասարումից էլեկտրոնի ուղեծրերը և էներգիական վիճակները պետք է գտնել հատկապես Բորի կանխադրություններում պարունակված ինֆորմացիայի հիման վրա: Այդ նպատակով (1)-ը պարզեցնենք և գրենք n -րդ վիճակի համար.

$$mv_n r_n \cdot v_n = ke^2 \quad (2)$$

և քվանտացման պայմանը (3-րդ կանխադրությամբ).

$$mv_n r_n = n \cdot \hbar : \quad (3)$$

Այստեղ $\hbar \equiv \frac{h}{2\pi}$ կոչվում է Դիրակի հաստատուն և կարդացվում է « h գծիկ»: Նշենք, որ (3) պայմանը, օգտվելով դե Բրոյլի (ձևականորեն նաև Էյնշտեյնի) առնչություններից, կարելի է ներկայացնել համարժեք ձևով՝

$$2\pi r_n = n \cdot \lambda : \quad (4)$$

(2)-ից և (3)-ից բխում է.

$$v_n = \frac{ke^2}{\hbar} \cdot \frac{1}{n}, \quad (5)$$

$\frac{ke^2}{\hbar}$ -ն ունիվերսալ հաստատուն է, ուստի որքան մեծանում է ուղեծրի համարը, այնքան փոքրանում է էլեկտրոնի գծային արագությունը: (3)-ից և (5)-ից բխում է.

$$r_n = \frac{\hbar^2}{ke^2 m} \cdot n^2 \equiv r_p \cdot n^2, \quad (6)$$

$r_p \equiv \frac{\hbar^2}{ke^2 m}$ նույնպես ունիվերսալ հաստատուն է և կոչվում է Բորի շառավիղ, որն ամենափոքր շառավիղն է, որով էլեկտրոնը կարող է պտտվել միջուկի շուրջը:

(6)-ից երևում է, որ ուղեծրի շառավիղն աճում է նրա համարի քառակուսուն համեմատական:

Հիմա (5)-ից հաշվենք էներգիայի արժեքները (մակարդակները).

$$E_n = -\frac{mv_n^2}{2} = -\frac{k^2 me^4}{2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2} \equiv -\frac{R_n}{n^2} = -\frac{13,6}{n^2} \text{ էՎ}, \quad (7)$$

$R_n \equiv \frac{k^2 me^4}{2\hbar^2} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ մ}^{-1}$ ունիվերսալ հաստատուն է և կոչվում է Ռիդբերգի հաստատուն, իսկ

$$\mathcal{E}_{\text{իոն}} = 13,6 \text{ էՎ} \quad (8)$$

ունիվերսալ հաստատուն է, ֆիզիկական իմաստով ջրածնի իոնիզացիայի էներգիան է, որն անհրաժեշտ է էլեկտրոնը հիմնական վիճակից վակուում հանելու համար: (7) բանաձևում (-) նշանը ցույց է տալիս, որ էլեկտրոնն ազատ չէ, այլ գտնվում է ատոմում տեղայնացված՝ կապված վիճակում և չի կարող դուրս գալ վակուում:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Յուրացրեցի՞ք Բորի կանխադրությունների իմաստն ու նրանցում արտահայտված գաղափարները:
2. Յուրացրե՞լ եք ջրածնի մոդելը ըստ Բորի տեսության:
3. Նկատե՞լ եք, որ (1), ուստիև (2), հավասարումները պարզապես շարժման հավասարումներն են՝ դասական պատկերացումներով արտահայտված:
4. Նկատե՞լ եք, որ (3), ուստիև (4), հավասարումը ոչ՝ դասական պատկերացումներ է արտահայտում և ներքին հակասություն ունի (1)-ի հետ:
5. Հասկացե՞լ եք իոնիզացիայի էներգիայի իմաստը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Մեկնաբանե՞ք (1) հավասարման իմաստն ու նշանակությունը ջրածնի ատոմի սպեկտրը հաշվելու գործընթացում:
2. Մեկնաբանե՞ք (3) և (4) հավասարումների իմաստն ու նշանակությունը ջրածնի ատոմի սպեկտրը հաշվելու գործընթացում:
3. Ստացե՞ք արտահայտություն Ռիդբերգի հաստատունի և Բորի շառավղի համար ու մեկնաբանե՞ք նրանց ֆիզիկական իմաստը:

4. Իոնիզացիայի էներգիայի ո՞ր մասն է կազմում այն էներգիան, որն անհրաժեշտ է առաջին գրգռված վիճակից (սպեկտրի երկրորդ արժեքից) էլեկտրոնը վակուում հանելու համար: Յուրում՝ օգտվել (7) բանաձևից:
5. Ձևակերպե՛ք և մեկնաբանե՛ք Բորի տեսության կանխադրույթները:
- 6*. **Խմբային առաջադրանք:** Ապացուցե՛ք, որ երրորդ կանխադրույթում բերված քվանտացման պայմանը համարժեք է այն պնդմանը, ըստ որի էլեկտրոնի n -րդ ուղեծրի երկարության վրա էլեկտրոնի ալիքի երկարությունը ճիշտ n անգամ է տեղավորվում:

§51. Լուսի դը Բրոյլի վարկածը և նրա փորձնական հիմնավորումը

Ֆոտոէֆեկտի երևույթը ցույց տվեց, որ լույսը հանդիսանում է մասնիկների՝ ֆոտոնների որոշակի հոսք: Ընդ որում, փորձերից նաև պարզվեց, որ ինչքան կարճ է ալիքի երկարությունը, այնքան ավելի է դրսևորվում լույսի մասնիկային կառուցվածքը (օրինակ՝ ռենտգենյան և գամմա ճառագայթները): Հետագա չափումները ցույց տվեցին, որ որոշ նյութերի համար ֆոտոէֆեկտի «կարմիր սահմանը» կարող է ընկնել նաև տեսանելի տիրույթը (ցեզիումի համար այն կարմիր է՝ $5 \cdot 10^{15}$ Հց է) և անգամ ինֆրակարմիր տիրույթը (բարիումի օքսիդի համար ֆոտոէֆեկտի «կարմիր սահմանը» $2,5 \cdot 10^{14}$ Հց է): Լույսի քվանտային բնույթի առօրեական դրսևորումը փորձով ցուցադրեց Ս. Վավիլովը: Նա կանաչ գույնով լուսավորեց 1 պտ/վ արագությամբ պտտվող ճեղք ունեցող սկավառակը: Քանի դեռ լույսի ուժգնությունը մեծ էր, ճեղքով միշտ լույս էր անցնում: Երբ լույսի պայծառությունը նվազեցրեց, նկատեց, որ ոչ միշտ է ճեղքից լույս երևում: Նա հաստատեց, որ աչքն ընկալում է 52 ֆոտոնից ոչ պակաս քանակի լույսը: Այստեղ, բացի աչքի ընկալունակությունից, կարևոր է նաև այն, որ լույսը ֆոտոնների հանրույթ է և ֆոտոնների քանակը որոշվում է լույսի պայծառությամբ:

Այսպիսով, մակրոսկոպիական էլեկտրամագնիսական ալիքների մասնիկային կառուցվածքն ընդհանուր հատկությունն է: Սակայն այդ մասնիկներն, ունենալով մասնիկին բնորոշ բոլոր հատկությունները, բնութագրվում են նաև հաճախությամբ ու ալիքի երկարությամբ, այսինքն, ալիքային բնորոշիչներով: Դա արտահայտված է §48-ի (1) և (2) բանաձևերում.

$$E = h\nu, \quad p = mc = \frac{mc^2}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} = hk, \quad (1)$$

որտեղ $k=1/\lambda$ կոչվում է ալիքային թիվ և ցույց է տալիս միավոր երկարության վրա կատարված տատանումների քանակը (տարածական հաճախությունը):

Այս բոլորը հայտնի էին Լուի դե Բրոյլին, որը 1911 թ. առաջ քաշեց շատ համարձակ մի վարկած՝ քանի որ (ν, \vec{k}) պարամետրերով ալիքին համապատասխանության մեջ ենք դրել (E, \vec{p}) պարամետրերով մասնիկ, ապա (E, \vec{p}) պարամետրերով մասնիկին էլ դենք համապատասխանության մեջ (ν, \vec{k}) պարամետրերով ալիք, այսինքն,

$$\nu = \frac{E}{h}, \quad \vec{k} = \frac{\vec{p}}{h}: \quad (2)$$

Չնականորեն (2) պայմանը ստացվել է (1) առնչությունը Պլանկի h հաստատունի վրա բաժանելով: Սակայն բովանդակային առումով դրանք տարբեր են: (2) առնչությունը պնդում է, որ միկրոաշխարհի մասնիկները, պահպանելով իրենց մասնիկային բոլոր հատկությունները, ձեռք են բերում նաև ալիքային հատկություններ, որպիսիք են ինտերֆերենցիան, դիֆրակցիան, դիսպերսիան և բևեռացումը: *Հեղափոխական է, որ (1) առնչությունների հեղինակ Էյնշտեյնը, ով ալիքը դիտել է մասնիկների հոսք, փոքր-ինչ տարակուսանքով վերաբերվեց Լուի դե Բրոյլի (2) առնչություններով արված վարկածին, բայց չմերժեց և 1912թ. խնդրեց Մ. Բոռնին ուշադիր կարդալ Լուի դե Բրոյլի աշխատանքը և կարծիք հայտնել՝ համարելով այն հիմնավորված:*



Լուի դե Բրոյլ (1892 - 1987)

Ֆրանսիացի ֆիզիկոս-տեսաբան, քվանտային մեխանիկայի ստեղծողներից: Առաջարկել է նյութական մասնիկների ալիքային հատկություններ ունենալու գաղափարը, որը փայլուն ձևով հաստատվել է փորձով: 1929թ. արժանացել է Նոբելյան մրցանակի:

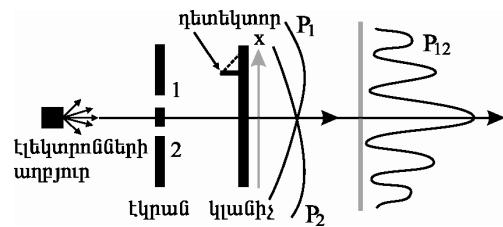
Բոռնը և Էյնշտեյնը առաջիններից էին, որ ընդունեցին ֆրանսիայի արքայազն Լուի դե Բրոյլի այդ վարկածը, ըստ որի էլեկտրոնը, պրոտոնը, նեյտրոնը և մյուս միկրոօբյեկտները, որոնք հստակ նյութական մասնիկներ են՝ իրենց զանգվածով և չափերով, նաև ալիքներ են: Շուտով նաև անմիջական փորձերը (օրինակ, Կ. Դևի-

սոնի և Ա. Ջերմերի փորձը էլեկտրոնների դիֆրակցիայի մասին) հաստատեցին Լուի դե Բրոյլի վարկածը: Վարկած, որը դարձավ քվանտային ֆիզիկայի և աշխարհի այժմեական պատկերի կարևոր հիմնաքարերից մեկը: Էյնշտեյնի և Լուի դե Բրոյլի վարկածները հիմնովին փոխեցին մեր աշխարհըմբռնումը և նորովի իմաստափոխեցին մեր մեջ արմատացած մասնիկի ու ալիքի հասկացությունները: Միկրոաշխարհի բոլոր ներկայացուցիչները **բառերի դասական իմաստով** ոչ ալիք են, ոչ էլ մասնիկ, այլ ունեն և ալիքային, և մասնիկային հատկություններ, որոնք ի հայտ են գալիս տարբեր չափով այս կամ այն պայմաններում: Անիմաստ է ասել, թե ե՞րբ է օբյեկտը մասնիկ և ե՞րբ՝ ալիք: Մենք կարող ենք լույ ասել, թե օբյեկտը ե՞րբ հանդես կգա ալիքային հատկությամբ և ե՞րբ՝ մասնիկային: Հստակ չէ այն սահմանը, թե ե՞րբ և ո՞ր հատկությունը կդրսևորի միկրոօբյեկտը: Միայն գիտենք, որ m զանգվածով և v արագությամբ շարժվող միկրոօբյեկտը բնութագրվում է նաև դե Բրոյլի ալիքի երկարությամբ.

$$\lambda_p \equiv \frac{h}{mv}, \quad (3)$$

որից մեծ չափերի դեպքում գերակայում են օբյեկտի մասնիկային հատկությունները, իսկ փոքր չափերի դեպքում՝ ալիքային հատկությունները: Նույնիսկ միևնույն պայմաններում տվյալ մասնիկի մի հատկություն քննելիս կարող է գերակայել նրա մասնիկային բնույթը, իսկ մի այլ հատկություն քննելիս՝ նրա ալիքային բնույթը:

Դասական հասկացողությամբ միկրոօբյեկտը միաժամանակ և ալիք է, և մասնիկ, որոնք իրարամերժ գաղափարներ են, ուստի սովորական (դասական) տրամաբանությամբ դա բացառված է: Մակայն միկրոաշխարհում գործում է ավելի ընդհանուր տրամաբանություն, ըստ որի դա հնարավոր է: Այդպիսի միասնությունն անվանում են ալիքամասնիկային երկակիություն (դուալիզմ), որը, **որպես հատկություն**, փորձով հաստատված է: Հենց այս երկակիությունը խթաններից մեկը հանդիսացավ, որպեսզի Մ. Բոռնը և մյուսները քվանտային ֆիզիկային տան հավանականային-վիճակագրական մեկնաբանություն: Պարզեցված դա կարելի է հետևյալ կերպ պատկերացնել: Օպտիկական երևույթների ֆիզիկայից մենք ծանոթացել ենք լուսային փնջերի ինտերֆերենցիայի հետ, որի ավանդական օրինակը Յունգի փորձն է (նկ. 1): Լույսի S աղբյուրից մոնոքրոմատիկ (միագույն) փունջ է ընկնում երկու ճեղք ունեցող



Նկար 1

միջնորմի վրա և էկրանին դիտվում է լույսի ուժգնության (ինտենսիվության) ինտերֆերենցիայի պատկերը: Ենթադրենք լույսի փոխարեն մի էլեկտրոն ենք ուղղել, որն անցել է միջնորմի ճեղքով, ընկել է էկրանի ինչ-որ մի կետի վրա և առկայծում առաջացրել: Հարց է ծագում՝ ինչու՞ն է ինչպե՞ս է այստեղ դրսևորվում էլեկտրոնի ալիքային հատկությունը: Էլեկտրոնը կար և մնաց որպես մի ամբողջություն՝ մասնիկ, որն ընկավ էկրանի միմիայն մի կետի վրա: Չէ՞ որ ըստ դե Բրոյլի վարկածի, որպես ալիք, էլեկտրոնը պետք է առաջացներ ինտերֆերենցիա՝ ցուցադրելով իր ալիքային հատկությունը: Այս իրավիճակում ֆիզիկոսները հասկացան, որ կա ինտերֆերենցիայի երևույթ, բայց մի այլ մեծության՝ հավանականության համար: Իրոք, եթե բազմաթիվ էլեկտրոններ գցեին, հերթով-հերթով, թե միաժամանակ, միևնույն է, նրանց հետքերը կտային ինտերֆերենցիայի պատկեր: Գա մեկնաբանեցին այսպես՝ էլեկտրոնների բաշխման հավանականությունն ունի ալիքային հատկություն: Այսինքն, էլեկտրոնի մասնիկային հատկությունը նրա անմիջական բնութագիրն է, իսկ ալիքային հատկությունը դրսևորվում է հավանականության միջոցով:

Մասնիկա-ալիքային երկվությունը (դուալիզմը) հայտնաբերելու համար 1929 թ. Ֆրանսիայի արքայազն Լուի դե Բրոյլն արժանացավ Նոբելյան մրցանակի: Ֆիզիկոսները կատակում էին (իսկ ֆիզիկոսները սիրում են կատակել). «Մեր Լուին Նոբել ստացավ $E = h\nu$ հավասարումը h -ի վրա բաժանելու համար»: Գա մեծարանքի զնահատական էր դե Բրոյլի առաջարկած արտառոց, բայց գեղեցիկ ու խորանշունակ գաղափարի մասին: Գաղափար, որն աշխարհի նոր ֆիզիկական պատկեր, նոր տրամաբանական հենք և նոր աշխարհըմբռնում է ներկայացնում՝ արմատապես տարբերվող ավանդականից: Իրոք, դե Բրոյլի վարկածից բխում է, որ միկրոաշխարհի օբյեկտները ներկայացնելու համար դասական միջոցները և հասկացությունները՝ մասնիկ, ալիք, տեղ, կոորդինատ, հետագիծ և այլն, շատ անկարող ու սնանկ են, ուստի այդ նպատակի համար պետք են այլ, բոլորովին նոր միջոցներ և նոր հասկացություններ: Միկրոօբյեկտն օժտված է միաժամանակ ալիքային, մասնիկային և նաև շատ այլ հատկություններով, որոնց մի մասը մակրոաշխարհում սկզբունքորեն չկան: Օրինակ, միկրոաշխարհում մասնիկներն ունեն սպին, այլ լիցքեր, քվարկները նույնիսկ հետաքրքրաշարժ անվանումներով բնութագրիչներ՝ զույն, տարօրինակություն, հմայք, հոտ և այլն: Այնպես որ, մասնիկա-ալիքային երկվությունը ոչ թե ինչ-որ առեղծվածային պնդում է, այլ բնության օրենք է, ըստ որի ***միկրոաշխարհում երևույթներն ընթանում են ավելի ընդհանուր պրամաբանությանը, որի միայն դասական մասն է մակրոաշխարհում ի հայտ գալիս:***

	Գասական մասնիկ	Գասական ալիք	Միկրոօբյեկտ
Գինամիկ նկարագիր	E, \vec{p}	v, \vec{k}	E, \vec{p}, v, \vec{k}
Տարածական լոկալիզացիա,	ունի	չունի	Մասամբ ունի, մասամբ չունի (և ունի, և չունի)
Հետագիծ	ունի	չունի	Ունի լրոգված (Այդ հասկացությունը չկա)
Վիճակի հավասարումը	Շարժման հավասարումը	Ալիքային հավասարումը	Հավանականության (միջին արժեքի) էվոլյուցիայի հավասարումը
Ինտերֆերենցիա	չունի	ունի	ունի
Պատճառական կապը	Որոշականացված (դետերմինացված)	Որոշականացված (դետերմինացված)	անորոշականացված (ինդետերմինացված)
Սեփական մոմենտ	Չունի (չկա գաղափարը)	Չունի (չկա գաղափարը)	ունի
Երևույթների տրամաբանություն	«կամ-կամ» (բացառող կամ)	«կամ-կամ» (բացառող կամ)	«և-և», նաև «կամ-կամ»

Ասվածն առարկայական դարձնելու և համեմատելու նպատակով **աղյուսակում** բերված են մակրո- և միկրոաշխարհը բնութագրող որոշ հասկացություններ ալիքների և մասնիկների մասին: Աղյուսակից երևում է, որ քվանտային օբյեկտն ունի այն բոլոր հատկությունները, որոնք կարող են ունենալ մասնիկը և ալիքը միասին վերցրած: Մենք նաև տեսնում ենք, որ միկրոաշխարհին շատ այլ հատկություններ են ևս բնորոշ, որոնց հասկացություններն անգամ չկան մակրոաշխարհում, բայց առանց որոնց արդի մակրոաշխարհը և մեզաաշխարհը գոյություն չէին ունենա:

Լրացուցիչ նյութ: Անորոշությունները միկրոաշխարհում: Ի հասարակության վերը շարադրվածի, ներկայացնենք միկրոաշխարհին բնորոշ մի նոր հատկություն: Դասական ֆիզիկայում մենք կարող ենք ժամանակի ցանկացած պահի ճշգրիտ իմանալ մասնիկի կոորդինատը, իմպուլսը, էներգիան և նրա վիճակը բնութագրող մյուս բոլոր մեծությունները: Ավելին, եթե ինչ-որ պահի գիրենք համակարգի վիճակը, ապա սկզբունքորեն կարող ենք վերարտադրել նրա վիճակը ցանկացած այլ պահի՝ անցած, թե սպագա: Այսինքն, դասական ֆիզիկայում բոլոր մեծությունները համարելի են, միս-

յանցից անկախ նրանց արժեքները կարող ենք միաժամանակ ճշգրիտ իմանալ՝ չափելով միևնույն փորձում, հաշվելով կամ այլ կերպ:

Այլ է պարկեռը քվանտային ֆիզիկայում (միկրոաշխարհում): Եթե մենք սկզբունքորեն զիտենք մասնիկի ճիշտ տեղը, կարարելապես ոչինչ չենք կարող իմանալ նրա արագության մեծության և ուղղության մասին: Եվ հակառակը, իմպուլսի ճշգրիտ իմացությունը կարարյալ անորոշություն է ստեղծում մասնիկի տեղի մասին: Սա հետևանք է հենց մասնիկ-ալիքային երկակիության: Այսօրինակ դարողություններով Վ. Հեյզենբերգը ձևակերպեց քվանտային ֆիզիկայի հիմնական սկզբունքներից մեկը՝ անորոշությունների սկզբունքը: Նախ հիշեցնենք փվյալ մեծության միջին քառակուսային շեղումը՝ Δa -ն փվյալ մեծության և նրա միջին արժեքի քառակուսիների փարբերության արմարն է՝ $\Delta a \equiv \sqrt{a^2 - \bar{a}^2}$, որն անվանում են նաև անորոշություն: Դիցուք Δx -ը և Δp_x -ը մասնիկի կոորդինարի և այդ ուղղությամբ իմպուլսի անորոշություններն են: Ըստ անորոշությունների սկզբունքի

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar \quad (4)$$

Սա նշանակում է, որ եթե կոորդինարը ճիշտ չափենք կամ իմանանք, ապա իմպուլսի Δp_x անորոշությունն անվերջ կդառնա: Այս դեպքում ասում են, որ կոորդինարը և իմպուլսն անհամարեղելի մեծություններ են, հնարավոր չէ երկուսի ճշգրիտ արժեքներն էլ իմանալ կամ չափել միաժամանակ: Նույն (4) առնչությունը տեղի ունի նաև բոլոր անհամարեղելի մեծությունների միջև: Մի փոքր այլ մեկնարբանությամբ անհամարեղելի են նաև էներգիան և ժամանակը: Եթե Δt ընթացքում էներգիայի անորոշությունը ΔE է, ապա

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar \quad (5)$$

Ժամանակին անորոշությունների սկզբունքը սիալ մեկնարբանությունների տեղի փվեց, համարելով այն որպես աշխարհանճանաչելիության՝ ազնուսրիկության ապացույց: Եկեղեցականները հայտարարեցին, որ սարված է արարել բնությունը, դրա համար էլ այն անճանաչելի է: Որոշ փիլիսոփաներ էլ Հեյզենբերգին մեղադրեցին ազնուսրիցիզմի մեջ: Իրականում հակառակն է, անորոշությունների սկզբունքը պնդում է, որ իրական աշխարհը լիովին ճանաչելի է, միաժամանակ ցույց է տալիս ճանաչման ուղին ու չափը: Սա բնության բնույթն է և չի կարելի ճանաչել այն, ինչը գոյություն չունի: Եթե բնությունն ավելի ճանաչելի և կանխարեսելի լիներ, ապա այն ուղղակի գոյություն չէր ունենա: Բայց բնությունը եղել է, կա և լինելու է:

Քվանտային գաղափարները որակապես ազդեցին մարդկային մտածելակերպի վրա՝ հարկադրելով նրա փրամաբանական հենքի ընդլայնումը: Դասական ֆիզիկայի հայեցակարգը՝ կոնցեպցիան ճանաչվեց անկարող ու սնանկ բացատրելու համար բնության օրենքները և օրինաչափությունները: Հրամայական դարձավ այնպիսի նոր հայեցակարգի մշակումը, որը մի կողմից լիակատար հիմք հանդիսանա կառուցելու ֆիզիկական հեյրենդական տեսություն՝ ունակ սպառնիչ մեկնաբանելու և կանխատեսելու միկրոաշխարհի հարկությունները, մյուս կողմից կարողանա բացատրել նաև մակրոաշխարհի ճշմարիտ ու սրուզված երևույթները: Այլ կերպ, նոր քվանտային հայեցակարգը պետք է լինի հնարավորինս ընդհանուր տեսության հիմք, որն իր մեջ **պարունակի** դասական տեսությունը: Հարուկ ընդգծենք, որ քվանտային տեսությունն ոչ միայն պետք է սահմանային դեպքում հանգի դասական տեսությանը, ինչը ինքնին հասկանալի է, այլև այն պիտի պարունակի, ներառի իր մեջ որպես իրական և օբյեկտիվ ենթամաս: Սրորև կհամոզվենք, որ դա հնարավոր է և հենց այդպես էլ կա:

Քվանտային տեսությունը հենվում է մի քանի հիմնադրույթների վրա, որոնք ոչ թե մերժում, այլ ընդհանրացնում են դասականը: Այստեղ ոչ խորը դիտարկենք երկու հիմնադրույթներ՝ գծային վերադրման և նույնականության սկզբունքները:

Մենք օպտիկական երևույթների ֆիզիկայից ծանոթացել ենք երկու և սվելի ալիքների վերադրման գաղափարին: Ընդ որում, եթե ալիքները կոհերենտ են, ապա դրանք վեկտորապես են գումարվում, իսկ դրանց լայնույթների գումարի քառակուսին հանդիսանում է վերադրված ալիքների ինտենսիվությունը: Դա ալիքների ինտերֆերենցիայի երևույթն է: Իսկ եթե ալիքները կոհերենտ չեն, գումարվում են նրանց ինտենսիվությունները: Այս երևույթը դասական ֆիզիկայից է, որի օրինակով ընդհանուր գծերով ներկայացնենք գծային վերադրման՝ սուպերպոզիցիայի սկզբունքը միկրոաշխարհում:

Ենթադրենք միկրոօբյեկտը կարող է գրնվել **a** և **b** երկու տարբեր վիճակներում: Ամեն վիճակում, ինչպես արդեն գիտենք, միկրոօբյեկտն ունի սվիքային հարկություն, ուստիև ունենք **a** և **b** երկու ալիքներ: Տրված համամասնությամբ **a** և **b** ալիքների կոհերենտ վերադրում ասելով կհասկանանք այդ համամասնությամբ վերցված **a** և **b** ալիքների վեկտորական գումարը՝ գծային կոմբինացիան: Հիմա արդեն կարող ենք շեակերպել քվանտային ֆիզիկայի գծային վերադրման հիմնադրույթը. **եթե a և b միկրոօբյեկտի երկու տարբեր վիճակներ են, ապա a և b վիճակների ցանկացած կոհերենտ գծային կոմբինացիան ևս հանդիսանում է այդ միկրոօբյեկտի վիճակ:**

Ավելին, գծային վերադրման հիմնադրույթը չի գործում մակրոաշխարհում և հակասում է դասական ֆիզիկայի հայեցակարգին: Այդ պնդումը պարկերավոր արտահայտելու համար դիմենք Յունգի փորձին: Իրականում Յունգն օպտիկական ճառագայթների համար է կարարել փորձ և ցույց տվել ինտերֆերենցիան 1801 թ., իսկ էլեկտրոնների հետ կարարել են փորձ Ջերմերն ու Դեխտեր 1927 թ.: Մենք էլ դիտարկենք նկար 1-ում պարկերված մրացածին փորձը:

Էլեկտրոնը, եթե անցնի 1 ձեղքից, այն անվանենք a վիճակ, իսկ եթե անցնի 2 ձեղքից, այն անվանենք b վիճակ: Եթե 2 ձեղքը փակենք, էլեկտրոնը կանցնի միայն 1 ձեղքից և դետեկտորների գրանցած x ուղղությամբ բաշխումը կլինի P_1 կորը, իսկ եթե 1 ձեղքը փակենք, կարանակը P_2 կորը: Եթե երկու ձեղքն էլ բացենք, սպա ըստ դասական ֆիզիկայի կարանակը այդ կորերի գումարը՝ $(P_1 + P_2)$ կորը: Այդպիսին են մակրոաշխարհի օրենքները. էլեկտրոնը կարող է անցնել **կամ** միայն 1 ձեղքից, **կամ** էլ միայն 2 ձեղքից: Ըստ մակրոաշխարհի օրենքների, այդ երկու դեպքերն իրարամերժ են և մասնիկը պիտի պարահակալորեն ընտրի **կամ** մեկը, **կամ** մյուսը, չի կարող երկուսն էլ միաժամանակ ընտրել: Դա նշանակում է, որ մակրոաշխարհում պրոցեսներն ընթանում են «բացառող կամ-կամ» տրամաբանությամբ: Սակայն փորձը մեզ ցույց կտա, որ իրականում տեղի ունի P_{12} բաշխումը, որը բնավ չի համընկնում $(P_1 + P_2)$ բաշխման հետ: P_{12} բաշխումը համընկնում է Յունգի օպտիկական փորձում երկու կոհերենսր ալիքների վերադրմանը՝ ինտերֆերենցիային, իսկ $(P_1 + P_2)$ բաշխումը համապարասխանում է երկու ալիքների ոչ կոհերենսր վերադրմանը: Իսկ ալիքների կոհերենսր վերադրում տեղի կունենա բացառապես այդ ալիքների միաժամանակյա առկայության դեպքում: Մեր փորձը հավասարում է, որ մի էլեկտրոնն առաջացնում է 1 և 2 ձեղքերից միաժամանակ անցած երկու կոհերենսր ալիքների վերադրում : Դա նշանակում է, որ էլեկտրոնը գտնվում է a և b վիճակներում միաժամանակ, այսինքն, a և b վիճակների սուպերպոզիցիան նույնպես վիճակ է, ինչը որ պնդում է քվանտային վերադրման սկզբունքը: Դիտարկված փորձում էլեկտրոնը միանգամից ի ցույց է հանում իր ալիքային ու մասնիկային հատկությունները: Իրոք, որպես մասնիկ, էլեկտրոնը գրանցվում է միայն մի դետեկտորի կողմից, բայց այնպիսի հավանականությամբ, որը միայն ալիք-էլեկտրոնի ինտերֆերենցիային է յուրահատուկ: Էլ ավելի հիմնարար է այն, որ փաստվում է քվանտային վերադրման սկզբունքի բովանդակած պնդումը բնության մեջ գործող տրամաբանության մասին: Միգուցե և սքողված, վե-

բաղադրման սկզբունքը վկայում է, որ բնության մեջ բոլոր պրոցեսներն ընթանում են ոչ թե դասական «կամ-կամ», այլ շար ավելի ընդհանուր ոչ բաշխելի «և-և» տրամաբանությամբ, որն իր մեջ ներառում է նաև «կամ-կամ» տրամաբանությունը: Քվանտային մեխանիկայի մի այլ հիմնադրույթ էլ պնդում է, որ միկրոաշխարհում բոլոր միատեսակ մասնիկները միմյանցից տարբերելի չեն. բոլոր էլեկտրոններն իրարից ոչնչով չեն տարբերվում, բոլոր պրոտոններն էլ իրարից չեն տարբերվում և այլն: Այսինքն, բնության մեջ չկա այնպիսի մի երևույթ, մի բնութագրիչ, որով մենք իրարից տարբերենք, թե դա հանրույթի n° մի էլեկտրոնն է: Այս պնդումը կոչվում է նույնականության սկզբունք: Անտարակույս, մակրոաշխարհում այս սկզբունքը ևս բացահայտ չի դրսևորվում՝ այնպեղ բոլորը տարբերելի են:

Քվանտային տրամաբանությունը նույնականության և քվանտային վերադրման սկզբունքների հետ համապեղ հանգեցնում է խորթ ու առեղծվածային քվացող հետևանքների, որոնք բացառվում են ըստ դասական ֆիզիկայի սկզբունքների:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք Յունգի փորձը:
2. Ընթռնեցի՞ք քվանտային վերադրման սկզբունքը:
3. Ընթռնեցի՞ք նույնականության սկզբունքը:
4. Հասկացա՞ք միկրոաշխարհում և մակրոաշխարհում գործող տրամաբանությունների տարբերությունը:
5. Վերլուծեցի՞ք աղյուսակում ամփոփված գաղափարները: Ինչպե՞ս եք դրանք պատկերացնում: Ըմբռնե՞լ եք դե Բրույլի վարկածը, նրա իմաստն ու նշանակությունը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՞ք Յունգի փորձը, թվարկե՞ք նրանից արված հետևությունները և բացատրե՞ք նրանց կապը գծային վերադրման հիմնադրույթի հետ:
2. Հիմնավորե՞ք քվանտային տրամաբանության անհրաժեշտությունը և նրա դերակատարումը բնության երևույթներում:
3. Ձևակերպե՞ք և մեկնաբանե՞ք անորոշությունների առնչությունները:

4. Գիցուք շարժվող մասնիկը գծում է իր հետագիծը, որի հաստությունը 10^{-10} սմ է: Հաշվե՞ք արագության անորոշությունը, եթե նրա զանգվածը 10^{-24} գրամ է:

§52. Լույսի ճառագայթումը և կլանումը: Սպեկտրալ վերլուծություն

Բորի տեսությունը որակապես, իսկ քվանտային մեխանիկան խստիվ, բերում են ատոմի էներգիական սպեկտրի ընդհատության՝ դիսկրետության: Այսինքն, ատոմը կարող է ստացիոնար վիճակում գտնվել միայն էներգիայի որոշակի արժեքների դեպքում: Այդ ստացիոնար վիճակներից նվազագույն էներգիա ունեցողը կոչվում է հիմնական վիճակ, որում էլեկտրոնը կգտնվի անվերջ երկար ժամանակ, եթե արտաքին ազդեցություն չլինի: Դա հավասարակշռության վիճակ է: Մնացած ստացիոնար վիճակներն անհավասարակշիռ, գրգռված վիճակներ են, որոնցում էլեկտրոնը (ինչպես բնության մեջ ցանկացած համակարգ) չի կարող շատ երկար ժամանակ մնալ. նրա էներգիան նվազագույնից մեծ է որոշ ΔE չափով, ուստի պետք է այդ ΔE էներգիան առաքի ինչ-որ կերպ և անցնի իր հիմնական վիճակին: Այդ պրոցեսում մեծ մասամբ առաքվում է լույսի քվանտ՝ ֆոտոն, որի հաճախականությունը որոշվում է էներգիայի պահպանման օրենքով.

$$h\nu = \Delta E: \quad (1)$$

Էլեկտրոնը ցանկացած վիճակից, այդ թվում հիմնական վիճակից, կարող է թռիչքային անցում կատարել ΔE էներգիայով տարբերվող մի այլ ստացիոնար վիճակի, եթե միայն ինչ-որ կերպ կլանի ΔE էներգիա, օրինակ, կլանի ֆոտոն ըստ (1) առնչության: Սա նշանակում է, որ տվյալ նյութի ատոմը ինչ հաճախականության լույս ճառագայթի, այդ նույն հաճախականությունն էլ կկլանի:

Այսպիսով, լույսը ճառագայթվում և կլանվում է միմիայն ատոմի էլեկտրոնի կողմից, երբ այն մի ստացիոնար վիճակից անցնում է մյուսին: Ընդ որում *լույսի կլանումը հնարավոր է ամեն վիճակում, իսկ ճառագայթումը հնարավոր է միայն գրգռված վիճակում*, այն էլ անկախ նրանից, թե ինչ էներգիայի հաշվին է ատոմը գրգռվել:

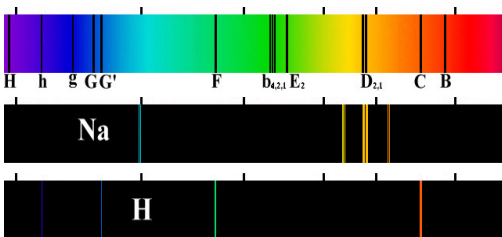
Ամեն նյութի ատոմ ունի իր էներգիական սպեկտրը, որը նրա բնութագիրն է և տարբեր է մյուս նյութերի սպեկտրներից: Հետևաբար, ճառագայթման և կլանման հաճախականությունների արժեքների բազմությունը՝ սպեկտրը բնութագրվում և բնութագրում է էներգիական սպեկտրը, որն էլ իր հերթին նյութն է բնութագրում, ուստի ճառագայթման և կլանման սպեկտրները ևս նյութի բնութագրիչ են հանդիսանում:

Բորի տեսությունից ջրածնի սպեկտրի համար ստացվում է՝

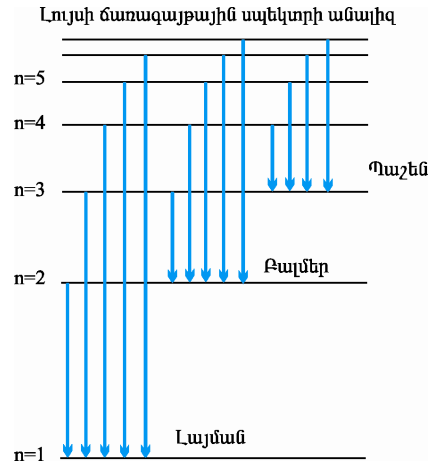
$$v_{nk} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right), \quad R = 1,098 \cdot 10^7 \text{մ}^{-1}: \quad (2)$$

Հաճախականությունները $n < k$ դեպքում կազմում են ջրածնի ճառագայթման սպեկտրը, որի որակական պատկերը բերված է նկ. 1-ում: n -ի ամեն արժեքին համապատասխանում է հաճախականությունների մի անվերջ շարք՝ սերիա (k -ի ամեն արժեքի համար մի հաճախականություն): Դրանք անվանում են $n = 1$ դեպքում Լայմանի սերիա, $n = 2$ ՝ Բալմերի սերիա, $n = 3$ ՝ Պաշենի սերիա և այլն: Այս բոլոր հաճախականությունները կարող են չափվել ջրածնի համար, մասն մյուս բոլոր քիմիական տարրերի համար, որոնցից ամեն մեկն ունի իր սերիաները (նկ. 2):

Սպեկտրային վերլուծություն: Մոլեկուլները ևս ունեն սպեկտրային սերիաներ՝ մոլեկուլյար սպեկտրներ: Քիմիական տարրերը և զանազան մոլեկուլներ կարելի է տաքացնել, գոլորշու վերածել, գրգռել և չափել նրանց ճառագայթման սպեկտրները, ի վերջո, կազմել սպեկտրների շտեմարան:



Նկար 2



Նկար 1

ճառագայթման սպեկտրների իմացությունն ընկած է սպեկտրային վերլուծության հիմքում: Դիցուք ունենք ֆիզիկական համակարգ, որի բաղադրակազմը մեզ հայտնի չէ: Եթե այն ճառագայթում է, ապա մենք կարող ենք չա-

փել ճառագայթման սպեկտրը, համեմատել սպեկտրների շտեմարանի հետ և ըստ այդմ էլ որոշել, թե ի՞նչ տարրերից է նյութը բաղկացած: Դա կոչվում է որակական սպեկտրային վերլուծություն:

Եթե չափենք սպեկտրի գծերի (այսինքն, տվյալ հաճախականության) ինտենսիվությունները ևս, ապա կարող ենք որոշել նաև տվյալ բաղադրիչի քանակությունը դիտարկվող համակարգում: Իրոք, եթե տվյալ նյութի մի ատոմն առաքում է մի ֆոտոն, ապա N հատ ատոմը N հատ ֆոտոն կառաքի և, ինչպես նշել ենք ֆոտոէֆեկտի երևույթում, դա N անգամ կմեծացնի լույսի ինտենսիվությունը:

Սպեկտրային վերլուծությունը շատ արդյունավետ է երկնային լուսատուների՝ Արեգակի, աստղերի և կոմետների բաղադրության ուսումնասիրման հարցում:

Դիտարկենք լույսի աղբյուրները: Մարդն առաջինը տեսել է բնական լույսի աղբյուրները՝ Արեգակը, կոմետներ, աստղեր, կայծակ, հրդեհ, նաև երկրորդական լուսատուները՝ Լուսինը, Արուսյակը և այլ մոլորակներ: Տեսել է, չի հասկացել, բայց օգտվել է: Կրակից նա ստեղծել է լույսի առաջին աղբյուրը՝ կանթեղն ու ճրագը:

Հիմա մենք գիտենք, որ լույսը ֆոտոնների հոսք է, որոնք ճառագայթում են գրգռված վիճակում գտնվող էլեկտրոնները հիմնական վիճակին անցնելիս: Ինչպես ցանկացած ֆիզիկական համակարգ, այնպես էլ էլեկտրոնը չի կարող անհավասարակշիռ վիճակում մնալ և որոշ ժամանակ հետո նա անպայման կանցնի հիմնական վիճակի: Գրգռված վիճակում գտնվելու միջին ժամանակը անվանում են էներգիական վիճակի կյանքի տևողություն: Էլեկտրոնը նյութի մեջ զանազան պատճառներով կարող է ունենալ մի շարք գրգռված վիճակներ, որոնք միմյանցից կտարբերվեն էներգիայի արժեքներով և կյանքի տևողությամբ: Թե տվյալ գրգռված վիճակից էլեկտրոնն ե՞րբ, ի՞նչ ուղղությամբ, ի՞նչ փուլով և ի՞նչ բևեռացմամբ ինքնաբերաբար (սպոնտան) ֆոտոն կարձակի և կանցնի չգրգռված վիճակի, կրում է պատահական բնույթ: Եթե ունենք շատ ատոմներ ու գրգռված էլեկտրոններ և դրանց թողնենք ինքնահոսի, ապա դրանք կկատարեն սպոնտան անցումներ միմյանցից լիովին անկախ՝ արձակելով ֆոտոններ միևնույն հաճախականությամբ, բայց տարբեր փուլերով, տարբեր ուղղություններով, տարբեր պահերի և տարբեր բևեռացումներով: Ստացված լույսը անվանում են բնական ճառագայթված լույս:

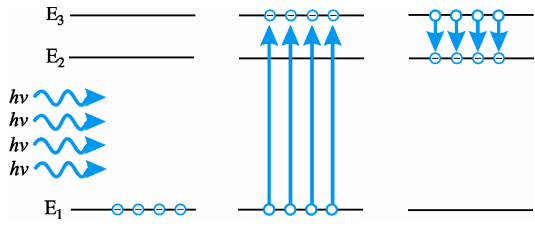
Որպեսզի որոշ ժամանակ անընդհատ ունենանք լույս, անհրաժեշտ է էլեկտրոններն անընդհատ գրգռել ինչ-որ էներգիայի հաշվին: Այդ էներգիան կարող է լինել ջերմային, ինչպես կրակում, ճրագում, մոմում, շիկացման թեղիկով լամպերում,

կարող է լինել դաշտային, ինչպես գազապարպման լամպերում, կամ էլեկտրական, ինչպես լուսատեխնոլոգիայում, կամ օպտիկական, ինչպես որոշ լազերներում և այլն:

Լազերներ: Ինքնաբերաբար ճառագայթումը լուսարձակման միակ հնարավորությունը չէ: 1916 թ. Էյնշտեյնը ցույց տվեց, որ հնարավոր է նաև գրգռված էլեկտրոններին հարկադրել, որպեսզի կատարեն անցում հիմնական վիճակի՝ առաքելով ֆոտոն՝ լույսի քվանտ: Այդ հարկադրումն իրականացվում է գրգռված ու հիմնական վիճակների էներգիաների տարբերությանը հավասար էներգիայով ֆոտոնի միջոցով: Ընդ որում, պահպանման օրենքների շնորհիվ արձակված ֆոտոնները պարտադիր ունեն հարկադրող ֆոտոնի ուղղությունը, փուլը և բևեռացումը, ուստի ճառագայթվում է կոհերենտ լույս: Այդպիսի ճառագայթումն անվանում են **ստիպողական կամ հարկադրական**, կամ էլ **կոհերենտ** ճառագայթում: Լույսի կոհերենտ աղբյուրներին անվանում են **լազերներ**:



Որպեսզի իրականացվի ստիպողական ճառագայթման երևույթ, անհրաժեշտ է բավարարել մի պայման, որը կոչվում է **գերբնակեցում**: Գերբնակեցման նպատակն է գրգռված վիճակներում ավելի շատ էլեկտրոններ լինեն (գրգռված վիճակներն էլեկտրոններով ավելի բնակեցնեն, լրացնեն), քան դիմամիջ հավասարակշռության դեպքում դա պետք է լիներ: Գերբնակեցում ստանալու մի շարք եղանակներ կան: Կիսահաղորդչային լազերներում արտաքին



Նկար 3

էլեկտրական դաշտի էներգիայի շնորհիվ հարևան տիտղոսներից էլեկտրոնների հզոր ներհոսք են իրականացնում դեպի սարքի ճառագայթող ակտիվ տիտղոս: Գերբնակեցման դասական եղանակ է եռամակարդակ համակարգի օգտագործումը (նկ. 3): Ենթադրենք տեղի ունի էներգիայի վիճակների և դրանց կյանքի տևողությունների կարգավորում՝ $E_1 < E_2 < E_3$, $\tau_2 \gg \tau_3$: Այդ պայմանները բազմաթիվ բյուրեղների համար բավարարում են խառնուրդային արտոմների մակարդակների միջոցով: Օրինակ, սուրբալի մեջ (Al_2O_3) քրոմի արտոմների մակարդակների համար τ_2 -ը 100.000 անգամ մեծ է τ_3 -ից: Ուարի, եթե մղող լույսի (էներգիա տվող լույսի) $h\nu_0 = E_3 - E_1$ ֆոտոնը կլանվի E_1 վիճակում գտնվող էլեկտրոնի կողմից, ապա նա կանցնի E_3

վիճակի՝ ազատելով E_1 վիճակը: Այնուհետև τ_3 փոքր ժամանակում էլեկտրոնը կանցնի ավելի երկարակյաց (կիսակայուն, մերաստարթի) E_2 վիճակ, իր ավելցուկային ($E_3 - E_1$) էներգիան կրա սուրակին և նրան կրաքաղցի (ուսրի նրան պետք է սառեցնել): Արդյունքում E_1 վիճակներից մեկը թափուր կդառնա, իսկ E_2 վիճակներից մեկը կզբաղեցվի (կբնակեցվի): Համակարգն այդպես կմնա τ_2 ժամանակ, և եթե այդ ընթացքում անհրաժեշտ քանակով վերաբնակեցման պրոցեսը կարարենք, ապա կարանանք E_2 վիճակը E_1 վիճակի նկարմամբ գերբնակեցված:



Ասկարյան Գուրգեն Աշոտի (1928 - 1997)

Հայ ֆիզիկոս, ոչ գծային օպտիկայի, պլազմայի ֆիզիկայի և քվանտային էլեկտրոնիկայի բնագավառի խոշորագույն մասնագետ: Հայտնագործել է էլեկտրամագնիսական և ձայնային ճառագայթների ինքնակիզակետման երևույթը (1962):

Հենց որ E_2 վիճակը դառնում է գերբնակեցված, ցանկացած $h\nu = E_2 - E_1$ ֆոտոն սրիպում է E_2 վիճակում գտնվող էլեկտրոններին կարարել անցում E_1 վիճակի՝ ճառագայթելով ճիշտ իրեն նման, ամեն ինչով իրեն համահունչ նմանակ ֆոտոն: Ծնված ամեն մի նոր ֆոտոն նույնպես հարկադրում է նոր ֆոտոնի առաջացում, ուսրի ծնված ֆոտոնների թիվը կրկնապարկվում է անընդհար: Այդ երևույթը կրում է հեղեղային անման բնույթ, ինչպես ցույց է տրված նկարում, և կոչվում է **լույսի ուժեղացում գեներացիա**: Որպեսզի ճառագայթման արդյունավետությունը բարձրանա, ճառագայթման ուղղությամբ աղբյուրի երկու կողմից հայելիներ են տեղադրում, որոնցից մեկը կիսաթափանցիկ, այսինքն, ընկած լույսի կեսը անդրադարձնում է, մյուս կեսը՝ անցկացնում: Հայելիները տեղադրում են այնպես, որ նրանց միջև հեռավորությունը ճշգրիտ համընկնի ճառագայթվող լույսի ալիքի λ երկարության բազմապատիկի հետ: Հայելիների այդպիսի համակարգը կոչվում է ռեզոնատոր (Ֆաբրի-Պերոյի) և կարարում է հեղեղալ գործառույթը. պահում է λ երկարության ալիքների մի մասը ռեզոնատորի տիրույթում՝ ավելացնելով ճառագայթում հարուցող ֆոտոնների թիվը: Ի տարբերություն գազային և պինդմարմնային լազերների, կիսահաղորդչային լազերներում մղող լույսի և հայելիների կարիք չկա: Նրանցում էներգիայի հաղորդումը

կատարվում է հոսանքի միջոցով, հայելիների դերն էլ կատարում են բյուրեղի հարթեցրած նիստերը: Ուստի կիսահաղորդչային լազերներն անհամեմատ փոքրածավալ են (մի քանի միկրոն չափով) և ունեն մեծ օգրակար գործողության գործակից (50% և ավելի):

Լազերների կիրառության ոլորտը հսկայական է. գրեթե ամեն սարքի լազերային փոխնակը կա և սովորաբար ավելի արդյունավետ է: Մասնավորապես, բժշկական, տեղեկատվական և գերճիշտ տեխնոլոգիաներում եթե միակը չեն, ապա լավագույններից են լազերային սարքերը: Երկրագնդի ապահովության հարցում ևս լազերը դերակատարում ունի: 65 միլիոն տարի առաջ Երկրագնդի վրա մի խոշոր երկնային մարմին է ընկել, որը փոխել է մեր մոլորակի բնակլիմայական պայմանները և ոչնչացրել բուսական ու կենդանական աշխարհի 90%-ը: Այդօրինակ պատահար մերթընդմերթ լինելու է (նույնիսկ հարվածող մարմնի հավակնորդ կա արդեն): Բայց մենք արդեն կարողանում ենք նման դեպքերը կանխատեսել և նաև պարաստարվում ենք դրանք կանխել: Դա կատարվելու է որոշակի էներգամասով այդ մարմինների հեղազոծերը փոխելով և ուղղորդելով դեպի ավելի մեծ մարմինների գրավիտացիայի դաշտ: Եվ դա պետք է անել շուտ, երբ դրանք դեռևս միլիարդավոր կմ հեռու են: Իսկ այդպիսի հեռավորությունների վրա նեղ փնջով հսկայական էներգիա ուղարկել առայժմ կարելի է միայն ռենտգենյան կամ զամմա տիիրոյթի լազերներով: Այնպես որ, լազերը նաև հարչակողական և պաշտպանական նշանակության զենք է:

Հետաքրքիր է լազերային ճառագայթների փոխազդեցությունը նյութի հետ: Այս ոլորտում հայ գիտնականները մեծ գիտական ներդրում են ունեցել (Գ. Ասկարյան, Վ.Մ. Հարությունյան և ուրիշներ): Այժմ էլ ՀՀ-ում լայն թափով զարգանում է լազերային բժշկությունն ու նանոտեխնոլոգիաների լազերային ոլորտները:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Պատկերացնո՞ւմ եք ինքնուրույն (սպոնտան) և կոհերենտ ստիպողական ճառագայթումների երևույթը:
2. Հասկացե՞լ եք լազերի աշխատանքի սկզբունքը:
3. Յուրացրե՞լ եք ջրածնի ճառագայթման սպեկտրի սերիաների առաջացման ակունքներն ու (2) բանաձևի ստացման եղանակը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Թվարկե՛ք լույսի աղբյուրի տեսակները և ընդգծե՛ք կոհերենտ աղբյուրների հիմնական առանձնահատկությունը:
2. Նկարագրե՛ք էլեկտրոնի ճառագայթումով ուղեկցվող սպոնտան և ստիպողական անցումները:
3. Նկարագրե՛ք լազերի աշխատանքը և ռեզոնատորի դերը նրանում:
4. Գտե՛ք Բալմերի սերիայում այն գծերի հաճախականությունները, որոնք Լայմանի սերիայի 5-րդ գծին ամենամոտ մեծն ու փոքրն են:
5. Ինչպե՞ս կարելի է պարզել, տրված ν հաճախականությունը պատկանո՞ւմ է ջրածնի սպեկտրին, թե ոչ: Ինչպե՞ս կհամեմատեք երկու հարևան սերիաները:
6. **Խմբային առաջադրանք:** Միևնույն մասշտաբի վրա գրաֆիկորեն ներկայացրեք Լայմանի և Բալմերի սերիաների առաջին երեք գծերը:

Գլուխ 17.

ՄԻՋՈՒԿԻ ԵՎ ՏԱՐՐԱԿԱՆ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ՏԱՐՐԵՐԸ

§53. Ատոմի միջուկի կառուցվածքը: Միջուկային ուժեր:

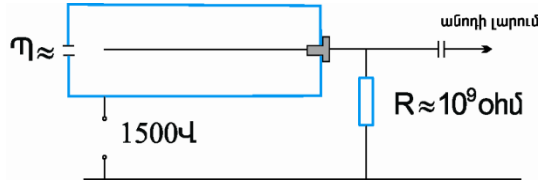
Ատոմի միջուկի տրոհում

Ատոմի միջուկի կառուցվածքը: Ռադիոակտիվության հայտնագործումը (Ա. Բեքերել, Կյուրի ամուսիններ) և Ռեզերֆորդի փորձերը α -մասնիկների ցրման վերաբերյալ փորձնական հաստատումն էին առ այն, որ ատոմների նման միջուկները ևս ունեն ներքին կառուցվածք: Այդ փաստը նոր հետազոտություններ էր պահանջում գտնելու համար ատոմի միջուկի բաղկացուցիչ մասերը: Ռեզերֆորդի փորձերից հայտնի էր դարձել նաև, որ միջուկում անհրաժեշտաբար դրական լիցքավորված մասնիկներ պիտի լինեն, որոնք նա անվանեց պրոտոններ: Ինչպես ատոմի միջուկը, այնպես էլ նրա բաղկացուցիչ մասնիկներն ունեին շատ փոքր չափեր՝ 10^{-15} մ և ավելի փոքր կարգի, և զանգվածներ 10^{-25} կգ և ավելի փոքր կարգի: Հետևաբար, դրանց անմիջական դիտումը, գրանցումն ու չափումը հնարավոր չէ և անհրաժեշտ է չափման նոր եղանակներ մշակել: Դա բավականին լուրջ և խրթին աշխատանք է, ուստի մենք կբավարարվենք այստեղ լոկ այդ եղանակների թվարկմամբ:

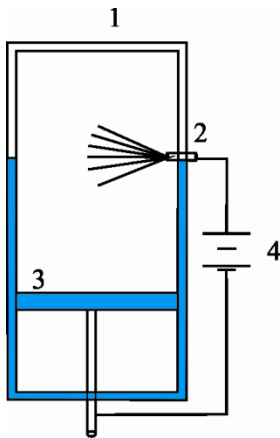
Պարզագույնն առկայծող (սցինտիլացիա տվող) քիթեղ-էկրանն է, որը ծածկված է լուսարձակող (լյումինեսցենտող) նյութով: Գրանցվող մասնիկը հարվածելով էկրանի նյութի ատոմներին, նրանց գրգռում է, որոնք լուսարձակման մի ակտ են անում՝ առկայծում են, որը և դիտում ենք ու գրանցում: Այս եղանակը շատ հարմար է տարածական բաշխվածություններ ուսումնասիրելիս, օրինակ, ցրման խնդիրներում, սակայն տեղեկություն չի տալիս մասնիկի պարամետրերի մասին:

Մյուսը **Հ. Հեյզերի հաշվիչն է**, որը 1908թ. Հեյզերը առաջարկեց, իսկ Վ. Մյուլլերն այն ավելի կատարելագործեց: Հաշվիչը պատկերված է նկ. 1-ում: Այն հաստ պատերով մետաղական անոթ է՝ լցված շատ նոսր իներտ գազով (սովորաբար,

արգոնով), իսկ առանցքով անցնում է մետաղական լար՝ անողը: Անողի և կատող հանդիսացող պատերի միջև կիրառված է 1500 Վ լարում, որը բավարար չէ ինքնապարպման համար: Երբ պատի Պ պատուհանից լիցքավորված մասնիկն ընկնում է անոթ, էլեկտրական դաշտից արագացում է ստանում մինչև գազի ատոմներին հարվածելը: Մասնիկը գազի ատոմին հարվածելով, նրանց իոնիզացնում է, այսինքն, իր էներգիայի հաշվին ատոմից պոկում է էլեկտրոն՝ թողնելով տեղը դրական լիցքավորված իոն: Այնուհետև ինքն էլ, իր առաջացրած նոր էլեկտրոնն էլ, իոնն էլ դարձյալ դաշտից էներգիա վերցնելով՝ կրկնում են այդ պրոցեսը և այդպես շարունակ: Լիցքերը հեղեղաձև շատանում են և առաջացնում են զգալի հոսանք, որը և չափվում է: Հոսանքի մեծությունը համեմատական է անոթ ընկնող մասնիկների քանակին: Չափելով հոսանքը՝ հաշվում են մասնիկների քանակը: Այդ եղանակը շատ զգայուն է, կարող է գրանցել անգամ մեկ մասնիկը, սակայն փաստում է միայն մասնիկների առկայությունն ու քանակը, բայց սա նույնպես տեղեկություն չի տալիս մասնիկի պարամետրերի մասին:



Նկար 1



Նկար 2

Ավելի կատարելագործված և հրաշալի սարք է 1911 թ. Չ. Վիլսոնի ստեղծած սարքը՝ **Վիլսոնի խցիկը**, որով կարելի է տեսնել և լուսանկարել մասնիկի հետագիծը: Խցիկը, որը ներկայացված է նկ. 2-ում, մի փակ գլան է, որտեղ կա 3 մխոցը, իսկ վերևի մասը 1 թափանցիկ նյութից է: Խցիկում օդը մաքրված է փոշեհատիկներից և գտնվում է չոր վիճակում: 2 անցքից խցիկ է ներմուծվում ջրի կամ սպիրտի որոշ քանակ և ստեղծվում է օդի և գոլորշու խառնուրդ: Եթե մխոցը շատ արագ ներքև իջեցնենք, խառնուրդն ադիաբատ կրնդարձակվի, կատի և խցիկում կառաջանա գերհագեցած գոլորշի: Եվ եթե այդ ժամանակ մասնիկ ընկնի խցիկ, նա իր ճանապարհին կիոնիզացնի օդի մոլեկուլները, որոնց շուրջը գոլորշին կխտանա, կդառնա հեղուկ՝ շրջապատելով մասնիկի հետագիծն ամպով: Այդ ամպը չի ցրվում՝ ճապարհում ավելի քան 0,1 վայրկյան, որը բավարար է և դիտելու, և լուսանկարելու համար: Որ-

պեսզի խցիկը կրկին պատրաստվի նոր գրանցման համար, 4 մարտկոցը միացնելով, պարպում են խցիկում մնացած լիցքերը: Վիլսոնի խցիկի առավելությունն այն է, որ մասնիկի մասին հետազոծող մեծ տեղեկություն է պարունակում, իսկ ավելի շատ տեղեկություն (ինֆորմացիա) ստանալու նպատակով հնարավորություն է ընձեռում մասնիկի շարժումը դիտարկել նաև արտաքին էլեկտրական ու մագնիսական դաշտերի առկայությամբ:

Վիլսոնի խցիկի մի տարատեսակը պղպջակային խցիկն է, որում հակառակ պրոցեսն է օգտագործվում՝ հեղուկն է վերածվում գերտաք գոլորշու, որում հետագիծը պղպջակներից է կազմված:

Մի այլ եղանակ է հաստաշերտ ֆոտոթիթեղի և ֆոտոէմուլսիայի գործածումը մասնիկների հետազոծերը (որոնց անվանում են տրեկներ) նկարելու համար: Այս եղանակը շատ հարմար է մասնիկների տրոհման երևույթներն ուսումնասիրելիս:

1919 թ. Ռեգերֆորդը Վիլսոնի խցիկի օգնությամբ հետազոծից պարզեց, որ ազոտի ^{14}N ատոմները α -մասնիկներով՝ ^4He կրկնակի իոնիզացված ատոմներով ռմբակոծելիս α -մասնիկների որոշ տրեկներ երկատվում են, բաժանվում են երկու մասնիկների տրեկների, որոնցից մեկն ունի ջրածնի ատոմի միջուկի զանգված և e դրական լիցք (հետազոծի կորությամբ հաշվեցին այդ մասնիկի համար e/m_p հարաբերությունը): Այդ մասնիկը, որին անվանեցին **պրոտոն**, առաջացել էր $^4\text{He} + ^{14}\text{N} \rightarrow ^{17}\text{O} + ^1\text{H}$ ռեակցիայի արդյունքում: Այսպես պարզվեց, որ ատոմի միջուկի դրական լիցքերը պայմանավորված են միջուկի պրոտոններով: Ատոմի միջուկը, սակայն, չի կարող բաղկացած լինել միայն պրոտոններից, քանի որ փորձի հետ դա կբերեր երեք հակասության. **1.** պրոտոնների կուլոնյան վանողական ուժերն առանց այլ մասնիկի չեն ապահովի միջուկի կայունությունը, **2.** Ze լիցքով միջուկի զանգվածը կլինի Zm_p , եթե միայն այնտեղ պրոտոններ լինեին, այնինչ իրականում համարյա կրկնակի անգամ մեծ է, **3.** Իզոտոպների գոյությունը ցույց է տալիս, որ միևնույն լիցքի դեպքում զանգվածները կարող են միմյանցից տարբերվել նաև մոտ մեկ պրոտոնի m_p զանգվածով (սա հերքում է նաև միջուկի α -մասնիկային կառուցվածքը, քանի որ այդ դեպքում իզոտոպների զանգվածները $4m_p$ -ով կտարբերվեին):

Ուստի տեսական դատողությունները հանգեցրին միջուկում մի նոր, էլեկտրաչեզոք մասնիկի գոյության անհրաժեշտությանը, որը պետք է ունենար գրեթե m_p

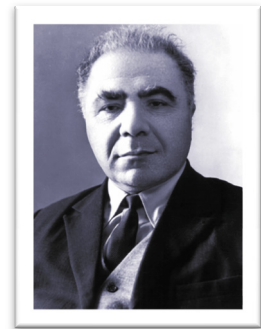
զանգված: Այդ մասնիկն անվանեցին նեյտրոն (չեզոք բառից) և սկսեցին այն փնտրել:

Նեյտրոնը հայտնաբերվեց 1932 թ. Ռեզերֆորդի աշխատակից Ջ. Չեդվիկի կողմից, երբ բերիլիումի ատոմները ռմբակոծվեցին α -մասնիկներով: Նկատեցին, որ պրոտոններից զատ, բերիլիումից դուրս են թռչում նաև այլ մասնիկներ, որոնք ներթափանցման մեծ ունակություն ունեին, ազատ անցնում էին 20 սմ հաստությամբ կապարե թիթեղով: Այդ մասնիկները գազը չէին իոնիզացնում, բայց երբ դրանց ճանապարհին պարաֆին դրեցին, դիտեցին մեծ քանակությամբ դուրս թռած պրոտոններ: Եզրակացրեցին, որ առկա են նոր մասնիկներ, որոնց զանգվածը մոտ m_p է, որոնք ազատ վիճակում ունեն կյանքի վերջավոր տևողություն, մոտ 15 րոպե, որից հետո տրոհվում են պրոտոնի, էլեկտրոնի և հանգստի զանգված չունեցող (կամ չափազանց փոքր զանգվածով) անհայտ մասնիկի՝ սալահովելու համար էներգիայի և իմպուլսի պահպանումը:

Նեյտրոնի հայտնաբերմանը գրեթե զուգընթաց, 1932 թ. Վ. Համբարձումյանը և Գ. Իվանենկոն վարկածեցին (Վ. Հայզենբերգն էլ այն զարգացրեց), որ սարոնի միջուկը բաղկացած է նուկլոններից (միջուկ բառից)՝ պրոտոններից ու նեյտրոններից: Հետագայում այդ վարկածը հաստատվեց և գործում է առ այսօր:

Համբարձումյան Վիկտոր Համագասպի (1908 - 1996)

Հայ խոշորագույն աստղաֆիզիկոս, ֆիզիկոս և մաթեմատիկոս, ատոմային միջուկի պրոտոն-նեյտրոնային մոդելի համահեղինակ: Աշխատանքները վերաբերում են տեսական աստղաֆիզիկային, աստղերի և գալակտիկաների էվոլյուցիային և այլ հարցերի: Բյուրականի աստղադիտարանի հիմնադիր (1946թ.):



Միջուկային ուժեր: Միջուկի կայուն գոյության համար անհրաժեշտ է, որպեսզի միջուկի մասնիկների փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան ունենա հավասարակշռության վիճակ: Միայն պրոտոններն այդ պայմանը չեն կարող ապահովել: Այդ հանգամանքն էլ թելադրեց նեյտրոնի գաղափարը և միջուկի նուկլոնային մոդելը: Նուկլոնները պետք է օժտված լինեն նաև ոչ էլեկտրամագնիսական բնույթի, այսպես կոչված, միջուկային կամ ուժեղ փոխազդեցության ուժերով: Ընդ որում, այդ ուժերը պետք է լինեն.

1. հարյուրավոր անգամ **ուժեղ** էլեկտրամագնիսական ուժերից՝ միջուկային չափերից փոքր չափերի դեպքում, այսինքն, $r \ll 10^{-15}$ մ չափերի դեպքում,
2. կարճազրու, այսինքն, արդեն $r > 10^{-14}$ մ գործնականում արհամարհելի,
3. հազեցող, այսինքն, ամեն նուկլոն գործնականում փոխազդում է լոկ իր հարևան նուկլոնների հետ,
4. լիցքային անկախ, այսինքն, պրոտոն-պրոտոն f_{pp} , պրոտոն-նեյտրոն f_{pn} և նեյտրոն-նեյտրոն f_{nn} փոխազդեցության ուժերի մոդուլները լինեն հավասար՝

$$f_{pp} = f_{pn} = f_{nn}:$$

Էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության կրողը ֆոտոնն է, որը չունի հանգստի զանգված, բայց կրում է էներգիա և իմպուլս, որով էլ փոխանակվում են լիցքերը: Իսկ ուժեղ փոխազդեցության կրողը, ըստ մոդելի հեղինակ Հ. Յուկավայի, π -մեզոնն է՝ պիոնը, որի զանգվածը մոտ 270 էլեկտրոնի զանգված է և արագ տրոհվում է այլ մասնիկների, ուստի չի հասցնում մեծ հեռավորության վրա տեղափոխել էներգիա և իմպուլս, ինչով էլ պայմանավորված է միջուկային ուժերի կարճազրու բնույթը:

Ատոմի միջուկում նուկլոնների վրա ազդող ուժերը պինդ մարմիններում ատոմների վրա ազդող ուժերին որակական նմանություն ունեն այն առումով, որ երկու դեպքում էլ կան հավասարակշռության վիճակներ: Ինչպես պինդ մարմիններում ատոմներն ունեն որոշակի կապի էներգիա, այնպես էլ միջուկն ունի կապի էներգիա: Ընդհանրապես կապի էներգիայի տեսական ճշգրիտ հաշվելը, կամ ի գորու չենք, կամ չափազանց դժվար է: Դրա պատճառը փոխազդեցության ուժերի հստակ իմացության պակասն է, և նաև բազմամասնիկ համակարգերի մաթեմատիկական մոդելավորման ու հաշվարկման դժվարությունն է: Ֆիզիկայում նման պարագայում օգտվում են ընդհանուր սկզբունքներից և խնդիրը հանգեցնում են **փորձով չափվող** այս կամ այն մեծությունների որոշման: Ինչպես ակնարկել ենք 10-րդ դասարանի դասագրքում, ցանկացած ֆիզիկական համակարգ ինքնաբերաբար ձգտում է գտնվել նվազագույն էներգիայով և ամենահավանական բաշխման վիճակում: Այդ վիճակից համակարգը հանելու համար պետք է որոշ ջանք գործադրել: Եթե A-ն և B –ն համակարգի կայուն (հարաբերական կայուն, կիսակայուն, ասում են՝ մետաստաբիլ) վիճակներ են, ապա, ըստ էներգիայի պահպանման օրենքի, համակարգը $A \rightarrow B$ անցման դեպքում պետք է անջատի $\Delta E_{AB} = E_A - E_B$ էներգիա, եթե $E_A > E_B$, և պետք է ΔE_{AB} ստանա, եթե $E_A < E_B$: Սա ընդհանուր է բնության համար՝ միջուկում, քիմիայում, գալակտիկայում և ամենուր: Առօրյայից

լավ ծանոթ օրինակ են էնդոթերմիկ և էկզոթերմիկ երևույթները (ռեակցիաները): Այս դրույթը կիրառենք միջուկի էներգիական հարցերը քննարկելիս:

Ատոմի միջուկի տրոհում: Գիցուք M_U զանգվածով միջուկը բաղկացած է m_p զանգվածով Z հատ պրոտոնից և m_n զանգվածով N հատ նեյտրոնից: $(Z + N)$ հատ նուկլոնների հանրույթի A վիճակ համարենք միջուկում նրանց գտնվելու վիճակը, իսկ երբ նրանք միմյանցից հեռացված են այնքան, որ չեն փոխազդում, ապա դա համարենք B վիճակ: Ըստ Էյնշտեյնի $E = mc^2$ բանաձևի, ունենք.

$$E_A = M_U c^2, \quad E_B = Zm_p c^2 + Nm_n c^2, \quad (1)$$

$$\Delta E \equiv (Zm_p + Nm_n - M_U)c^2 \equiv \Delta mc^2, \quad (2)$$

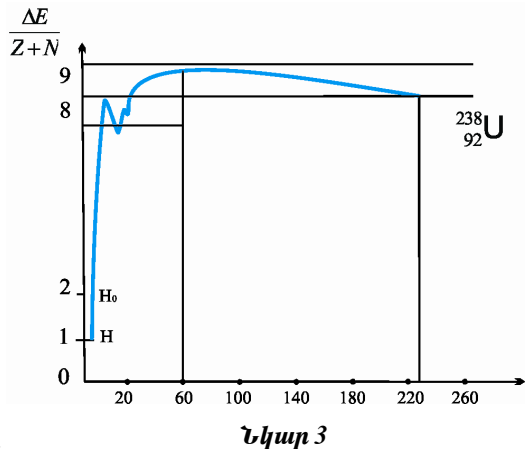
$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_U, \quad (3)$$

որտեղ ΔE -ն կոչվում է միջուկի կապի էներգիա, Δm -ը՝ զանգվածի պակասորդ (դեֆեկտ):

Կապի էներգիան այն նվազագույն էներգիան է, որը անհրաժեշտ է միջուկը միմյանց հետ չփոխազդող առանձին նուկլոնների բաժանելու համար:

Եթե միջուկը հիմնական (չգրգռված) վիճակում է, $\Delta m > 0$, այսինքն, միջուկի

հանգստի զանգվածը փոքր է իր բաղադրիչ նուկլոնների զանգվածների գումարից, ապա միջուկը կայուն է: Ընդ որում առանձնացված վիճակից նուկլոններն իրենց ΔE ավելցուկային էներգիան ճառագայթում են (γ -քվանտներ) և միջուկային ուժերի ազդեցությամբ հավաքվում են միջուկում: Ի դեպ, $\Delta m > 0$ պայմանը հավաստում է քիմիայում ընդունված, այսպես կոչված, կշռի պահպանման օրենքի անկիրառելիությունն ընդհանուր դեպքում, այդ թվում՝ միջուկային ֆիզիկայում:



Նկար 3

Միջուկի կայունության գնահատման համար պարամետր է մեկ նուկլոնին բաժին ընկնող կապի էներգիան՝ $\Delta E / (Z + N)$, որն անվանում են կապի տեսակարար էներգիա: Նկ. 3-ում բերված է միջուկների կապի տեսակարար էներգիայի էմպիրիկ կախումը նուկլոնների թվից: Նկարից երևում է, որ կապի տեսակարար

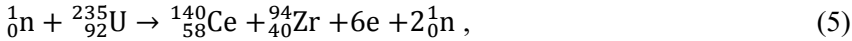
էներգիան առավելագույն՝ 8,6 ՄԷՎ արժեքին հասնում է 50-70 նուկլոնների դեպքում, այդ միջուկներն ամենակայունն են: Դա բացատրվում է նրանով, որ նուկլոնները միջուկում ձգտում են բաշխվել այնպես, որ նվազագույն ծավալ ու մակերևույթ զբաղեցնեն (բնությունը շատ օպտիմալ է): Թեթև միջուկների նուկլոնները քիչ են, դասավորվում են գնդի մակերևույթին և քիչ են օգտագործում իրենց կապերը հարևանների հետ, քանի որ մակերևույթին քիչ քանակի հարևան նուկլոններ կան (ասենք, 4 հարևան կա): Իսկ ծավալում յուրաքանչյուրն ավելի շատ հարևան ունի (ասենք, 6 հարևան), ուստի ինչքան մեծանում է նուկլոնների թիվը, այնքան ծավալային նուկլոնների թիվն ավելի է մեծանում և կապերն այնքան ավելի ուժեղանում են (ըստ 4. հատկության): Սակայն նուկլոնների քանակի հետագա աճը զուգակցվում է ողջ ծավալում կուլոնյան վանող ուժերի մեծացմանը, որը նվազեցնում է կապի տեսակարար էներգիան, ուստի և կայունության պաշարը:

Հիմա դիտարկենք միջուկը գրգռված վիճակում: Գրգռված ասելով կհասկանանք միջուկի այն վիճակը, երբ միջուկը ինչ-որ արտաքին փոխազդեցությունների հաշվին մեծացնում է իր հանգստի M_0c^2 էներգիան, հետևաբար նվազում է նրա կապի էներգիան: Փոխազդեցությունն իրականացվում է մասնիկներով, γ քվանտներով և այլ միջոցներով, ընդ որում, պահպանվում են էներգիան, իմպուլսը, շարժման քանակի մոմենտը, լիցքը և նուկլոնների թիվը: Ընդ որում, եթե կապի ΔE էներգիան մնում է դրական, ապա հնարավոր է հակադարձ երևույթը, երբ միջուկը կվերադարձնի իր ստացած էներգիան: Ասենք, կլանել է γ -քվանտ, կարող է կարճ ժամանակում ճառագայթել γ -քվանտ, գուցե այլ ուղղությամբ: Այդպիսի երևույթը կոչվում է առաձգական: Բայց եթե ΔE -ն դառնա բացասական, ապա միջուկի այդ վիճակը կդառնա անկայուն և միջուկը կարող է փոխակերպվել այլ միջուկի, կամ էլ տրոհվել այլ միջուկների: Միջուկների փոխակերպման երևույթն անվանում են միջուկային ռեակցիա: Միջուկային ռեակցիաների երեք տեսակ գոյություն ունի. **տրոհման**՝ երբ ծանր միջուկը տրոհվում է թեթև միջուկի, **ճեղքման**՝ երբ միջուկը բաժանվում է երկու կամ ավելի բեկորների, և **սինթեզի**՝ երբ թեթև միջուկներից ձևավորվում է ծանր միջուկ:

Միջուկի ինքնաբերաբար տրոհմանը ծանոթ ենք ռադիոակտիվությունից: Օրինակ.



որը α -ճառագայթումն է՝ α -տրոհումը: Դասական օրինակ է ուրանի ատոմի միջուկի ճեղքումը նեյտրոնով.



որը հաճախ կոչում են ճեղքման ռեակցիա, քանի որ ${}^{235}_{92}\text{U}$ -ը ճեղքվում, բաժանվում է երկու նույն կարգի կայուն միջուկների և մի քանի տարրական մասնիկների՝ էներգիայի, իմպուլսի, լիցքի և նուկլոնների՝ քանակի պահպանման պահանջով: (5) ռեակցիայի աջ մասը միարժեք չի որոշված. գոյություն ունեն մի քանի տասնյակ բեկոր-ատոմների տարբերակներ:

Ինքնատուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք, թե միջուկի գոյության փաստը ինչու՞ է բերում միջուկային ուժերի՝ նոր տեսակի փոխազդեցության:
2. Կարողացա՞ք, արդյոք, յուրացնել, թե կարճագույն միջուկային ուժերն ինչու՞ են իրականացվում կրող ծանր մասնիկների միջոցով (Յուկավայի մոդելը):
3. Պատկերացնո՞ւմ եք կապի էներգիան, կապի տեսակարար էներգիան և թե ի՞նչ է ցույց տալիս կապի տեսակարար էներգիայի նկարում բերված գրաֆիկը:

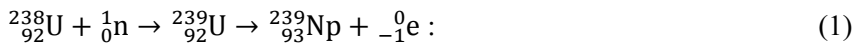
Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Չեփերպե՞ք և մեկնաբանե՞ք միջուկային ուժերի վրա անհրաժեշտաբար դրվող պայմանները:
2. Սահմանե՞ք և մեկնաբանե՞ք կապի էներգիան և կապի տեսակարար էներգիան ու նկ. 3-ի գրաֆիկը:
3. Բացատրե՞ք նուկլոնների միջուկում համախմբման գործընթացի ֆիզիկան:
4. Նկարագրե՞ք Հեյզերի հաշվիչն ու Վիլսոնի խցիկը:

§54. Շրթայական ռեակցիա: Կառավարելի և անկառավարելի միջուկային ռեակցիաներ

Շրթայական ռեակցիա: Ատոմի միջուկի բարդ կառուցվածքի, ռադիոակտիվ տրոհման ու միջուկային ռեակցիաների հայտնագործությունները հրահրեցին նոր, հիմնականում գիտական, տնտեսական ու ռազմական բնույթի հետաքրքրություններ:

Գիտական առումով առաջնահերթ խնդիր դարձան գրավիտացիոն, էլեկտրամագնիսական և միջուկային ուժեղ փոխազդեցություններից զատ նոր հիմնարար փոխազդեցության (որը կոչվեց թույլ փոխազդեցություն) հետազոտությունը և նոր քիմիական տարրերի սինթեզումը: 1940 թ. Կալիֆոռնիայի համալսարանում $^{238}_{92}\text{U}$ -ը ռմբակոծեցին նեյտրոններով և սինթեզեցին առաջին հետուրանային (տրանսուրանային) տարրը, 93-րդը՝ Նեպտունիումը.



Տրանսուրանային տարրերի ստացումը միջուկի կարգաթվի մեծացման հետ արագ նվազում էր ատոմի կիսատրոհման պարբերությունը:

Այդ օրինաչափությունը խախտվեց, երբ Դուբնայում հայ մեծատաղանդ ֆիզիկոս Յու. Հովհաննիսյանը սինթեզեց առաջին «երկարակյաց» տրանսուրանային տարրը՝ 114-րդը, հետո էլ՝ 117-րդը և ընդհանրացրեց քիմիական տարրերի Պարբերական օրենքը: Դա նոր դարաշրջան բացեց միկրոաշխարհի ֆիզիկայում, որին դեռևս կանդրադառնանք հաջորդ պարագրաֆում:

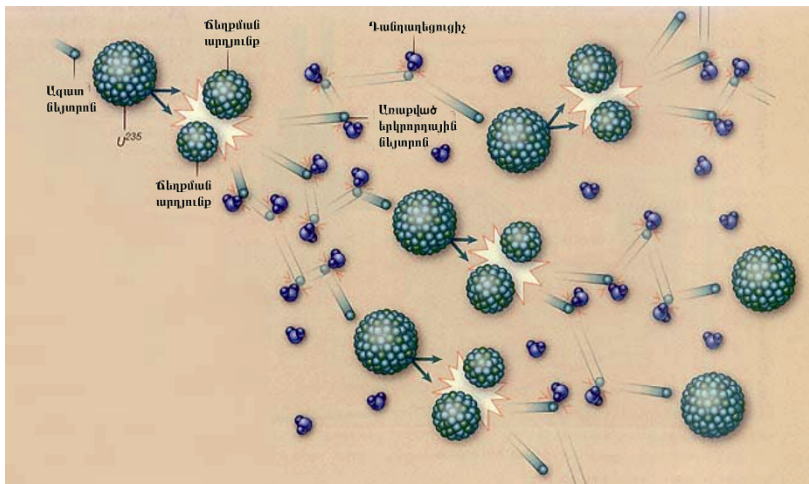
1938 թ. Օ. Հանը և Օ. Շտրասմանը մաքուր ուրանի կտորը նեյտրոնահարեցին և այնտեղ նկատեցին բարիում և լանթան, որոնք գտնվում էին Մենդելեևի աղյուսակի միջնամասում: Այդ փաստը ռադիոակտիվ փոխակերպումների օրենքով չէր բացատրվում, քանի որ, ինչպես, օրինակ, (1)-ում, հարևան տարր չէր ստացվում: Օ. Ֆրիշը և Լ. Մեյթները դա բացատրեցին որպես ուրանի ատոմի տրոհում երկու համարյա հավասար բեկորների, որը կոչեցին **միջուկի բաժանում կամ ճեղքում:** Գեղքման ռեակցիաները, ինչպես տեսանք նախորդ պարագրաֆում, միարժեք չեն, սակայն ունեն երկու կարևոր հատկություն:

Առաջինը, որպես կանոն, այդ ռեակցիաներն ընթանում են էներգիայի անջատմամբ: §53-ի (5) ռեակցիայում $\Delta m = 0,223$ գ.ա.մ. և $\Delta E = 208$ ՄԷՎ կապի էներգիա է անջատվում: Համեմատելու համար նշենք, որ 1գ ուրանի տրոհումից ան-

չատվում է 20.000 կվտ.ժամ էներգիա, որը ստացվում է 2,5 տոննա քարածխի այրումից:

Երկրորդը, $^{235}_{92}\text{U}$ -ի միջուկի ճեղքումը կարելի է իրականացնել այնտեղ մեկ նեյտրոն մտցնելով, իսկ ճեղքման արդյունքում կառաջանան մի քանի (միջինը 3) նոր նեյտրոններ, որոնք կարող են ներթափանցել ուրանի այլ միջուկներ և դրանց ճեղքել: Ուստի, եթե միջուկի կողմից նեյտրոնների կլանումն ապահովվի, կսկսվի ճեղքվող միջուկների քանակի հեղեղաձև աճ, երկրաչափական պրոգրեսիայի պես: Այդ երևույթն անվանում են **շղթայական ռեակցիա**, որի պարզեցված մոդելային պատկերը բերված է նկ. 1-ում: Իրական պատկերը շատ ավելի բարդ է, քան ներկայացված է նկարում: Նախ, բնական ուրանի՝ $^{238}_{92}\text{U}$ -ի մեջ $^{235}_{92}\text{U}$ -ի միջուկների քանակը շատ քիչ է՝ 1000-ից միայն 7-ը, այնինչ կայուն շղթայական ռեակցիայի համար պետք է գոնե 1000-ից 50-55 հատ լինի:

Նեյտրոններն էլեկտրաչեզոք են և կլանման շատ փոքր գործակից (հավանականություն) ունեն, ուստի մեծ հեռավորություն են անցնում առանց կլանվելու, հետևաբար ունեն մեծ թափանցելիություն: Այսինքն, գոյություն ունի այնպիսի երկարություն, որը նեյտրոնը միջին հաշվով անցնում է առանց կլանման, ուստի կլանման համար պետք է կլանող նյութի չափերը մեծ լինեն այդ երկարությունից, այն է, նյութի զանգվածը պիտի մեծ լինի այդ չափերով տվյալ նյութի կտորի զանգվածից:



Նկար 1

Նյութի (ուրանի) կտորի այն նվազագույն զանգվածը, որի դեպքում կարող է լինել շղթայական ռեակցիա, կոչվում է **կրիտիկական զանգված**: Կրիտիկական զանգվածն աճում է նեյտրոնի կլանման խորության՝ կլանման երկարության մեծացմանը զուգընթաց: Նեյտրոնների էներգիայի մեծացման հետ մեծանում է դրանց արագությունը ևս, հետևաբար դե Բրոյլի ալիքի երկարությունն ավելի է փոքրանում, թափանցելիությունն ավելի է աճում՝ մեծացնելով կլանման խորությունը, ուստի և կրիտիկական զանգվածը: Գրանք ${}^{235}_{92}\text{U}$ -ի կողմից գրեթե չեն կլանվի և շղթայական ռեակցիա չեն առաջացնի: Որպեսզի ${}^{235}_{92}\text{U}$ -ի կողմից կլանված նեյտրոնների քանակը մեծանա մինչև շղթայական ռեակցիայի առաջացումը, անհրաժեշտ է բնական ուրանի հարստացում ${}^{235}_{92}\text{U}$ -ով և նեյտրոնների դանդաղեցում այնպես, որ գերազանցվի կրիտիկական զանգվածը:

Նեյտրոնների արագությունը փոքրացնելու, ուստի և ${}^{235}_{92}\text{U}$ -ի կողմից դրանց կլանման հանավականությունը մեծացնելու համար դրանց էներգիան հարվածների միջոցով հաղորդում են այլ նյութերի՝ ջրի, գրաֆիտի կամ այլ կլանող նյութի ատոմներին:

Շղթայական ռեակցիաների երկու տեսակ ենք տարբերակում. կառավարելի և անկառավարելի: Երկու դեպքում էլ, ինչպես համոզվեցինք նախորդ պարագրաֆում, շատ մեծ քանակի էներգիա է անջատվում, ինչն առաջացրեց տնտեսական ու ռազմական շատ մեծ հետաքրքրություն: Եվ ինչպես միշտ, մարդկային բանականության լավագույն նվաճումներն օգտագործվում են ինչպես բարի, այնպես էլ չար նպատակներով: Շատ ֆիզիկոսներ միջուկային ֆիզիկայի հետազոտարժանանը մասնակցելուց հրաժարվեցին, իսկ $E = mc^2$ հավասարման հայտնագործող Ա. Էյնշտեյնը հայտարարեց, որ եթե ինքը հետևանքները կանխատեսեր, ապա այդ հայտնագործությունը չէր անի: Այնուհանդերձ, շատ գիտնականներ գայթակղվեցին լավ պայմանների առաջարկներից, մի սովոր խումբ էլ ուղղակի խաբվեց, և ստեղծվեց արդի մեծագույն չարիքներից մեկը՝ ատոմային ռումբը իր զանազան դրսևորումներով: Իրոք, եթե ${}^{235}_{92}\text{U}$ -ի զանգվածը մեծ է կրիտիկականից, ապա տեղի կունենա անկառավարելի շղթայական ռեակցիա՝ պայթյուն, հսկայական էներգիայի անջատմամբ, դրա ողջ հետևանքներով: Ռումբի կառուցվածքը շատ պարզ է. այն բաղկացած է ${}^{235}_{92}\text{U}$ -ի մի քանի մասերից, որոնցից յուրաքանչյուրի զանգվածը զգալիորեն փոքր է կրիտիկականից, բայց նրանց գումարային զանգվածը մեծ է կրիտիկականից: Անհրաժեշտության դեպքում այդ կտորները միացնում են իրար և տեղի է ունենում պայթյուն: Առաջին անգամ մարդկության պատմության ընթաց-

քում Երկրորդ համաշխարհային պատերազմի ավարտից հետո, 1945թ. օգոստոսին, Ամերիկայի Միացյալ Նահանգները Ճապոնիայի Հերոսիմա և Նագասակի քաղաքների վրա նետեցին երկու ատոմային բոմբ (20 և 50 կիլոտոննա տրոտիլին համարժեք ուժգնության): Հաշված բույեների ընթացքում քաղաքները հիմնովին ավերվեցին, բնակչությունն էլ ոչնչացվեց: Ռ-ադիոակտիվ մնացորդների կիսատրոհման պարբերությունը միջինով համարվում է 120 տարի:

Կառավարելի և անկառավարելի միջուկային ռեակցիաներ: Տնտեսական նպատակով ատոմի ճեղքումն օգտագործելիս անհրաժեշտ է կառավարել ռեակցիայի արագությունը և այն պահել հաստատուն: Այդպիսի սկզբունք մշակվել է Խորհրդային Միությունում Կուրչատովի նախաձեռնությամբ և ղեկավարությամբ և դրա հիման վրա 1954թ. Օբնինսկ քաղաքում կառուցվեց առաջին ատոմային էլեկտրակայանը:

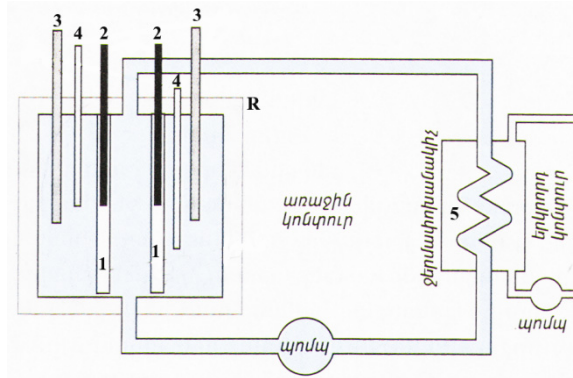
Բնական հանքավայրերում միջուկային շղթայական ռեակցիաներ չեն ընթանում, քանի որ համապատասխան ատոմները տեղաբաշխված են այնպես և այնպիսի խտությամբ, որ կրիտիկական զանգված չեն կազմում, այլ կերպ տեղի կունենար պայթյուն՝ անկառավարելի միջուկային ռեակցիա (բնությունը շատ ավելի հեռատես է, քան մարդը): Մարդը, սակայն, իրականացրեց անկառավարելի միջուկային ռեակցիան և օգտագործեց այն որպես զենք:

Միջուկային էներգիան լայնորեն օգտագործվում է նաև խաղաղ նպատակներով, որի համար անհրաժեշտ է իրականացնել կառավարելի միջուկային ռեակցիա՝ խուսափելու համար պայթյունից: Կառավարելի միջուկային ռեակցիան իրականացվում է միջուկային (ատոմային) ռեակտորներում:

Ռեակտորների հիմնական գործառնությունները (ֆունկցիաները) հետևյալն են.

- կառավարել ռեակցիային մասնակցող վառելիքի՝ $^{235}_{92}\text{U}$ -ի քանակը կրիտիկական զանգված ստանալու կամ վերացնելու համար՝ կախված շղթայական ռեակցիայի արագությունից,
- նվազեցնել ռեակցիայի ժամանակ առաջացած նեյտրոնների արագությունը,
- նվազեցնել նեյտրոնների արտահոսքը ռեակտորից,
- կասեցնել ռեակցիայի ժամանակ առաջացած բեկորների և այլ վնասակար նյութերի արտանետումը և ճառագայթային արտահոսքը,
- ռեակցիայից անջատված էներգիան, որպես ջերմություն, վերցնել և հաղորդել շոգետուրբիններին,
- ապահովել շղթայական ռեակցիայի պայթյունաանվտանգությունը,

- կասեցնել վնասակար նյութերի արտանետումը շրջակա միջավայր:



Նկար 2

Ռեակտորի սկզբունքային սխեման բերված է նկ. 2-ում: Միջուկային ռեակտորը մեծ, հաստ ու ամուր պատերով **Ռ**-տարողություն է, որը լցված է ջրով՝ շրջանառվելու հնարավորությամբ: Այդ տարողության մեջ ամրացված են մետաղական **1** հերմետիկ գլանները, որոնց մեջ դրված են միջուկային վառելիքի՝ ուրանի, **2** ձողեր, որոնցից յուրաքանչյուրի զանգվածը փոքր է կրիտիկականից (որը ռեակտորում մոտ 250 գրամ է): Ուրանի ձողերը կարող են իջեցվել-բարձրացվել այնպիս, որպեսզի կառավարելի կերպով նրանց համատեղ զանգվածը մեծացնենք-փոքրացնենք կրիտիկականից: Այդ միջոցով ապահովվում է ռեակցիայի հաստատուն արագությունը և իրականացվում է կառավարելի ռեակցիա (հակառակ դեպքում տեղի կունենա պայթյուն): Միջուկի ճեղքումից առաջացած երկրորդային նեյտրոնները սովորաբար շատ արագ են և չեն կլանվում $^{235}_{92}\text{U}$ իզոտոպի միջուկներից, այլ կլանվում են $^{238}_{92}\text{U}$ ատոմներից կամ էլ արտահոսում են ռեակտորից դուրս: Այդ նեյտրոնները դանդաղեցվում են գրաֆիտի կամ ծանր ջրի միջոցով, որոնց ատոմներին հարվածելով, նեյտրոններն իրենց էներգիան նրանց են հաղորդում և խիստ տաքացնում: Ջրին մեծ էներգիա են հաղորդում նաև միջուկների ճեղքումից առաջացած հսկայական էներգիայով բեկորները: Ջուրը ռեակտորում ևս մեկ դերակատարում ունի. ջուրն է ռեակցիայի ժամանակ անջատված ջերմային էներգիան տեղափոխում և ուղարկում շոգետուրբին: Դա կատարվում է այսպես, պոմպը շրջանառության մեջ է դնում խիստ տաքացած ջուրը, որը անցնելով **5** գալարապարույրով, էներգիան փոխանցում է երկրորդական կոնտուրին՝ նրանում մի այլ պոմպով

շրջանառվող ջուրը վերածելով գոլորշու: Հենց այս գոլորշին էլ աշխատացնում է շոգետուրբինին կցված էլեկտրագեներատորը:

Բացի նեյտրոնները դանդաղացնելուց, անհրաժեշտ է մեծացնել դրանց քանակը ևս, որպեսզի դրանք կլանեն $^{235}_{92}\text{U}$ իզոտոպի անհրաժեշտ քանակի միջուկները: Այդ նպատակով ռեակտորի պատերը դարձնում են «նեյտրոնային հայելի», այսինքն, որոշ անդրադարձնող նյութով, ասենք բերիլիումով, պատում են ռեակտորի ներքին պատերը (Ֆաբրի-Պերոյի ռեզոնատորի նմանությամբ): Նման եղանակով կարելի է բավարարել, անգամ գերազանցել, նեյտրոնների անհրաժեշտ քանակը: Բայց որպեսզի նեյտրոնների ավելցուկ չառաջանա և պայթյուն տեղի չունենա, ռեակտորում դնում են կադմիումի կամ բորի կլանիչ հատուկ 3 ձողերը, դրանք իջեցնում են ռեակտոր հենց-որ ռեակցիայի արագությունն աճում է նախատեսվածից: Սկզբունքորեն այս բոլորը բավարար են կառավարելի արագությամբ շրթայական ռեակցիաներ իրականացնելու համար: Այնուհանդերձ, ապահովության համար ռեակտորում տեղադրում են նաև 4 վթարային ձողեր, որոնցով կարելի է լրիվ դադարեցնել շրթայական ռեակցիան: Իսկ եթե այնուամենայնիվ վթար տեղի ունենա, ապա ռեակտորն ինքնուրույն ամբողջովին ընկնում է նախապես պատրաստված մեկուսացնող պատյանի՝ սարկոֆագի մեջ:

Իրականում այս ամենը շատ բարդ է կյանքի կոչել: Մեծ ծավալի բազմապիսի ֆիզիկական և տեխնիկական հարցեր կան լուծելու կառավարելի և անվտանգ շրթայական ռեակցիաներ իրականացնելու և միջուկային էներգիան օգտագործելու ճանապարհին: Շրթայական ռեակցիան պիտի ինքնուրույն՝ ավտոմատ կառավարվի: Դրա համար անհրաժեշտ է ռեակցիայի ընթացքի մասին մշտապես և անընդհատ ստանալ տեղեկություն՝ ինֆորմացիա: Այստեղ, ինչպես և տիեզերքում, կա այն դժվարությունը, որ տվիչ-սենսորները, չափող ու գրանցող սարքերն աշխատում են շատ ագրեսիվ, քայքայիչ միջավայրում՝ ռադիոակտիվ ճառագայթման ու տիեզերական մասնիկների ազդեցության դաշտում: Հենց այս դժվարությունների պատճառով է, որ Օ. Գանը և Օ. Ֆրիշը միջուկի ճեղքումը հայտնաբերեցին 1938 թ., շրթայական ռեակցիան Է. Ֆերմին իրականացրեց 1942 թ., ատոմային ռումբը՝ չկառավարվող ռեակցիան, փորձարկեցին ԱՄՆ-ում (Լոս-Ալամոսում, Նևադա) 1944 թ.: Խորհրդային Միությունում ատոմային ռումբը ստեղծել է Կ.Հ. Մետաքսյանը (ծածկանունը Կ.Ի.Շչոլկին) 1948-1949թթ., բայց կառավարելի շրթայական ռեակցիա և ատոմային էլեկտրակայան մշակվեց և կառուցվեց 1954 թ.: Միջուկային ֆիզիկայի և տարրական մասնիկների ֆիզիկայի ոլորտում մեծ ներդրում ունեն Ալիխանյան եղբայրները:

1979 թ. Մեծամոր քաղաքում շահագործման հանձնվեց դանդաղ նեյտրոնային ռեակտորով Հայկական ատոմաէլեկտրակայանը, որի մի ռեակտորի հզորությունը 440 ՄՎտ է: Հիմա կյանք են մտել ավելի հզոր ռեակտորներ՝ 1100 ՄՎտ և ավելի հզորությամբ:



Արշահամ Իսահակի Ալիխանյան (1904 - 1970)



Արտյուն Իսահակի Ալիխանյան (1908 - 1978)



Կիրակոս Հովհաննեսի Մետաքսյան – Կիրիլ Իվանովիչ Շչոլկին (1911 - 1968)

Հայ խոշորագույն ֆիզիկոսներ, միջուկային ֆիզիկայի, տիեզերական ճառագայթների և տարրական մասնիկների ֆիզիկայի բնագավառների սկանավոր գիտնականներ: Խորհրդային միջուկային առաջին ռեակտորի ստեղծողներից: Ալիխանյան եղբայրները հիմնել են Արագածի տիեզերական կայանը և Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտը:

Չեյաբինսկ-70 միջուկային կենտրոնի առաջին գիտական ղեկավարը, ԽՍՀՄ ատոմային ռումբի ստեղծողը:

Գոյություն ունեն նաև արագ նեյտրոնային ռեակտորներ, որոնցում կարիք չկա ուրանի հարստացման: Սակայն այդօրինակ ռեակտորներն առայժմ բնակավայրերից հեռու են կառուցում անվտանգության և էկոլոգիական նկատառումներով:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք կառավարելի և չկառավարվող շղթայական ռեակցիաներն ու նրանց տարբերությունը:
2. Յուրացրե՞լ եք միջուկային ռեակտորի կառուցվածքը և աշխատանքի համար անհրաժեշտ պայմաններն ու դրանց իմաստը:
3. Ըմբռնու՞մ եք կրիտիկական զանգվածի գաղափարը, նրա բնույթը և դերը շղթայական ռեակցիաներում:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՛ք տրոհման, ճեղքման և սինթեզման ռեակցիաները:
2. Նկարագրե՛ք միջուկային ռեակտորի կառուցվածքը և աշխատանքի սկզբունքը:
3. Վերլուծե՛ք էկոլոգիական անվտանգության և անվնասության հարցերը միջուկային ռեակցիաների օգտագործման դեպքերում:
4. Նկարագրե՛ք շղթայական ռեակցիան և նրա առաջացման պայմանները:
- 5*. Գրե՛ք ծանր միջուկի արհեստական առաջին ռեակցիան (Նեպտունիումի ստացման ռեակցիան):

§55*. Ջերմամիջուկային երևույթներ: Գերծանր միջուկներ:

Յու. Հովհաննիսյանի աշխատանքները և պարբերական օրենքի ընդհանրացումը

Բացի ճեղքման միջուկային ռեակցիաներից, կան նաև սինթեզման ռեակցիաներ, որոնք բնության մեջ և Տիեզերքում շատ մեծ, անփոխարինելի դերակատարում ունեն:

Միջուկների փոխակերպումները, որոնք ընթանում են միջուկների միավորմամբ նոր միջուկների մեջ, կոչվում են **սինթեզման միջուկային ռեակցիաներ**:

Միջուկային ռեակցիաները, որոնք իրականանում են բաղադրիչների ջերմային (կինետիկ) էներգիայի շնորհիվ, կոչվում են **ջերմամիջուկային ռեակցիաներ**:

Դիցուք տրված են A և B միմյանցից առանձնացված երկու թեթև միջուկներ E_A և E_B էներգիաներով, իսկ ինչ-որ կերպ նրանք միասնական միջուկ կազմելու դեպքում E_{AB} էներգիա կունենային: Եթե $(E_A + E_B) > E_{AB}$, ապա նոր սինթեզված միջուկը կլիներ էներգիական ավելի նպաստավոր վիճակում, քան եթե A և B միջուկները միմյանցից առանձնացված լինեին: Միաժամանակ, կանջատվեր $(E_A + E_B) - E_{AB} = \Delta E$ էներգիա: Սակայն A և B դրական լիցքավորված միջուկներն իրար պետք է այնքան մոտեցնել, որպեսզի սկսեն գործել միջուկային ուժեղ փոխազդեցության ուժերը նրանց նույն ամբողջական միջուկում պահելու համար: Իսկ դրա համար A և B դրական լիցքավորված միջուկները պետք է մոտեցնել ընդհուպ մինչև 10^{-15} մ՝ հաղթահարելով կուլոնյան վանողական հսկայական ուժը:

Այդպիսի կինետիկ էներգիա միջուկներն ունեն 10^8°C և ավելի բարձր ջերմաստիճաններում (ուստիև կոչվում են ջերմամիջուկային): Անջատված էներգիայի քանակը ծախսվածին գերազանցում է և ավելի արդյունավետ է, քան ճեղքման ռեակցիան: ${}_{92}^{235}\text{U}$ միջուկի ճեղքումից մեկ նուկլոնին ընկնում է մոտ 0,9 ՄԷՎ էներգիա, իսկ թեթև տարրերի սինթեզման դեպքում 7 անգամ ավելի: Ուստի սինթեզման միջուկային ռեակցիաներն էներգիայի գերհզոր աղբյուրներ են, այդ թվում նաև նոր զինատեսակների համար: 1949թ. Խորհրդային Միությունում փորձարկվեց առաջին ջրածնային՝ ջերմամիջուկային ռումբը Ա. Սախարովի, Ս.Գ. Բոչարյանցի և մի շարք ուրիշ, նաև հայ, գիտնականների ջանքերով: Այնտեղ օգտագործվեց ջրածնի ծանր իզոտոպների՝ դեյտերիումի ${}^2_1\text{H}$ և տրիտիումի ${}^3_1\text{H}$ սինթեզի ռեակցիան.



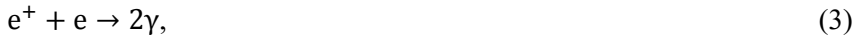
Իսկ ռեակցիան սկսելու համար անհրաժեշտ բարձր ջերմաստիճանը ստացվել է մի այլ՝ ատոմային ռումբ պայթեցնելու միջոցով: Ջրածնային ռումբերի հզորությունը 100 ՄՎտ-ի հասցվեց, որը 2.000 անգամ հզոր էր Ճապոնիայի վրա նետված ռումբերից...:

Սինթեզման ջերմամիջուկային ռեակցիաների բազմաթիվ նշանակություններից երկուսը հիմնարար են:

1. Արդի նյութական աշխարհի քիմիական տարրերը ձևավորվել են հենց սինթեզման ջերմամիջուկային ռեակցիաների շնորհիվ, որոնք կոչվում են **նուկլեոսինթեզներ**:
2. Աստղերի առաքած էներգիան առաջանում է աստղերի մեջ ընթացող սինթեզման ջերմամիջուկային ռեակցիաների հետևանքով:

Այս ռեակցիաները ներկայացնելու համար նշենք, որ քվանտային ֆիզիկան բերեց նոր օբյեկտների անհրաժեշտության, այդ թվում նոր տարրական մասնիկների և հակամասնիկների: Հակամասնիկները մասնիկներից տարբերվում են լիցքի նշանով միայն, ուստի նույն տառով նշանակենք՝ վերևի աջ մասում «+» նշանով: Նեյտրինոն, որը նշենք ν տառով, ֆոտոնի նման ունի էներգիա, իմպուլս և իմպուլսի մոմենտ, բայց չունի լիցք և հանգստի զանգված: Արեգակի և նրա կարգի աստղերում ընթանում է, այսպես կոչված, ջրածնային ցիկլով ջերմամիջուկային ռեակցիա, երբ 4 պրոտոնից սինթեզվում է մեկ հելիումի միջուկ՝ անջատելով 26,21 ՄԷՎ էներգիա: Ցիկլը կոչվում է ջրածնային, որովհետև բացի այդ չորսից, երկու

պրոտոն էլ կատալիզատորի դեր են կատարում: Ֆիկլը բաղկացած է 4 հաջորդական ռեակցիաներից (այսուհետ p -ն պրոտոնն է, d -ն՝ դեյտրոնը).



Այսպիսով, 3 պրոտոնից ստացվեց մեկ ${}^3\text{He}$, իսկ 2 հատ ${}^3\text{He}$ -ից ստացվեց մեկ ${}^4\text{He}$ և 2 պրոտոն, ուստի 6 պրոտոնից ստացվեց մեկ ${}^4\text{He}$ և 2 պրոտոն՝ անջատելով 26,21 ՄԷՎ էներգիա: Նշենք մեկ նրբություն: (2) ռեակցիան կատարվում է 14 միլիարդ տարում, սակայն աստղում պրոտոնների ավելի քան 10^{28} քանակի շնորհիվ վայրկյանում բազում միլիարդավոր ռեակցիաներ են լինում: (3)-ը կատարվում է ակնթարթորեն, (4)-ը՝ 5,7 վ, իսկ (5)-ը՝ շուրջ միլիոն տարում, այսինքն, (2)-ից 14.000 անգամ արագ:

Ավելի պայծառ աստղերում կատալիզատորի դեր է կատարում ածխածնի միջուկը, որի համար ցիկլը անվանում են ածխածնային: Այլ ցիկլեր ևս կան: Ամեն մի աստղ, նաև Արեգակը, սեփական էներգաարտադրություն կունենա մինչև վառելիքը լրիվ վերջանա, այսինքն, ջրածինը վերածվի հելիումի: Հետո նրանք կսկսեն սառել:

Միջուկայինի մնան ջերմամիջուկային ռեակցիաները ևս կարելի է իրականացնել կառավարելի կերպով: Ջերմամիջուկային ռեակցիաներն այն առավելությունն ունեն, որ ատոմայինից ավելի արդյունավետ էներգաարտադրամիջոց են և նաև ռադիոակտիվ ճառագայթում տեղի չի ունենում: Սակայն դա տեսականորեն է այդպես գալթակղիչ, իսկ դրա իրականացումը գիտատեխնիկական մեծ դժվարությունների հետ է կապված: Ինչպես արդեն նշել ենք, պրոտոնները մի միջուկում միանալու և նոր միջուկ սինթեզելու համար, անհրաժեշտ է հարյուրավոր միլիոն աստիճանից ավելի բարձր ջերմաստիճան, երբ ողջ նյութը կազմում է, այսպես կոչված, բարձրջերմաստիճանային պլազմա: Իսկ այդպիսի ջերմաստիճանում պրոտոնին նյութական միջոցներով հնարավոր չէ պահել. ցանկացած պատ նախ նրա համար թափանցիկ է, հետո էլ պատերը կգոլորշիանան: Ուստի պլազման պետք է պահել դաշտերի միջոցով, հիմնականում մագնիսական շատ ուժեղ դաշտով: Ռեակցիան սկսելու համար բարձրջերմաստիճանային պլազման կարելի է ստանալ հզոր էլեկտրական պարպումների միջոցով, իսկ հետագա այդ վիճակի պահպանումը կկատարվի հենց ռեակցիայից անջատված էներգիայի հաշվին: Այդ

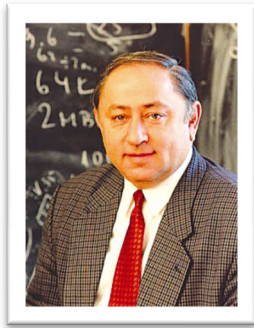
Էներգիայի հաշվին կսնվեն նաև պլազման հարատև պահող մագնիսական հզոր կոճերը, որոնց գալարները պետք է լինեն գերհաղորդիչ նյութից: Այստեղ ևս կա մի հարց: Այն էներգիան, որը ծախսում ենք ռեակցիա իրականացնելու համար դեռևս գերազանցում է ռեակցիայի արդյունքում ստացված էներգիան, այն է, օգտակար գործողության գործակիցը դեռևս բացասական է, չնայած սկզբունքորեն կարող է լինել դրական: Այդպիսի սարք-ռեակտոր է Տոկամակը, որը առայժմ չի գործում, չնայած ֆիզիկոսների գործադրած մեծ ջանքերի: Բայց հաղթանակն արդեն շատ մոտ է: Ջերմամիջուկային ռեակտորը թույլ կտա էներգիայով ապահովված ուղևորվել բազմամյա տիեզերական ճանապարհորդության, ինչպես ֆանտաստիկ վեպերում:

Գերծանր միջուկներ: Յու. Հովհաննիսյանի աշխատանքները և պարբերական օրենքի ընդհանրացումը: Փորձարարական մեթոդների և քվանտային տեսության ներդաշնակ ու հետևողական գործակցումը սկզբունքորեն հնարավորություն ընձեռեց հասկանալու և բացատրելու մեզ հասու բնության առկա երևույթները՝ տարրական մասնիկ-հակամասնիկներից մինչև գալակտիկաներ և ավելին: Երկար ստեղծագործական ուղի է անցել մարդկությունը, մինչև հասել է աշխարհճանաչման սույն մակարդակին՝ հետզհետե ծավալվելով դեպի կառուցվածքային նոր հիմնատարրեր՝ ավելի փոքր «աղյուսիկներ» և դրանց ավելի մեծ կազմավորումներ: Այդ գործընթացն աճող դժվարությամբ, բայց առայսօր հաջողությամբ է պսակվել: Եվ հարց է ծագում, **որտե՞ղ է մեր աշխարհի սահմանը:** Այս հարցերը մեզ դարձյալ տանում են միկրոաշխարհի և Տիեզերքի էլ ավելի մութ խորխորատները:

Պատմական փոքրիկ մի շրջայց կատարենք՝ տեղափոխվելով 20-րդ դար: Մեզ շրջապատող աշխարհում մենք ճանաչել ենք մինչև բերիլիում բոլոր կայուն քիմիական տարրերը, որոնց հատկությունները բացատրեց քվանտային ֆիզիկան:

Նաև հայտնաբերեցինք ինքնաբերաբար տրոհվող, քայքայվող տարրեր՝ ռադիոակտիվ տարրեր, որոնց կյանքի տևողությունը վերջավոր է:

Սա նշանակում է, որ Արեգակնային համակարգում և Երկիր մոլորակում մինչև մեր օրերը կարող էին գոյարևել միայն այնպիսի տարրերը, որոնց ծնման-ոչնչացման հաշվեկշիռը դրական է կամ կյանքի տևողությունը փոքր չէ Երկրի տարիքից (մոտ 4,5 մլրդ տարի): **Սակայն մարդիկ սովորեցին արհեստականորեն սինթեզել տարրեր, որոնք բնության մեջ այլևս չկան:** Դա 93-րդ տարրն է՝ նեպտունիումը, 94-րդը՝ պլուտոնիումը և այլն: Ընդ որում, կարգաթվի աճմանը զուգընթաց դրանց կյանքի տևողությունը կտրուկ փոքրանում է և՛ տե-



Միսակյան Ալեքսեյ (1944 - 2010)

Հայ ֆիզիկոս, ակադեմիկոս, Միջուկային Հետազոտությունների Միացյալ Ինստիտուտի գլխավոր տնօրեն: Մեծ ավանդ ունի տարրական մասնիկների, տեսական և մաթեմատիկական ֆիզիկայի ոլորտներում:

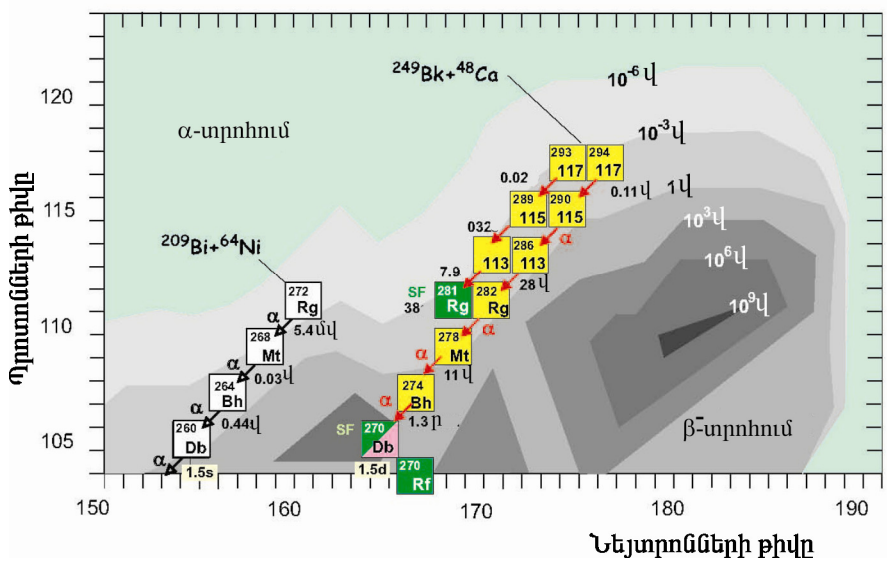


Հովհաննիսյան Յուրի (ծ. 1933)

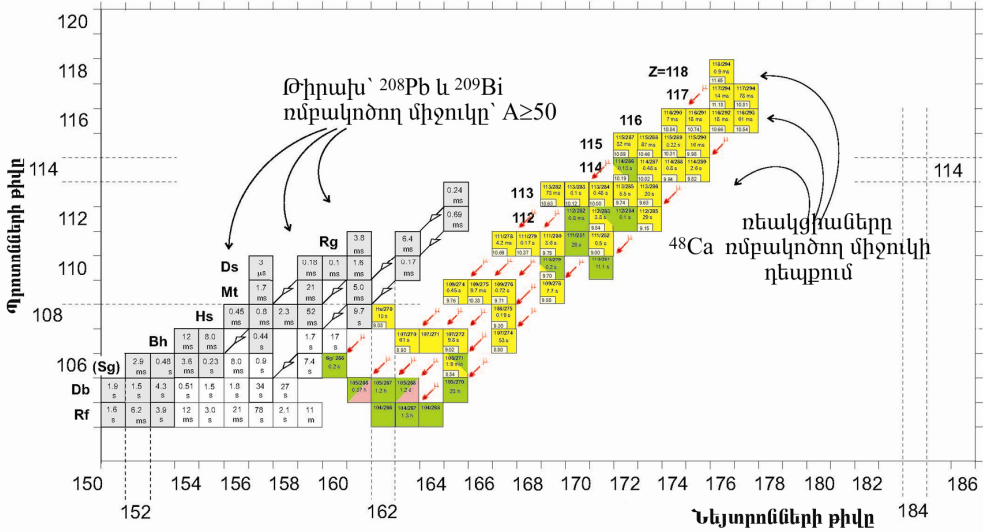
Հայ գիտնական, փորձնական միջուկային ֆիզիկայի ոլորտի մասնագետ, ակադեմիկոս, Միջուկային Հետազոտությունների Միացյալ Ինստիտուտի լաբորատորիայի գիտական ղեկավար:

սությամբ, և՛ փորձում՝ հասնելով արհամարհելի փոքր ժամանակի: Միջուկում նուկլոնների կապի էներգիան սեծագույն է դառնում պրոտոն-նեյտրոն որոշակի հարաբերակցության դեպքում: Այդպիսի միջուկները կոչվում են *մոզակալի*: Պատկերավոր ասած, մոզական միջուկներում նուկլոնային թաղանթները նման են չեզոք գազերի էլեկտրոնային թաղանթներին: Միջուկում նեյտրոն ավելացնելիս նեյտրոնի E_n կապի էներգիան փոքրանում է և 0 է դառնում որոշակի սահմանային քանակի դեպքում, երբ նեյտրոնն ազատ լքում է միջուկը: Նման կերպ կա պրոտոնային սահման, երբ $E_p=0$: Երկու դեպքում էլ միջուկն անմիջապես տրոհվում է: Կայունության մի այլ սահման էլ պայմանավորված է միջուկում նուկլոնների մաքսիմալ քանակով, երբ միջուկը սպոնտան կճեղքվի երկու բեկորների: §54-ում ծանոթացել ենք միջուկի ստիպողական ճեղքմանը, որի համեմատ սպոնտան ճեղքումն է հազվադեպ երևույթ (ուրանի սպոնտան ճեղքման մասնակի պարբերությունը 10^{16} տարի է): Սակայն միջուկի կարգաթիվը մեծացնելիս այդ ժամանակը կտրուկ նվազում է, քանի որ կուլոնյան վանող ուժը մեծանում է՝ փոքրացնելով ճեղքմանը խոչընդոտող պոտենցիալը: Օրինակ, 102-րդ տարրը՝ ${}_{102}^{258}\text{No}$ նոբելիումը սպոնտան ճեղքվում է 1,2 վայրկյանում: Երբ ճեղքման խոչընդոտը 0 է դառնում, սպոնտան ճեղքումը կատարվում է 10^{-19} վայրկյանում, որն էլ վերևի սահմանն է: Սա բացատրվեց միջուկի Բոր-Ուիլլերի կաթիլային մոդելով, ըստ որի միջուկը «նուկլոնային հեղուկի» *անկառուցվածք* կաթիլ է, որում կաթիլի մա-

կերևույթային լարվածության ուժերը համակշռում են կուլոնյան վանման ուժերին: Պրոտոնի ավելացումը միջուկում բերում է կուլոնյան ուժի մեծացմանը և կաթիլի դեֆորմացիայի: Արդյունքում կաթիլը բաժանվում է երկու փոքր կաթիլների: Սակայն 1962 թ. Դուբնայում հայտնաբերեցին, որ $^{238}_{92}\text{U}$ -ի միջուկը սպոնտան տրոհման մի այլ ուղի ևս ունի, որի պարբերությունը $3 \cdot 10^{-7}$ վայրկյան է (10^{30} անգամ արագ!!!): Դա նշանակում է, որ ուրանը 10^{16} տարում ճեղքվում է «հիմնական» վիճակում և $3 \cdot 10^{-7}$ վայրկյանում ճեղքվում է կիսակայուն՝ «իզոմեր» վիճակում, որն առաջանում է միայն միջուկի, այսպես կոչված, թաղանթային մոդելի շնորհիվ և ունի կայունացնող գործոն նաև կաթիլային մոդելից դուրս՝ առաջացնելով «կայունության կղզյակներ» մոզական թվերի շրջակայքում: Տեսությունը կանխագուշակեց հատկապես մոզական գերծանր տարրի՝ $^{298}_{114}\text{X}$ -ի (հնարավոր է նաև ավելի ծանր $Z=120$ տարրի) կյանքի տևողությունը միլիոնավոր, մինչև 10^{35} անգամ մեծանալը: Դա նշանակում է, որ նյութական աշխարհն անհամեմատ ավելի լայն է՝ հանձինս կայուն գերծանր տարրերի գոյության (նկ. 1): Անտարակույս, **դա արմատապես կփոխի մեր աշխարհնախադրյալը, քիմիական տարրերի պարբերական օրենքը կրնդայնվի, կծնվեն նոր ռադիոակտիվ ընկալիչներ** և այլն (նկ. 2): Եվ խնդիրը հանգում է գերծանր տարրերի սինթեզմանն ու փորձով այդ բոլորը հաստատելուն: Պարզվեց, որ դա բնավ դյուրին խնդիր չէ:



Նկար 1

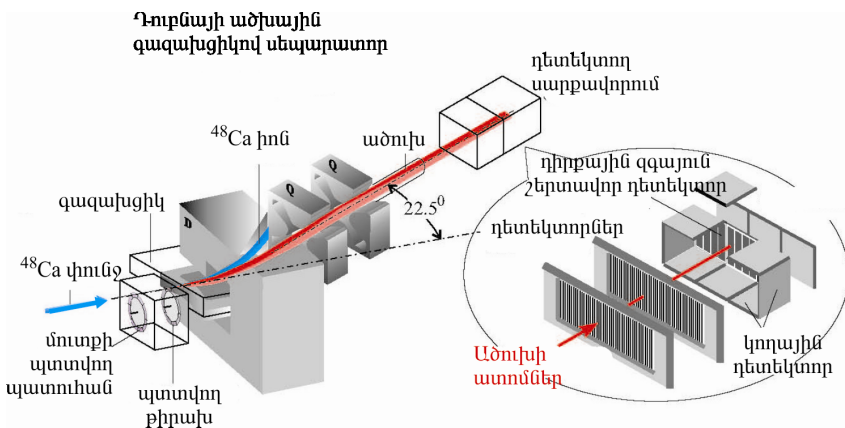


Նկար 2

Ինչպես գիտենք, նոր միջուկ սինթեզելու համար պետք է ծանր միջուկը՝ փրախը նմրակոծել մեծ էներգիայով արկերով՝ նեյտրոնով, պրոտոնով, հելիումի, ածխածնի, թթվածնի և այլ մասնիկ-արկերով: Այդ եղանակով 1940-ից մինչև 1953թ. Ֆրյուլլի, Սիբորգի և այլոց ջանքերով սինթեզվեցին մինչև ֆերմիումը՝ 100-րդ տարրը, որը ստացան փրախը նմրակոծելով արագացուցիչներում խիստ արագացված ծանր միջուկներով: Պարզվեց, որ այս արդյունքը «տաք» սինթեզի հնարավորությունները սպառում է (արդեն ^{258}Fm -ի պարբերությունը 0,3 միլիվայրկյան է): Դժվարությունը այստեղ հետևյալում է: Միջուկի գրգռման էներգիան 6-8 ՄԷվ աճում է նեյտրոն կլանելիս և շուրջ 5 անգամ շատ՝ ածխածին կլանելիս: Որպեսզի միջուկն անցնի հանգստի վիճակի, պիտի գրգռման էներգիան առաքի γ -քվանտ և նեյտրոն: Սակայն գրգռված միջուկների հազիվ 1% -ն է տրոհվում և նեյտրոն առաքում, մնացածները ճեղքվում են: Որպեսզի գրգռված միջուկը սառի, պիտի 5 նեյտրոն առաքի, ուստի ծանր միջուկ սինթեզելու հավանականությունը դառնում է 10^{-10} կարգի, որն աննշան է: Դրան ավելանում է նաև թաղանթի էֆեկտի դերը գրգռված միջուկի մեծ էներգիայի պատճառով:

Միայն 1974թ. **Յու. Հովհաննիսյանի** լաբորատորիայում մշակվեց սինթեզման նոր՝ «սառը սինթեզի» եղանակը: Այս երևույթը որոշ առումով ճեղքման հակառակ երևույթն է: Ճեղքման դեպքում անջատվում է կապի էներգիան, իսկ այս դեպքում

կլանվում է, ինչի հետևանքով սինթեզված միջուկը կարողանում է անցնել հիմնական վիճակի մեկ-երկու նեյտրոն առաքելով: Որպես թիրախ կապարի կամ բերիլիումի մոզական միջուկը վերցրին, իսկ որպես արկ՝ արգոնի ծանր միջուկը: Դա մոտ 3 անգամ նվազեցրեց սինթեզված միջուկի գրգռման էներգիան, ինչը հնարավորություն տվեց սինթեզել մինչև 112-րդ տարրը: Շուրջ քառորդ դար աշխարհի բարձրակարգ բոլոր լաբորատորիաներում ջանում էին ստանալ 112-114-րդ տարրերը, բայց չէր հաջողվում: **Սառը սինթեզման եղանակով հնարավոր չէր մոտենալ «կայունության կղզյակներին»:** Անգամ շուրջ 10 տարի գիտնականները դադարեցրին սինթեզման գործընթացը՝ գրեթե համոզված լինելով գերծանր միջուկներ ստանալու անհնարիմության մեջ: Այդ հանգամանքն ունի իր սկզբունքային պատճառները, որոնք, ցավոք, այստեղ բերել չենք կարող: Միայն նշենք, որ այստեղ էլ դժվարությունը հաղթահարեց Յու. Հովհաննիսյանը: Նա օգտագործեց նուկլոնային թաղանթների գործոնը, որպես թիրախ վերցրեց բնական ծագմամբ գոյություն չունեցող ծանր միջուկներ՝ $^{244}_{94}\text{Pu}$ և ավելի ծանր ու նեյտրոններով առատ արհեստական միջուկներ, որոնց ռմբակոծեց 8-ից ավել նեյտրոն ունեցող կրկնակի մոզական $^{48}_{20}\text{Ca}$ միջուկներով: Սինթեզման սարքավորումը շատ բարդ է, փորձը՝ շատ նուրբ ու դժվարին, փորձի սխեման բերված է նկ. 3-ում և այն մատուցել այստեղ դարձյալ չենք կարող: Ուստի բավարարվենք նշելով, որ սինթեզվեցին 113-117-րդ տարրերը և մոտեցան «կայունության կղզիներին»: Եվ վերականգնվեց ֆիզիկոսների լավատեսությունն ու շարունակում են որոնումներն ավելի երկարակյաց միջուկների ստացման ուղղությամբ, այդ թվում՝ տիեզերական ճառագայթների մեջ:



Նկար 3

Միջուկային ֆիզիկայում, տարրական մասնիկների և բարձր էներգիաների ֆիզիկայում շատ մեծ ավանդ ունեն նաև Աբրահամ և Արտյոմ Ալիխանյանները, Ա. Սիսակյանը և աշխարհում ճանաչված ուրիշ շատ հայ ֆիզիկոսներ, որոնց ջանքերով ստեղծվեց նաև Երևանի էլեկտրոնային արագացուցիչը:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք ջերմամիջուկային և սինթեզման ռեակցիաները և նրանց իրականացման ֆիզիկական հիմքերը:
2. Յուրացրե՞լ եք հելիումի սինթեզման ռեակցիան և նրանից առաջացած էներգիայի չափը:
3. Կարո՞ղ եք համեմատել էներգաանջատման արդյունավետությունը միջուկային և ջերմամիջուկային ռեակցիաների դեպքերում:
4. Պատկերացում կազմեցի՞ք կայուն գերծանր միջուկների գոյության ու քիմիական տարրերի պարբերական օրենքի ընդհանրացման մասին:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՛ք ջերմամիջուկային և սինթեզման ռեակցիաները:
2. Նկարագրե՛ք աստղերի էներգիայի առաջացումը:

Գլուխ 18.

ԱՇԽԱՐՀԻ ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ ՊԱՏԿԵՐԸ

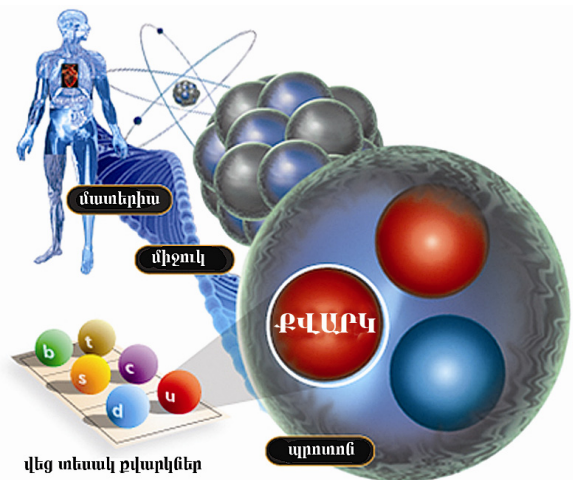
§56*. Տարրական մասնիկներ: Քվարկներ: Հիմնարար փոխազդեցություններ

Սկսելով ուսումնասիրել առկա մատերիական աշխարհը, հնարավորինս վերարտադրելով նրա անցյալը և կանխատեսելով ապագան մենք հանգել ենք Տիեզերքի և նյութի բաղադրյալ կառուցվածքին ու նաև փորձել ենք գտնել այն «աղյուսիկները», որոնցից այն կերտված է: Այդ «աղյուսիկներն» անվանել ենք տարրական մասնիկներ այն պայմանով, որ դրանք չունեն ներքին կառուցվածք: Մենք արդեն ծանոթ ենք որոշ հավակնորդների հետ, որոնց դասակարգում են հետևյալ կերպ՝ ֆոտոններ, որոնք չունեն հանգստի զանգված ու լիցք, ունեն 1 սպին (սեփական իմպուլսի մոմենտ, որի մնացակա չկա դասական ֆիզիկայում) և Բոզե-մասնիկ են, լեպտոններ (էլեկտրոն, մյուոն, նեյտրինո), որոնք 1/2 սպինով թեթև մասնիկներ են, մեզոններ (կաոն, պիոն, էտա-մեզոն), որոնք 0 սպինով միջանկյալ մասնիկներ են, բարիոններ (նուկլոններ, հիպերոններ), որոնք ծանր մասնիկներ են (ամենաթեթևը պրոտոնն է), ունեն կիսամբողջ սպին (լեպտոնների պես Ֆերմի-մասնիկ են): Հետագայում ավելի նուրբ փորձերը ցույց տվեցին, որ կան շատ այլ մասնիկներ ևս, որոնք ունեն 10^{-22} վ և ավելի փոքր կյանքի տևողություն (և կոչվեցին ռեզոնանսներ), իսկ բարիոնները և մեզոնները տրոհվում են, նաև վերափոխվում են միմյանց: Ուստի կուտակված փաստերը բացատրելու և համակարգելու համար նոր մոտեցման կարիք ծագեց, ինչը 1964 թ. արեցին Մ.Գել-Մանը և Ջ. Յվեյզը: Ելնելով միկրոաշխարհում գործող համաչափություններից, նրանք վարկածեցին, որ ֆոտոններն ու լեպտոնները տարրական մասնիկներ են, իսկ մեզոններն ու բարիոնները բաղկացած են նոր տարրական մասնիկներից՝ **քվարկներից**: Սկզբում առաջարկվեցին 1/2 սպինով և 1/3 բարիոնային լիցքով **u**, **s** և **d** քվարկները 2/3, $-1/3$ և $-1/3$ լիցքերով, ինչպես նաև հակաքվարկները: Սակայն ստիպված եղան ավելացնել նորերը և նոր պարամետրեր՝ **տաքորինակություն**՝ կրողը **s** քվարկ, **հմայք**՝ կրողը **c** քվարկ, **գեղեցկություն**՝ կրողը **b** քվարկ, **t**

քվարկ և այլն: Մտցվեցին նոր քվանտային թվեր՝ **գույն, հոտ** և այլն: Յավոք, դեռևս ոչ մի քվարկ փորձով գրանցված չէ, այլ մասամբ հաստատված է նրանց հիման վրա ստեղծված Դաշտի Միասնական Տեսությունը:

Հետաքրքիր է, մարդու բնության երևույթները հասկանալու գործընթացը: Ինչպես վկայում է գիտության պատմությունը, խնդիրը միշտ հանգել է ամեն ինչի համար ընդհանուր հիմնաբջիջ կամ աղյուսիկ գտնելուն: Եղել են հողը, հետո նաև ջուրը, օդը, կրակը, հետո այլ մտացածին, անգամ գերբնական սուբստանցներ: Բայց միշտ դրանք անկարող են եղել բնության երևույթները բացատրել և փակուղի են մտել: Ըստ էության ֆիզիկան, որպես բնության մասին առաջմ ամենակատարյալ գիտությունը, ձևավորվեց ճիշտ նույն նկրտումներով, կարգով ու գործընթացով: Հաջողությունը սկսվեց միայն այն բանից հետո, երբ հիմք ընդունվեցին փորձի և դիտումների զուգակցումը տրամաբանության հետ ու համապատասխան մեթոդներ մշակվեցին:

Իրոք, նախ կատարվեցին դիտումներ, գտնվեցին էմպիրիկ օրենքներ և հիմքեր, որոնեցին դրանք բացատրելու եղանակները: Ոչ թե նյութի կամ նյութական աշխարհի հատկությունները, այլ լոկ նրա զարգացման վիճակի երևութաբանական փոփոխումը նկարագրելու և հասկանալու համար ներմուծվեց երևակայական աղյուսիկի՝ նյութական կետի հասկացությունը: Եվ դա հնարավորություն տվեց բացատրել նյութական աշխարհի բազմաթիվ, այսպես կոչված, արտաքին հատկություններ և նաև մշակել նոր, այդ թվում փորձարարա-



Նկար 1

կան, մեթոդներ: Այդ ինքնազարգացումը նոր փորձերի հիման վրա հարկադրեց երևակայականից վերադառնալ իրական աղյուսի որոնումներին, որոնք արդյունավետ ու կենսունակ եղան բոլոր առումներով:

Փորձարարական և տեսական հետազոտությունների արդյունքները զարգացման փուլերով պատկերված են նկ.1-ում: Նյութական մատերիան պինդ, հեղուկ և

գազային վիճակներում բաղկացած է մոլեկուլներից և ատոմներից, մոլեկուլներն իրենց հերթին կազմված են ատոմներից: Սա հաստատված փաստ է, իսկ աղյուսիկներն ատոմներն են՝ «անբաժանելիները»: Սակայն անմիջապես էլ պարզվեց, որ ատոմներն ավելի բարդ կառուցվածք ունեն, քան քիմիկոսների երևակայությունն ու երևութաբանական տրամաբանությունն էր պատկերացնում: Փորձնական փաստերի վերլուծությունը նոր ձևավորված հայեցակարգի՝ քվանտային հայեցակարգի հիման վրա անառարկելիորեն բացահայտեց, որ ատոմն էլեկտրոնների և դրական լիցքավորված միջուկների հանրույթ է, իսկ միջուկներն էլ բաղկացած են նուկլոններից՝ պրոտոններից ու նեյտրոններից, որոնք փոխազդում են մինչ այդ անհայտ շատ ուժեղ ու կարճազդու միջուկային ուժերով: Եվ ձևավորվեց տարրական մասնիկների սկզբնական սերունդը՝ բաղկացած էլեկտրոնից, ֆոտոնից և նուկլոններից: Այդ սերունդը կարողացավ նաև բացատրել քիմիական տարրերի Մենդելևեի աղյուսակը: Սակայն նեյտրոնը դեռևս Չեդվիկի կողմից փորձով չգտնված՝ ֆիզիկայի տեսությունը կանխատեսեց նրա բարդ կառուցվածքը և ազատ վիճակում կյանքի 15 րոպեանոց տևողությունը: Նաև արդյունքում նոր մասնիկ՝ անտի-նեյտրինո կանխատեսվեց: Հայտնաբերվեց նաև չորրորդ հիմնարար և ամենակարճազդու փոխազդեցությունը, որը կոչվեց թույլ: Էլեկտրոնի ռելատիվիստական տեսությունը, ստեղծված Պ. Դիրակի կողմից, բացահայտեց նաև հակամասնիկները: Հակաէլեկտրոնը, որին անվանեցին պոզիտրոն, նույն էլեկտրոնն էր, միայն լիցքի նշանն էր դրական: Նոր մասնիկների թիվն արագ աճեց՝ հասնելով հարյուրների: Նրանք, որպես տարրական մասնիկների միջին սերունդ, համակարգվեցին և դասվեցին 4 խմբերի՝ ֆոտոններ, լեպտոններ, մեզոններ (միջանկյալ մասնիկներ) և բարիոններ: Այս սերունդը շատ մեծ հաջողություններ ապահովեց, մասնավորապես, իրականացրեց բնության բոլոր չորս հիմնարար փոխազդեցությունների մերձազդեցիկ բնույթը, ըստ որի մասնիկների փոխանակման միջոցով էին դրանք իրականացվում: Հեռազդու գրավիտացիայի և էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությունների մերձազդեցությունը իրականացնում են հանգստի զանգված չունեցող մասնիկները՝ գրավիտոնն ու ֆոտոնը, իսկ կարճազդու ուժեղ (10^{-15} մ) և թույլ (10^{-16} մ) փոխազդեցությունների մերձազդեցությունն իրականացնում են հանգստի զանգված ունեցող մասնիկները: Այնուհանդերձ, այս սերնդի մասնիկները պայմանականորեն էին համարվում տարրական և դիտվում «աղյուսիկներ», քանի որ ի սկզբանե հայտնի էր, որ դրանք ունեն ներքին կառուցվածք:

Ուստի ձևավորվեց տարրական մասնիկների արդի սերունդը՝ քվարկների, պարտոնների, գլյուոնների և դրանց հակամասնիկների մասնակցությամբ (նկ. 1):

Արդի սերնդի հիմնական նվաճումը Դաշտի Միասնական Տեսության ստեղծումն էր, որը միավորեց բոլոր փոխազդեցությունները, բացի գրավիտացիայից: Այնպես որ, ֆիզիկան արդեն հետամուտ է Մեծ Միացմանը:

Ինքնատուգման հարցեր.

1. Ըմբռնե՞լ եք քվարկների ներմուծման անհրաժեշտությունը: Կարծու՞մ եք դա է վերջինը:
2. Հասկացե՞լ եք դասագրքի կազմի վրա պատկերված նկարների հանրույթի իմաստը:
3. Ընկալեցի՞ք տարրական մասնիկների ֆիզիկայի զարգացման փուլերը:
4. Պատկերացնու՞մ եք հակամասնիկի և հակաաշխարհի հասկացությունները:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՛ք քվարկները և նրանց ներմուծման դրդապատճառները:
2. **Խմբային քննարկում:** Ի՞նչ իմաստ վերագրենք դասագրքի կազմի վրա պատկերված նկարների հանրույթին:

§57. Էներգետիկան և քաղաքակրթության զարգացման հեռանկարները

Բնության մեջ ցանկացած զարգացում նախևառաջ էներգիական պրոցես է՝ էներգիայի փոխակերպումներով ու վերաբաշխումներով ուղեկցվող: Ամեն շարժում կատարվում է էներգիայի որոշակի ծախսով կամ անջատմամբ: Առանց էներգիայի չի կարող լինել բուսական կամ կենդանական կյանք: Բույսը, կենդանին և մարդը սնվում են, որպեսզի սնունդը վերածեն էներգիայի, որի հաշվին իրականացնեն իրենց բոլոր ներքին ու արտաքին գործառույթները:

2000 թ. մարդկությունը (շուրջ 6 միլիարդ մարդ) Երկրագնդի վրա արտադրել է 15 ՏՎտ (1ՏՎտ = 10^{-6} ՄՎտ) հզորությամբ էներգիա՝ բոլոր տեսակները միասին

վերցրած, այսինքն, մեկ շնչի հաշվով 2,5 կվտ, կամ օրական 60 կվտ. ժամ էներգիա: Այն ծախսվել է կենցաղում սննդի, լուսավորության, ջեռուցման-սառեցման, էլեկտրական ու էլեկտրոնային սարքերի, ծախսվել է փոխադրամիջոցների, աշխատանքային գործունեության և հոգևոր-մշակութային կարիքների և այլն համար: Կանխատեսվում է, որ 2050 թ. այդ ցուցանիշը 7 անգամ կաճի՝ հասցնելով էներգատաղրությունը 100-110 ՏՎտ-ի: Դա նշանակում է նախ քաղաքակրթության աննախադեպ որակական առաջընթաց՝ ձեռքի աշխատանքն էապես կնվազի, արտադրությունը կավտոմատացվի և կկատարվի ռոբոտների միջոցով, մարդը հիմնականում կգրավի մտավոր և մշակութային գործունեությամբ:

Մարդկությունը կանգնում է խնդրի առջև՝ որտեղի՞ց կարող ենք այդքան էներգիա վերցնել, ինչպիսի՞ ալ փոփոխությունների և հետևանքների կհանգեցնի այդքան մեծ հզորությամբ էներգիա վերցնելը, ինչպե՞ս պետք է արտադրվի այդքան էներգիա, ինչպիսի՞ քաղաքական, տնտեսական և ռազմական հետևանքներ կունենա 21-րդ դարում մեծ էներգետիկան և այլն: Ակնհայտ է, որ 21-րդ դարի գերխնդիրը էներգետիկան է: Իրավիճակի վերլուծություն կարող ենք անել միայն մասնակիորեն, քանի որ շատ են հնարավոր տարբերակները:

Ըստ էներգաանջատման կարելի է տարբերել քիմիական այրումով և առանց դրա ստացվող էներգիա: Քիմիական այրումը պարտադիր ուղեկցվում է թթվածնի ծախսով, այնինչ արդեն իսկ առկա է **թթվածնային քաղցի** վտանգը: Բույսերի մոտ թթվածնի հաշվեկշիռը դրական է, քանզի ֆոտոսինթեզի ժամանակ նրանք «ուտելով ածխաթթու գազ, արտաթորում են թթվածին», ընդ որում արտադրում են ավելի շատ թթվածին, քան ծախսում են շնչելով: Երկրի վրա օրըստօրե նվազում է թթվածնի արտադրությունը, քանի որ ոչնչացվում են անտառները, ավելանում են հրդեհները, աճում է այրումը էներգիական նպատակով, մյուս կողմից աճում է թթվածնի ծախսը մարդկանց աճի, արտադրության հզորացման և այլ նման պատճառներով:

Քամու էներգիան կարելի է կանխատեսելի անվտանգությամբ օգտագործել միայն փոքր հզորությունների համար հետևյալ պատճառներով: Նախ՝ կախված արտաքին սպառումից փոխվում է առաջացած ակուստիկ ալիքների հաճախականությունը, որն ամենահաճախը ինֆրաձայնային տիրություն է լինում: Դա վնասում է ողջ կենդանական աշխարհին, այն էլ շատ մեծ շառավղով: Խախտվում է նաև էկոլոգիան մի կապասարակչությունը, որը համարժեք է հողմակի տված հզորությամբ օդամղիչների ստեղծած օդային հոսանքի ազդեցությանը: Մերձերկրյա մթնոլորտի ուժեղ անհավասարակշիռ վիճակի դեպքում դա կբերի անկանխատեսելի հետևանքների՝ ցիկլոնի, փոթորկահողմի և այլ նման երևույթների: Քամու է-

ներգիան անվնաս է վերցնել հիմնականում օվկիանոսամերձ տարածքներում: Հիդրոէներգետիկան համեմատաբար էկոլոգիապես անվնաս է, եթե գերիգոր չեն ջրամբարտակները: Բացասականն այն է, որ մեծ ջրամբարտակները և՛ մեծ տարածք են զբաղեցնում, և՛ որոշակի սեյսմիկ վտանգ են ներկայացնում, և նաև շահագործումը դառնում է թանկ և վտանգունակ հզորության աճման հետ, հատկապես սողանքների պատճառով՝ կապված գլոբալ տաքացման հետ: Հիդրոէներգետիկան միջին կարգի էներգետիկա է և կարող է տալ 2-3 միլիարդ կվտ հզորություն:

Ավելորդ չէ նշել, որ գգուշանալ է պետք Երկիր-Լուսին փոխազդեցության էներգիան օգտագործելուց: Եթե վերցնենք ΔE էներգիա, ապա Լուսինը կհեռանա

$$\Delta R = \frac{R^2}{GM_{\oplus}M_{\oplus}} \Delta E$$
 չափով: Մակընթացության ու տեղատվության ժամանակ տեղի է ու-

նենում էներգիայի տարածական վերաբաշխում և պարբերական կարգով վերցվում-տուրվում է, միջին հաշվով էներգիայի չնչին մասն է ցրվում: Դա բնական և դանդաղ փոփոխություն է, որին Երկիրը հասցնում է «հարմարվել» և պահել առկա քվազիհավասարակշիռ վիճակը, ուստի ենթարկվել նվազ բնակլիմայական փոփոխությունների: Բայց եթե մենք այդ քվազիհավասարակշիռ վիճակը խախտենք արհեստականորեն՝ մեծաքանակ էներգիա վերցնելով, ապա հետևանքները կլինեն անկանխատեսելի:

Բարեբախտաբար գիտությունը հնարավորություն է ընձեռնում ավելի ապահով ու կանխատեսելի հետևանքներով էներգաաղբյուրներ ստեղծել:

Միջուկային էներգետիկան ավելի կանխատեսելի է, կարելի է ստանալ շատ մեծ հզորություն: Թերություններն են. ռադիոակտիվ թափոնների վնասազերծման անհրաժեշտությունը, էկոլոգիական անբարենպաստությունը և, վերջապես, խոցելիությունը ռազմական և ահաբեկչական գործողությունների նկատմամբ: Բոլոր առումներով ավելի անվտանգ ու հեռանկարային է ջերմամիջուկային էներգետիկան՝ սինթեզման ռեակցիաների հիման վրա: Այս ուղղություններին բնորոշ է այն, որ եթե գործունեության ինչ-որ դրվագ խափանվի, ապա կայանի աշխատանքը պետք է կասեցվի անբողջովին:

Շատ հեռանկարային և կենսունակ է այլընտրանքային վերականգնվող էներգիայի օգտագործումը: Այս ուղղությանը շատ տեսակներ են պատկանում, այդ թվում արդեն քննարկված քամու և ջրի էներգիաների օգտագործումը: Այստեղ դիտարկենք ամենից հեռանկարայինն ու արդյունավետը: Դա, ընդհանրապես, ճառագայթային էներգիայի անմիջական փոխակերպումն է էլեկտրականի, որի լավագույն տարբերակը Արեգակի ճառագայթային էներգիայի ֆոտովոլտական փո-

խակերպումն է: Նախ՝ չի խախտվում էապես Երկրի էներգիական հաշվեկշիռը Տիեզերքի կամ արեգակնային համակարգի հետ, այլ կատարվում է լոկ էներգիայի տեսակի փոփոխում որակի լավացմամբ, այն էլ տեղայնացված՝ միայն Երկրի վրա: Երկրորդը՝ էլեկտրական էներգիան հաղորդվում և շահագործվում է անհամեմատ դյուրին կերպով, երրորդը՝ այն էկոլոգիական և այլ առումներով կատարյալ անվտանգ է, չորրորդը՝ կարող է տեղաբաշխվել ցանկացած ձևով, և վերջապես, որ մասն էլ շարքից դուրս գա (ահաբեկչական կամ ռազմական գործողության արդյունքում), նախ՝ վթարային իրավիճակ չի ստեղծվի, և հետո էլ, մնացած մասերը կաշխատեն իրենց սովորական ռեժիմով:

Ֆոտովոլտական փոխակերպիչները հիմնականում սիլիցիումի, գերմանիումի, ալմաստի, գալիումի արսենիդի այլ կիսահաղորդիչ նյութերի հիման վրա որոշակի կառուցվածքներ են, դիողների մման: Երբ նրանց վրա լույս է ընկնում և կլանվում, եթե ֆոտոնի էներգիան բավարարում է, ապա նա առաջացնում է ներքին ֆոտոէֆեկտ: Այսինքն, էլեկտրոնը կլանելով ֆոտոն, կապված վիճակից անցնում է ազատ շարժման վիճակի՝ նյութից դուրս չգալով (ասում են վալենտական էներգիական գոտուց անցնում է հաղորդման գոտի, որտեղ էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ կարող է շարժվել): Կիսահաղորդիչներում գոյություն ունեն շարժունակ բացասական ու դրական լիցքակիրներ՝ էլեկտրոններ և խոռոչներ, որոնք ազատվելով իրենց կապված վիճակներից, կուտակվում են կիսահաղորդիչի տարբեր մասերում և ստեղծում են պոտենցիալների տարբերություն այդ մասերի միջև: Պոտենցիալների այդ տարբերությունը կախված է կլանվող լույսի ինտենսիվությունից և գոյություն ունի, քանի դեռ լույս է կլանվում: Այժմ արտադրվում են 17-22 % փոխակերպման օգտակար գործակցով սիլիցիումային մարտկոցներ ստացիոնար արևակայանների համար, տիեզերակայանների համար այժմ արտադրվում են շուրջ 40 % փոխակերպման գործակցով բարդկառուցվածքային մարտկոցներ, լաբորատոր պայմաններում արդեն գերազանցվել է 57 %-ը: Հիմա արևակայանի տված 1 կվտ.ժամ էներգիայի ինքնարժեքը 5-6 ցենտից ավել է, սակայն այն անընդհատ իջնում է և կանխատեսվում է 2040-2050 թվականներին այն հասցնել 0,2 ցենտի: Եվ արևային էներգիան կդառնա ամենաէժեկտիվ, ամենաանվտանգը և նվազ վնասողը էկոհամակարգին:

Մենք ընդհանուր գծերով փաստեցինք ատոմի գոյությունը և նրա կառուցվածքը, նաև որպես աշխատանքային, ընդունեցինք Բորի-Ռեզերֆորդի մոլորակային մոդելը: Նաև փաստեցինք, որ նյութական մակրոաշխարհը՝ մոլեկուլները, գազային, հեղուկ և պինդ մարմինները, կազմված են ատոմներից: Սակայն դեռևս չենք

դիտարկել երկու կարևոր հարց՝ **ա.** ատոմների ձևավորման և համակարգման սկզբունքները, **բ.** ատոմներից մակրոհամակարգեր՝ նյութեր կազմավորող քիմիական կապերը:

Ատոմների խայտաբղետ աշխարհը երևույթաբանորեն էմպիրիկ փաստերի հիման վրա ուսումնասիրում է քիմիան: Այդ նպատակով ներմուծվեց վալենտականության գաղափարը, որը որոշվում էր փորձարարական տվյալներով՝ առանց մեկնաբանելու նրա ծագումն ու պատճառը: Գ. Մենդելեևին հաջողվեց գտնել օրինաչափություն, որն անվանվեց պարբերական օրենք, և ըստ այդմ էլ դասակարգել քիմիական տարրերը: Ֆիզիկայի զարգացման ընթացքում հայտնաբերվող օրենքների, հատկապես ատոմի մոլորակային մոդելի և միջուկի կառուցվածքի շնորհիվ որոշ մեկնաբանություններ տրվեցին քիմիական էմպիրիկ օրենքներին: Այնուհանդերձ, այդ բոլորի իրականացման հիմքը դեռևս մշակված չէր, որը հնարավոր դարձավ միայն քվանտային ֆիզիկայի միջոցով:

Օգտագործենք քիմիական տարրերի համար ընդունված նշանակումները. A_ZX = ${}^{N+Z}X$, Z կարգաթվով X տարրն է, որի միջուկում կա Z պրոտոն և N նեյտրոն, $Z+N=A$ նուկլոնների թիվն է և կոչվում է ատոմական կշիռ:

Ջրածնի ատոմի ($Z=1$, $N=0$, $A=1$) դեպքում հաշվեցիկը էներգիական սպեկտրը, որից երևում է, որ էներգիայի արժեքները դիսկրետ են՝ քվանտացված են.

$$E_n = -\frac{chR}{n^2} = -\frac{13,6}{n^2} eV, \quad (1)$$

որտեղ R -ը Ռիդբերգի հաստատունն է (տես § 50): Ջրածնատոմի տարրերի համար (1) բանաձևը կարելի է կիրառել, եթե համարիչը քազմապարկենք Z^2 -ով: Մյուս տարրերի համար կան թվային լուծումներ, ուստի այն ներկայացնենք լոկ որակապես: Ինչպես տեսնում ենք (1)-ից, n -րդ էներգիական վիճակի էներգիայի արժեքը որոշում է այդ վիճակի համարը՝ n -ը, որը կոչվում է էներգիայի քվանտային թիվ (այն կոչվում է նաև գլխավոր քվանտային թիվ): Էլեկտրոնը միջուկի շուրջը կատարում է պտտական շարժում, ուստի ունի պտտման մոմենտ: Քվանտամեխանիկական քննարկումը ցույց է տալիս, որ n -ի (այն է, էներգիայի) ամեն արժեքի դեպքում կան n հար սրացիոնար իրարից տարբեր ուղեծրեր, որոնց համապատասխանում են մոմենտի n հար տարբեր արժեքներ, որոնք ներկայացնենք (այսինքն, համարակալելիք) մոմենտի l քվանտային թվով՝

$l=0,1,2,\dots,(n-1)$: Նման կերպ l -ի ամեն արժեքի դեպքում մոմենտի պրոյեկցիան ընդունում է $(2l+1)$ փարբեր հավասարահեռ արժեքներ, որոնք նկարագրենք m քվանտային քվով՝ $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$: Էլեկտրոնը բացի ուղեծրային l մոմենտից, ունի նաև սեփական s մոմենտ, որը դասական ֆիզիկայում (և ընդհանրապես մակրոաշխարհում) չունի իր նմանակը և ընդունում է միայն ± 1 : Այսպիսով, (n, l, m, s) քվանտային քվերի ամեն մի փարբեր քառյակին մի քվանտային վիճակ է համապատասխանում: Ուստի ամեն n -ի դեպքում գոյություն ունեն $2n^2$ վիճակներ, որոնք կարող են էլեկտրոններով զբաղեցվել:

Եթե $n=1$ (առաջին թաղանթ) Մենդելեևի աղյուսակի առաջին տողն է, $l=0, m=0, s = \pm 1$, ուստի կա 2 վիճակ: Հեղուքար տողում 2 փարբեր են՝ ջրածինը և հելիումը:

Եթե $n=2$ (2-րդ թաղանթ) Մենդելեևի աղյուսակի 2-րդ տողն է, $l=0$ և $m=0$ և $s = \pm 1, l=1$ և $m = -1, 0, 1, s = \pm 1$ ուստի 2-րդ թաղանթում կա $2+6=8$ վիճակ: Հեղուքար 2-րդ տողում կա 8 փարբեր, որոնք ունեն 3, 4, ..., 10 էլեկտրոններ: Դրանցից երկուսը $n=1$ թաղանթի 2 վիճակներն են լրացրել, մնացածը $n=2$ թաղանթի 8 վիճակներն են լրացրել՝ լիթիում, բերիլիում, ..., նեոն: Նման կերպ n -ի մյուս արժեքներն են դիտարկվում: Արդյունքում կարող ենք պատկերացնել աղյուսակի կառուցվածքը: Էլեկտրոնները սկսում են ցածր էներգիայով վիճակները զբաղեցնել, այսինքն, n -ի փոքր արժեքներից են լրացվում: Երբ փրված n թաղանթը լրացվում է, էլեկտրոնները սկսում են լրացնել հաջորդ թաղանթի վիճակները: n թաղանթը անվանենք փակ, եթե նրա բոլոր $2n^2$ վիճակները լցված են, այսինքն, այնպեղ կան $2n^2$ էլեկտրոններ: Վերջին ոչ դատարկ թաղանթը կոչվում է արտաքին: Այն փարբերը, որոնց արտաքին թաղանթը փակ է, իներտ գազերն են՝ հելիում, նեոն, արգոն, կրիպտոն, քսենոն և ռադոն: Ռադոնը նաև ռադիոակտիվ է և խիստ վտանգավոր. այն ծանր գազ է և դժվար է հեռացնել փակ փարածքներից:

Քանի որ արտոմում էլեկտրոնների թիվը հավասար է արտմի կարգաթվին, ապա ըստ վերը շարադրվածի կարող ենք քիմիական փարբերը դասակարգել և դասավորել Մենդելեևի աղյուսակում: Դա այսպեղ չենք կարող շարադրել առանց նախնական որոշ գիտելիքների, միայն նշենք, որ քիմիական փարբերի վալենտականությունը հավասար է արտաքին թաղանթի էլեկտրոնների քվին կամ 8-ից հասնած այդ թիվը:

Ֆիզիկայի ամենադժվար հարցերից մեկը փոխազդեցության պոպուլեցիալ էներգիայի սրացումն է, որը սպառնում է Կլյալ օբյեկտների մակրո-

համակարգի գոյությունն ու շեղումները: Մինչև հիմա դեռևս վերջնականորեն պարզված չէ միջուկային ուժերի առաջացրած այն պոտենցիալը, որը նուկլոններին պահում է միջուկում: § 46-ում երևույթաբանական դասարդություններով փորձերից որոշեցինք այն պոտենցիալը, որի շնորհիվ պրոնները կազմում են մակրոնարմին: Սակայն մենք դրան բացատրություն չենք տվել: Այդ բացատրությունը տալիս է քվանտային մեխանիկան, բայց այնպիսի սկզբունքների միջոցով, որոնք դասական ֆիզիկայում չկան: Սակայն առանց այդ սկզբունքների հնարավոր չէ բացատրել, թե ինչու՞ է թթվածինը մոլեկուլի կամ օզոնի ձևով հանդես գալիս, թե ինչու՞ է ածխածինը գրաֆիտի, ադամանդի և գրաֆենի ձևով հանդես գալիս, թե ինչու՞ է սառույցը թեթև ջրից, թե ինչու՞ երկաթը, սիլիցիումը կամ պղինձը մոլեկուլի ձևով չեն և այլն:

Քվանտային մեխանիկայում գործում է նույնականության սկզբունքը, ըստ որի էլեկտրոններն իրարից ջոկելի չեն, պրոտոններն իրարից ջոկելի չեն և այլն: Դա բերում է նրան, որ եթե ատոմները որոշ հեռավորությունից ավելի մոտիկ են, ապա այդ դեպքում էլեկտրոնը միաժամանակ պատկանում է բոլոր ատոմներին (կարծես նա գտնվում է միաժամանակ բոլոր ատոմների մոտ): Արդյունքում առաջանում են, այսպես կոչված, փոխանակային ուժեր, որոնք էլ ապահովում են պոտենցիալի մեզ ծանոթ բնույթը և կազմավորում են քիմիական կապերը: Այդ կապերից պարզագույնն են Վան դեր Վաալսյան կապերը, իոնական կապերը, կովալենտ կապերը և մետաղական կապերը: Միայն իոնական կապերին է հնարավոր բացատրություն տալ՝ դասական եղանակով բնորոշելով դրանց որպես կարգավորված տարանուն լիցքերի կուլոնյան փոխազդեցություն:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Հասկացե՞լ եք քվանտային մեխանիկայի դերը աշխարհի կառուցվածքը և զարգացումը բացահայտելու և բացատրելու հարցերում:
2. Հասկացե՞լ եք քվանտային մեխանիկայի դերը էներգիայի տարատեսակ աղբյուրների գոյության հարցում:
3. Հասկացե՞լ եք միջուկային էներգետիկայի օգուտներն ու վնասները:
4. Յուրացրե՞լ եք էներգիայի տարբեր տեսակների ստացման էկոլոգիական խնդիրները:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Նկարագրե՞ք ատոմների և մոլեկուլների կազմավորման քվանտային բացատրությունը:
2. **Խմբային առաջադրանք:** Վերլուծե՞ք և փորձե՞ք ըստ այս կամ այն հատկության համակարգել էներգիայի աղբյուրների տեսակները: Էներգիայի ստացման ո՞ր տեսակն էք համարում հետագայում անթույլատրելի, ո՞ր տեսակը հեռանկարային, ո՞ր տեսակը ռազմավարական, ո՞րը աստղային: Պատասխանը փաստարկե՞ք և տրամաբանորեն հիմնավորե՞ք:

§58. Տիեզերքի կառուցվածքը և էվոլյուցիան: Մեծ պայթյունի տեսությունը: Աշխարհի ժամանակակից պատկերը

Տիեզերքը մատերիայի բազմապիսի գոյաձևերով դրսևորված աներևակայելի մեծ, անվերջ աշխարհն է: Արդի ֆիզիկական փորձնական տվյալների տրամաբանական, որակական ու քանակական վերլուծությունների միջոցով հիմնականում պարզել է և նաև շարունակում է պարզել տիեզերքի կառուցվածքը և էվոլյուցիան՝ իր հիմնական օրենքներով ու օրինաչափություններով հանդերձ:

Դիտումների և փորձարարական տվյալներ ստանալու համար այժմ օգտագործում են Երկրի վրա տեղադրված գերզգայուն հսկա դիտակներ և դիտակների կոռելացված համակարգեր: Ընդ որում, Տիեզերքից եկող ազդանշաններ են ընդունում և չափումներ կատարում ռադիոհաճախականություններից մինչև ռենտգենյան ճառագայթները ներառյալ բոլոր տիրույթներում: Երկրային դիտումներին խոչընդոտում են Երկրի մթնոլորտի կողմից ինֆորմացիա կրող ազդանշանի կլանումը, ցրումն ու աղճատումը: Այդ պատճառով մի քանի տասնյակ տարի առաջ սկսվեցին նաև արտատերկրային դիտումներ և գիտափորձեր իրականացնել արհեստական արբանյակներով և հատուկ դիտակներով, որպիսիք են, օրինակ, Լուսնագնացը, Վոյաջերը և Հաբլի դիտակը: Արդյունքներն ավելի քան արժեքավոր են: Հայտնաբերվեցին նոր երկնային օբյեկտներ, նոր երևույթներ, ստուգվեցին տեսության բազմաթիվ կանխատեսումներ և նաև որոշ դժվարություններ առաջացան:

Տեսութունը զարգանում էր հարաբերականության ընդհանուր տեսության ու քվանտային ֆիզիկայի հիման վրա: Հետաքրքրական մի հանգամանք կա: Դասական ֆիզիկան մակրոաշխարհին էր վերաբերում մինչև նախորդ դարի սկիզբը, երբ մի շարք դժվարությունների հրահրմամբ զարգացումը շարունակվեց երկու հակառակ ուղղություններով՝ մեգաաշխարհի և միկրոաշխարհի: Եվ շուրջ մեկ դար հետո դրանք կրկին միավորվեցին տիեզերաֆիզիկայում: Դրա հիմքում երեք ընդհանուր հարցեր են. **ա.** գրավիտոնների հայտնաբերումը և, ըստ այդմ էլ, գրավիտացիայի ներառումը Դաշտի Միացյալ Տեսության մեջ, որին անվանում են Մեծ Միավորում, **բ.** աստղերի միջուկները հանդիսանում են տարրական մասնիկների գերտաք պլազմա և նրանց հատկությունները, բացի գրավիտացիայից, պայմանավորված են միկրոաշխարհի փոխազդեցություններով, **գ.** մութ էներգիան և մութ մատերիան հավակնում են միկրոաշխարհի և մեգաաշխարհի ընդհանուր նախահայրը լինել:

Տիեզերքը շատ բարդ կառուցվածք ունի և գիտությունը բացահայտել է բավականին կառուվածքային միավորներ և դրանց հատկությունները, բայց շատ ավելին մնացել է չբացահայտված ու անհասկանալի, կամ էլ դեռևս չստուգված: Սակայն հավաստի է, որ Տիեզերքը կարելի է համարել ինքնանման բազմամակարդակ գոյակցություն, բայց քառաչափ աշխարհում: Դա պետք է հասկանալ այսպես: Ատոմական մակարդակում միջուկը և նրա շուրջը պտտվող մոլորակները՝ էլեկտրոնները, հոծ ու համասեռ օբյեկտներ են, որոնցից կազմված է մակրոաշխարհը: Աստղային մակարդակով ևս միջուկը՝ աստղը, և նրա շուրջը պտտվող մոլորակները հոծ ու համասեռ օբյեկտներ են, որոնցից կազմված են գալակտիկաները: Գալակտիկաների մակարդակով միջուկը և նրա շուրջը պտտվող աստղերը հոծ ու համասեռ օբյեկտներ են, որոնցից կազմված են մեգագալակտիկաները և այդպես շարունակ: Բոլոր մակարդակներում այդ օբյեկտների տարածական բաշխումներն անհամասեռ և անիզոտրոպ են փոքր մասշտաբներում, համասեռ և իզոտրոպ են մեծ մասշտաբներում: Այս հանգամանքը հիմք է տալիս վարկածելու, որ այն օրենքները, որոնք գործում են այստեղ, նույնկերպ գործում են նաև ցանկացած հեռու մասերում, ասենք, այլ գալակտիկաներում:

Տեսությունից հետևում էր, որ Տիեզերքը չի կարող ստացիոնար վիճակում գտնվել, այն կամ պիտի ընդարձակվի, կամ պիտի սեղմվի: 1929 թ. Հաբլի (որի անունով լավագույն դիտակն է կոչվում) դիտումները ցույց տվեցին, որ Տիեզերքը հիմա ընդարձակվում է, այն էլ հսկայական արագությամբ: Նա չափեց շատ հեռու աստղերից ու գալակտիկաներից մեզ հասնող ճառագայթները և պարզեց, որ դրանք շեղվում են դեպի երկարալիք կողմը հեռավորությանը համեմատական կեր-

պով: Այդ շեղման պատճառը ճառագայթող աղբյուրի շարժումն է, որը եթե մոտենում է, ապա ալիքի երկարությունը փոքրանում է, և մեծանում է, եթե աղբյուրը հեռանում է: Հաբլը հաստատեց, որ ինչքան հեռու է օբյեկտն, այնքան արագ է հեռանում. $v = HL$, որտեղ H -ը Հաբլի հաստատումն է և հավասար է $25 \cdot \text{վ}^{-1}$: Ըստ էության H -ի հակադարձ մեծությունը հենց Տիեզերքի տարիքն է, որը մոտ 13,7 միլիարդ տարի է ըստ այդ չափման: Եթե vc , ապա կստանանք նաև Տիեզերքի շառավիղը մոտ 10^{28} սմ: Ամենից հետաքրքիրն այն է, որ այդ ընդարձակումը տեղի ունի Տիեզերքի ցանկացած կետի նկատմամբ, որը հնարավոր է բացառապես Տիեզերքի քառաչափության դեպքում:

Տիեզերքի կարևոր կառուցվածքային տարրը աստղն է, աստղ է նաև Արեգակը: Աստղերը նյութի շատ մեծ կուտակումներ են, որոնք գտնվում են հիմնականում պլազմային վիճակում: Կան արեգակից շատ փոքր, բայց և միլիոնավոր անգամ մեծ աստղեր, ինչը անուղղակի վկայում է նրանց ձևավորման ու զարգացման տարբեր ձևերի և փուլերի մասին: Իրենց հսկայական զանգվածի շնորհիվ նյութի մասնիկները ձգվում և պահվում են աստղում, չնայած բարձր ջերմաստիճանի պատճառով ունեն շատ մեծ կինետիկ էներգիա: Աստղում պլազմայի ճնշումը համակշռվում է գրավիտացիայի ուժերով: Աստղերի մի մասում արտադրվում է սեփական էներգիա աստղի միջուկում ընթացող ջերմամիջուկային ռեակցիաների շնորհիվ: Աստղերում նաև կատարվում է նուկլեոսինթեզ և առաջանում են ավելի ծանր միջուկով ատոմներ: Երբ աստղում վերջանում է միջուկային վառելիքը, օրինակ, ջրածինը, էներգիա արտադրվում է նրա թաղանթային մասում ածխածնային ցիկլով և աստղը վերածվում է կարմիր հսկայի: Հաշվարկը ցույց է տալիս, որ մեր Արեգակը կվերածվի **կարմիր հսկայի** 8 միլիարդ տարի հետո, ընդ որում նրա չափերը կաճեն տասնյակ անգամներ, իսկ պայծառությունը՝ հարյուրավոր անգամ: Այդպիսի հսկաները շատ արագ սպառում են իրենց վառելիքի պաշարը, կորցնում են իրենց զանգվածի զգալի մասը և վերածվում են **սպիտակ թզուկների**: Քանի որ դրանք վառելիք չունեն, ապա սառչում են և փոքրանում՝ դառնալով Երկրագնդի չափերի: Բայց սպիտակ թզուկների զանգվածը փոքր չէ արևի զանգվածից, ուստի նյութը գտնվում է շատ խիտ վիճակում, որի տեսակարար խտությունը միլիոնավոր անգամ մեծ է ջրի խտությունից: Սակայն որոշ կարմիր հսկաներ պայթում են՝ ստեղծելով միզամածություններ: Պայթյունից մնացած մասը եթե Արեգակի մոտ 1,5 զանգվածի չափ է լինում, ապա նա չի կարող սպիտակ թզուկ դառնալ, այլ սեղմվում է գրավիտացիայի ուժերից մինչև 10-20 կմ գնդի գերխիտ նյութով՝ 10^{18} կգ/մ³ խտությամբ (ատոմի միջուկից ա-

վելի խիտ), որի մեջ էլեկտրոնն ու պրոտոնը միաձուլվում են՝ դառնալով նեյտրոն: Այդ աստղերը կոչվում են **նեյտրոնային**: Իսկ եթե զարգացման վերջին փուլում վառելիքը սպառելուց հետո աստղի զանգվածը Արեգակի 1,6 զանգվածից մեծ է լինում, ապա նա այնքան արագ է սեղմվում՝ փոքրացնելով շառավիղը, որ գրավիտացիայի ուժերին ոչ մի մարմին չի կարողանում հաղթել և հեռանալ աստղից: Անգամ լույսին դա չի հասցողվում և աստղը դառնում է անտեսանելի: Դրան անվանում են **սև խոռոչ**. այն կլանում է ամեն ինչ, որ ընկնում է նրա դաշտը: Աստղերը կազմում են աստղակույտեր և գալակտիկաներ: Գալակտիկայի միջուկը սովորաբար սև խոռոչ է լինում: Մեր գալակտիկան Ճիր Կաթինն է (Հարդագողի ճանապարհ է նաև կոչվում):

Գալակտիկաները կազմում են մեզագալակտիկաներ և այդպես շարունակ:

Աստղերն ունեն մոլորակային համակարգ, իսկ մոլորակների մեծ մասն ունեն արբանյակներ: Բացի այդ, կան փոքր մոլորակներ՝ աստերոիդներ, գիսաստղեր, ասուպներ, մետեորիտներ և այլն: Արեգակնային համակարգում կան 9 մոլորակներ (իսկ 10-րդը դեռ չի հաստատվել), որոնցից մեկը Երկիր մոլորակն է իր Լուսին արբանյակով: Արեգակնային համակարգում կան նաև շուրջ 2000 մարմիններ, որոնք կարող են ինչ-որ ժամանակ հատել Երկրի ուղեծիրը:

1948 թ. Գամովը ֆոնային իզոտրոպ՝ մնացորդային ճառագայթում կանխատեսեց որպես հետևանք Մեծ Պայթյունի՝ Տաք Տիեզերքի վարկածը, ըստ որի **եզակի** կետում նախակուտակ նյութը պայթել է և առաջացրել արդի Տիեզերքը: Մնացորդային ճառագայթումը չափվել է, այն համարժեք է 2,7 Կ ջերմաստիճանի: Ըստ Վ. Համբարձումյանի եզակիություններ շատ կան բաշխված ողջ Տիեզերքով և պայթյուններ տեղի են ունեցել, տեղի են ունենում հիմա և նաև տեղի կունենան միշտ: Աստղաֆիզիկայի հայկական դպրոցը՝ Վ. Համբարձումյան, Գ. Սահակյան, Գ. Մարգարյան և տասնյակ արդի գիտնականներ, առաջավոր դիրքերում են գործել և գործում են:

Աշխարհի ժամանակակից պատկերը հետևյալն է:

Նյութական աշխարհի կառուցվածքի հիմքը կազմում են քվարկները, պարտոնները, գլյուոնները և նրանց հակամասնիկները:

Նյութական աշխարհի գոյության հիմքը Տիեզերքում գործող չորս հիմնարար փոխազդեցություններ են.

- հեռազդու գրավիտացիոն փոխազդեցությունը,
- հեռազդու էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությունը,
- կարճազդու թույլ փոխազդեցությունը,
- կարճազդու ուժեղ փոխազդեցությունը:

Բոլոր չորս փոխազդեցություններն էլ իրականացվում են **մերձազդեցությամբ**, որոնց կրողները հեռագրու դեպքում հանգստի զանգված չունեցող բոզոններ են՝ գրավիտոնն ու ֆոտոնը, իսկ կարճագրու դեպքում զանգվածով ֆերմիոններն են:

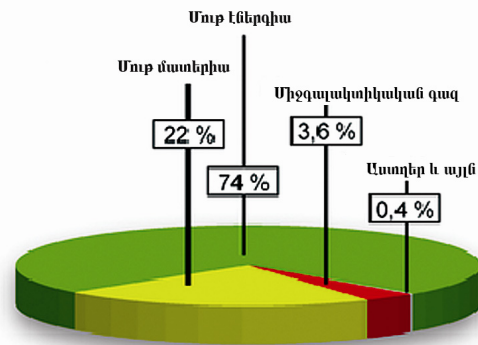
Մատերիան և քառաչափ տարածություն-ժամանակը միասնական են, որը կազմում է **Տիեզերքը**: Քառաչափ տարածություն-ժամանակը չի ներառում իր մեջ դասականը, որպես անքակտելի ենթամաս: Իրարից և մատերիայից անկախ տարածությունը և ժամանակը հանդիսանում են լոկ մոտավոր սահմանային դեպքեր:

Բնության երևույթներն ընթանում են միկրոաշխարհի տրամաբանությամբ, որը ընդհանուր է և իր մեջ ներառում է դասական տրամաբանությունը որպես իր անքակտելի մաս ու ենթատրամաբանություն:

Բնության օրենքներն օբյեկտիվ են և այդպես էլ ներկայացված են ֆիզիկական տեսություններում՝ քվանտային մեխանիկայում, հարաբերականության հատուկ և ընդհանուր տեսություններում, Դաշտի Միասնական տեսությունում և, վերջապես, ռելյատիվիստական քվանտային ֆիզիկայում: Այս ֆիզիկական տեսությունները նկարագրում են աշխարհի վերը բերված պատկերը, հենվում են փորձի արդյունքների վրա և գործում են քվարկից մինչև սև խոռոչներ, որոնք, սակայն, հայտնաբերված են իրենց ազդեցություններով: Հավանաբար, մեր իմացած ֆիզիկական օրենքները ճշգրտման կարիք ունեն սև խոռոչների մերձակա և ենթաքվարկային տիրույթներում:

Տիեզերքի կառուցվածքը հետզհետե ավելի հստակ է ուրվագծվում, ֆիզիկան հիմա արդեն ջանում է վերջնականապես հաստատել տիեզերքի բաղադրությունը, որը բերված է գծապատկերում: Դեռևս միայն պաշարի 4%-ն է օգտագործվել և դեռ երկար ճանապարհ ունի անցնելու Տիեզերքն իր դատարկությունները լցնել-հարդարելու համար:

Տիեզերքի ամբողջական էվոլյուցիան և արդի զարգացումները, սկսած նրա ծագումից մեկ միկրովայրկյան հետո պահից, ֆիզիկան պարզել է և շարունակում է այն ճշգրտել, նաև կանխատեսել հեռավոր ապագան, իսկ հիմա էլ ձեռնամուխ է եղել ընդհուպ մինչև ծագման ճիշտ պահն ու ձևը պարզելուն: Հիմա տիրում է այն



Նկար 1

վարկածը, որ մեր Տիեզերքն առաջացել է մասնիկ-հակամասնիկ համակարգի անհամաչափությունից, ֆլուկուացիայի շնորհիվ: Արդեն իսկ արագացուցիչներում ստացվել է «երկարակյաց» հակաջրածին (հակապրոտոն), որը հուսադրող փաստ է այդ վարկածի ճշգրտման համար:

Աշխարհի ժամանակակից պատկերը լրացնում են Տիեզերքի անհուններում ընթացող բազմազան ու բազմաթիվ, անզամ ֆանտաստիկ երևույթները: Այսօր փորձով հաստատված և արդեն իսկ կյանք մտած իրականություն են հեռակրման (տելեպորտացիայի) երևույթը, քվանտային համակարգիչները, բարձրակարգ մտածողության ինքնաբերաբար և արհեստական ստացումը, նույնիսկ քննարկվում են արտագալակտիկական ու ներգալակտիկական ուղևորությունների և ժամանակի մեջ ճանապարհորդելու հարցերը: Ամեն ինչ ապագան ցույց կտա:

Հիմա նոր փորձեր են դրվում և բազմաթիվ նորերն էլ նախագծվում են քվարկների հայտնաբերման, վակուումի հատկությունների, նոր միջուկներ սինթեզելու և Տիեզերքի ստեղծման գաղտնիքները բացահայտելու վերաբերյալ:

Գծապատկերում բերված է Աշխարհի ժամանակակից պատկերը, որը դեռևս վարկածային է և հաստատման կարիք ունի:

Բնությունը դեռևս շարք գաղտնիքներ է քաքցնում մարդուց, իսկ ֆիզիկան ընդունում է սպեղծագործության այդ մարդասիրավերը:

Ինքնաստուգման հարցեր.

1. Յուրացրեցի՞ք ինչ է աստղը, մոլորակը, գալակտիկան:
2. Պատկերացում կազմեցի՞ք Տիեզերքի կառուցվածքի մասին:
3. Հասկացա՞ք աստղերի և Տիեզերքի էվոլյուցիան:
4. Պատկերացնո՞ւմ եք Տիեզերքի ընդարձակումը:

Ստուգողական հարցեր և վարժություններ.

1. Բացատրե՞ք ի՞նչ են աստղը, կարմիր հսկան, սպիտակ թզուկը, նեյտրոնային աստղը, սև խոռոչը:
2. Հարլի հաստատունից կարո՞ղ եք գնահատել Տիեզերքի զանգվածը, եթե տիեզերքի տեսակարար խտությունը d է:
3. Հաշվե՞ք Երկրի չափերով նեյտրոնային աստղի զանգվածը՝ համարելով խտությունը հավասար 10^{18} կգ/մ³ :

ԽՆԳԻՐՆԵՐ

1. Որոշել $3,3 \cdot 10^{-7}$ մ ալիքի երկարություն ունեցող միագույն լույսի ֆոտոնի էներգիան:
2. $15 \cdot 10^{-10}$ մ ալիքի երկարությամբ ռենտգենյան ճառագայթման ֆոտոնի էներգիան քանի՞ անգամ է մեծ $4 \cdot 10^{-7}$ մ ալիքի երկարությամբ տեսանելի լույսի ֆոտոնի էներգիայից:
3. Առաջին ֆոտոնի էներգիան $3,3 \cdot 10^{-20}$ Ջ-ով մեծ է երկրորդ ֆոտոնի էներգիայից: Գտնել առաջին ֆոտոնի հաճախությունը, եթե երկրորդ ֆոտոնի հաճախությունը հավասար է $3,2 \cdot 10^{14}$ Հց-ի:
4. Որոշել լամպի հզորությունը, եթե այն 1վ-ում արձակում է 10^{20} ֆոտոն: Ճառագայթման ալիքի երկարությունը $6,6 \cdot 10^{-7}$ մ է:
5. Մթության մեջ երկար ժամանակ մնացած, մթությանը վարժված աչքը $5 \cdot 10^{-7}$ մ ալիքի երկարություն ունեցող լույսն ընկալում է $2,1 \cdot 10^{-17}$ վտ հզորության դեպքում: Այս դեպքում քանի՞ ֆոտոն է ընկնում ցանցաթաղանթի վրա 1վ-ում:
6. Ինչի՞ է հավասար տվյալ մետաղի համար էլեկտրոնի ելքի աշխատանքը, եթե լուսաէֆեկտի դեպքում $8 \cdot 10^{-19}$ Ջ էներգիա ունեցող լույսի քվանտի (ֆոտոնի) ազդեցության տակ մետաղի մակերևույթից դուրս թռչող էլեկտրոնի կինետիկ էներգիան հավասար է $2 \cdot 10^{-19}$ Ջ-ի:
7. Ինչ-որ մետաղի համար էլեկտրոնի ելքի աշխատանքը հավասար է $6,6 \cdot 10^{-19}$ Ջ-ի: Գտնել լույսի ալիքի առավելագույն երկարությունը, որը կառաջացնի լուսաէֆեկտ:
8. Մետաղի վրա ընկնող լույսի հաճախությունը 3 անգամ մեծացնելու դեպքում ֆոտոէլեկտրոնների պահող լարումը մեծանում է 5 անգամ: Ընդունելով ընկնող լույսի հաճախությունը $6 \cdot 10^{18}$ Հց, որոշել տվյալ մետաղի համար լուսաէֆեկտի «կարմիր» սահմանի հաճախությունը:
9. Որոշել ֆոտոնի զանգվածը, եթե նրա հաճախությունը հավասար է $3,6 \cdot 10^{14}$ Հց-ի:
10. Որքա՞ն է ֆոտոնի իմպուլսը, եթե ալիքի երկարությունը $5,5 \cdot 10^{-7}$ մ է:
11. Ֆոտոնի էներգիան $6 \cdot 10^{-19}$ Ջ է: Ինչի՞ է հավասար նրա իմպուլսը:
12. Երբ ատոմում էլեկտրոնը մի ստացիոնար ուղեծրից անցնում է մյուսին, ճառագայթվում է $0,6 \cdot 10^{-6}$ մ ալիքի երկարությամբ ֆոտոն: Ի՞նչ էներգիա է կորցնում այդ ժամանակ ատոմը:

13. Երբ ատոմում էլեկտրոնը մի ստացիոնար շրջանային ուղեծրից անցնում է մյուսին, ճառագայթվում է $4 \cdot 10^{-19}$ Ջ էներգիայով ֆոտոն: Որոշել սպեկտրի այդ գծի ալիքի երկարությունը:
14. Ջրածնի ատոմում էլեկտրոնային ուղեծրի շառավիղը $1,6 \cdot 10^{-10}$ մ է: Ինչի^օ է հավասար էլեկտրոնի շարժման կենտրոնաձիգ արագացումն այդ ուղեծրի վրա:
15. Ջրածնի ատոմի մեջ էլեկտրոնի առաջին ուղեծրի շառավիղը հավասար է $0,5 \cdot 10^{-10}$ մ-ի: Որոշել այդ ուղեծրով հավասարաչափ շարժվող էլեկտրոնի արագությունը:

Խնդիրների պատասխանները.

Բաժին 3 (Գլուխ 10).

1. 50 մ: 2. 0.8 մ: 3. 45^0 : 4. 35^0 : 5. 4 մ/վ: 6. 1.4: 7. 15^0 : 8. 60^0 : 9. 4.5 մ: 10. 0.3 մ:

Բաժին 4 (Գլուխ 11-12).

1. $12.04 \cdot 10^{23}$: 2. $11.7 \cdot 10^{19}$: 3. 1.5 : 4. $5 \cdot 10^5$ Պա: 5. 300 Կ: 6. 50 Կ : 7. 50 %: 8. 0.104 կգ:
9. $4.1 \cdot 10^{22}$: 10. 588 Ջ: 11. 25%: 12. 280 Կ: 13. 0.4: 14. 0.25: 15. 819 Կ:

Բաժին 5 (Գլուխ 13-14).

1. $v = \sqrt{2}$ c, 36 տարի հետո: 2. $v = c \sqrt{1 - m_e/m_p}$: 3. $1,11 \cdot 10^{-22}$ կգ և $2 \cdot 10^{-22}$ կգ.մվ:
4. $v = \frac{\sqrt{7}}{4}$ c: 5. 1մ բարձրությամբ և $1/\sqrt{0,19}$ մ երկարությամբ հիմքով հորիզոնական դրված զուգահեռագիծ: 6. 7,7%-ով: 7. $1,37 \cdot 10^{-14}$ Ջ և $8,2 \cdot 10^{-13}$ Ջ:

Բաժին 6 (Գլուխ 15-18).

1. $6 \cdot 10^{-19}$ Ջ: 2. 4000: 3. $3.7 \cdot 10^{14}$ Հգ: 4. 30 Վտ: 5. 53: 6. $6 \cdot 10^{-19}$ Ջ: 7. $3 \cdot 10^{-7}$ մ:
8. $3 \cdot 10^{18}$ Հգ: 9. $2.64 \cdot 10^{-36}$ կգ: 10. $1.2 \cdot 10^{-27}$ կգ մ/վ: 11. $20 \cdot 10^{-28}$ կգ մ/վ: 12. $3.3 \cdot 10^{-19}$ Ջ:
13. $4.95 \cdot 10^{-7}$ մ: 14. $9.9 \cdot 10^{21}$ մ/վ²: 15. $23 \cdot 10^5$ մ/վ:

ԲՈՎԱՆԳԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Նախաբան 3

Գլուխ 9. Էլեկտրադինամիկա (շարունակություն)

§30 Էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթ 4

§31 Էլեկտրամագնիսական դաշտ: Էլեկտրամագնիսական ալիքներ 10

Գլուխ 10. Օպտիկական երևույթների ֆիզիկա

§32 Լույսի մասին պատկերացումների զարգացումը 17

§33 Երկրաչափական օպտիկայի տարրերը 22

§34 Երկրաչափական օպտիկայի տարրերը (շարունակություն) 28

§35 Լույսի ալիքային հատկությունները 33

§36* Լույսի անդրադարձման և բեկման երևույթները
ալիքային տեսությամբ: Ամփոփում. 38

Բաժին 4 ՄԱԿՐՈՂԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱ

Գլուխ 11. Նյութի վիճակներ

§37 Նյութի կառուցվածք: Բրոունյան շարժում և դիֆուզիայի երևույթ 43

§38 Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնադրույթներ 50

§39 Նյութի ագրեգատային վիճակներ: Վիճակի հավասարում 54

Գլուխ 12. Ջերմադինամիկայի հիմունքներ

§40 Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը 60

§41 Ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքը 64

Քաժին 5 ՌԵԼՅԱՏԻՎԻՍԱԿԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐ

Գլուխ 13. Ռեյատիվիստական կինեմատիկայի տարրերը

§42 Լույսի արագություն	73
§43 Հարաբերականության հատուկ տեսության կանխադրույթները	77
§44 Ժամանակը և տարածությունը հարաբերականության հատուկ տեսության տեսանկյունից	80

Գլուխ 14. Ռեյատիվիստական դինամիկայի տարրերը

§45 Էներգիայի և զանգվածի կապը.	84
§46 Աշխարհի ռեյատիվիստական պատկերը	87

Քաժին 6 ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱ

Գլուխ 15. Միկրոաշխարհի երևույթներ: Ատոմ

§47 Դասական ֆիզիկայի ճգնաժամը: Ֆոտոէլեկտրական երևույթ.	90
§48 Էլեկտրոնի հայտնագործումը: Ռենտգենյան ճառագայթում.	97
§49 Ռադիոակտիվության հայտնագործումը: Ատոմի մոլորակային մոդելը	101

Գլուխ 16. Քվանտային ֆիզիկայի տարրերը

§50 Բորի կանխադրույթները: Ջրածնի ատոմի էներգիական սպեկտրը	108
§51 Լուի դը Բրոյլի վարկածը և նրա փորձնական հիմնավորումը	113
§52 Լույսի ճառագայթում և կլանում: Սպեկտրալ վերլուծություն	122

Գլուխ 17. Միջուկի և տարրական մասնիկների ֆիզիկայի տարրերը

§53 Ատոմի միջուկի կառուցվածքը: Միջուկային ուժեր: Ատոմի միջուկի տրոհում	129
§54 Շղթայական ռեակցիա: Կառավարելի և անկառավարելի միջուկային ռեակցիաներ	137
§55* Ձերմամիջուկային երևույթներ: Գերժամր միջուկներ Յու. Հովհաննիսյանի աշխատանքները և պարբերական օրենքի ընդհանրացումը.	144

Գլուխ 18. Աշխարհի ժամանակակից պատկերը

§56* Տարրական մասնիկներ: Քվարկներ:	
Հիմնարար փոխազդեցություններ	153
§57 Էներգետիկան և քաղաքակրթության զարգացման հեռանկարները	156
§58 Տիեզերքի կառուցվածքը և էվոլյուցիան: Մեծ պայթյունի տեսությունը:	
Աշխարհի ժամանակակից պատկերը	163
Խնդիրների պատասխանները	171

ԿԱՐԱՅԱՆ ՀԱՍԼԵՏ ՍՈՒՐԵՆԻ
Ֆիզմաթ.գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր, ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ

ՖԻԶԻԿԱ 11

Ավագ դպրոցի հումանիտար հոսքի համար

Ընդհանուր խմբագրությամբ՝
Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Ռ. ԱԼԱՎԵՐԳՅԱՆԻ

Հրատարակիչ-տնօրեն՝ Ս. Չունգուրյան
Սրբագրիչ՝ Ծ. Հովհաննիսյան
Համակարգչային ձևավորող՝ Հ. Աբելյան

Չափսը՝ 70 100 1/16:
Թուղթը՝ օֆսեր: Տպագրությունը՝ օֆսեր:
11 տպ. մամուլ: Պատվեր՝ 1308:



«ԱՍՏԳԻԿ ԳՐԱՏՈՒՆ» հրատարակչություն
0009, Երևան, Գևորգ Քոչարի փ. 21
Հեռ.՝(+374 10) 52-88-00, E-mail: ast_gratun@yahoo.com
Տպագրված է «ՏԻԳՐԱՆ ՄԵԾ» ՓԲԸ տպարանում