

Ý.JEPBAROW

UMUMY FIZIKI TEJRIBELER

Atom we ýadro fizikasy

**Ýokary okuw mekdepleriniň
talyplary üçin okuw gollanmasy**

Türkmenistanyň Bilim ministrligi tarapyndan hödürlenildi

AŞGABAT - 2010

**Ý.Jepbarow. Umumy fiziki tejribeler.
Atom we ýadro fizikasy.
Ýokary okuw mekdepleriniň talyplary üçin
okuw gollanmasy. – A., 2010.**

Gollanmada atom we ýadro fizikasyna degişli tejribe işleriniň nazaryýeti, tejribäniň netijelerini işläp taýýarlamak üçin zerur bolan formulalaryň getirilip çykarylyşy, işleriň ýerine ýetirilişi, alynan ölçegleri işlemek barada görkezmeler we barlag üçin soraglar getirililen. Şeýle hem, tejribe geçirmek üçin gerek abzallaryň we enjamlaryň sanawy, işiň maksady we meýilnamasy her işiň başynda getirilýär. Maglumatlaryň şeýle tertipde ýerleşdirilmegi talyplara tejribe işini ýerine ýetirmekde ýeňillikler döredýär.

SÖZBAŞY

Döwletiň ösüşiniň ýokary depgini, ýaşaýyş-durmuş derejesi ýurtda alnyp barylýan bilim-ylm syýasaty bilen berk baglanyşyklydyr. Şoňa görä-de, biziň ýurdumyzda ýaşlaryň döwrebap bilim-terbiýe almagy üçin ähli zerur şertler döredildi. Ýurt baştutanymyz okuw mekdepleriniň döwrebap okuw kitaplary we gollanmalary bilen doly üpjün edilmegini nygtaýar. Sebäbi, Garaşsyz, baky Bitarap Türkmenistanyň geljekki ösüşleri ýaşlaryň alyan ylm-bilim derejeleri bilen göniden-göni baglanyşyklydyr. Ýaşlaryň ylm-biliminiň dünýä derejeliligi ýurdumyzyn ösüşiniň dünýä derejeliligi bilen göniden-göni utgaşyklydyr. Şoňa görä-de, bilim, ylm ulgamyndaky özgertmeler ägirt uly ähmiýete eýedir.

Gollanmada hödürlenýän tejribelerde talyplar “Umumy fizika” dersiniň “Atom we ýadro fizikasy ” bölüminiň esasy fiziki hadysalary, olara gözegçilik etmegiň we fiziki ulylyklary takyk ölçemegiň, tejribäniň netijelerini işläp taýýarlamagyň usullary bilen tanyş bolýarlar.

Gollanmada atom we ýadro fizikasyna degişli 14 sany tejribe işleriniň nazaryýeti, tejribäniň netijelerini işläp taýýarlamak üçin zerur bolan formulalaryň getirilip çykarylyşy, işleriň ýerine ýetirilişi, alynan ölçegleri hasaplamak barada görkezmeler we barlag üçin soraglar getirilen. Şeýle hem, tejribe geçirmek üçin gerek abzallaryň we enjamlaryň sanawy, işiň maksady we meýilnamasy her işiň başynda getirilýär. Materiallaryň şeýle tertipde ýerleşdirilmegi talyplara tejribe işini ýerine ýetirmekde ýeňillikler döredýär. Gollanmanyň ahyrynda tejribe işleri ýerine ýetirilende ulanylýan fiziki hemişelikleriň bahalary getirildi.

Tejribe işiniň nazaryýetini çuňňur özleşdiren, barlag üçin hödürlenýän soraglara jogap beren we işde ulanylýan abzallar bilen içgin tanyşan talyba işiň amaly bölümini ýerine ýetirmäge rugsat edilýär.

Okuw gollanmasynyň mazmuny „Umumy fiziki tejribeler. Atom we ýadro fizikasy“ dersiniň okuw maksatnamasy bilen gabat gelýär.

Talyplar tejribe sapagynyň ilkinji sagadynda tehniki howupsyzlygyň düzgünleri bilen tanyşýarlar we tejribe işleri ýerine ýetirilende şol düzgünleri doly berjaý etmelidirler.

Gollanma ýokary okuw mekdepleriniň talyplaryna niýetlenendir.

1 - nji TEJRIBE IŞI

ELEKTRONÝŇ ZARÝADYNY KESGITLEMEK

Gerek abzallar we enjamlar:

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1. Millikeniň kondensatory. | 4. Ýygnaýjy linza. |
| 2. Elektrik togunyň çeşmesi
(VIII-1-göneldiji). | 5. Ýylylyk süzüji. |
| 3. Ýag pürküji nasos. | 6. Mikroskop. |
| | 7. Ýagtylyk çeşmesi. |

Işň maksady:

**Millikeniň kondensatorynyň kömegi bilen
elektronyň zarýadyny kesgitlemek.**

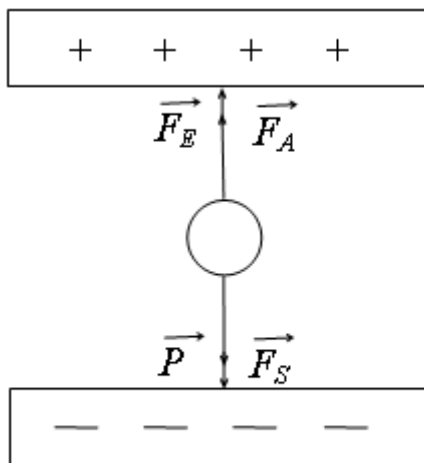
Meýilnama:

- 1. Kondensatoryň plastinalarynyň arasynda elektrik meýdany bar mahalynda otrisatel zarýadlanan ýag damjasynyň hereketini öwrenmwek.**
- 2. Kondensatoryň plastinalarynyň arasynda elektrik meýdany ýok mahalynda otrisatel zarýadlanan ýag damjasynyň hereketini öwrenmek.**

1. Kondensatoryň plastinalarynyň arasynda elektrik meýdany bar mahalynda otrisatel zarýadlanan ýag damjasynyň hereketini öwrenmwek.

Tomson we onuň şagirtleri ilkinji bolup elektronyň zarýadyny kesgitlediler, ýöne olara takyk baha almak başartmady. 1911-nji ýylda Milliken tarapyndan elektronyň zarýady ýeterlik takyklykda ölçenildi.

Millikeniň tejribesi örän kiçi ýag damjasynyň zarýadyny kesgitlemäge niýetlenendir. Boý (gorizontal) ugur boýunça ýerleşdirilen tekiz kondensatoryň plastinalarynyň



1-nji surat

arasyna düşen şeýle ýag damjasynyň hereketine seredeliň (1-nji surat).

Eger kondensatoryň plastinalaryna güýçli elektrik mýdany goýulsa, onda otrisatel zarýadlanan ýag damjasy ýokarlygyna herekete başlar. Zarýadlanan kondensatoryň elektrik meýdanyndaky damja: aşak ugrukdyrylan \vec{P} agyrylyk güýji, aşak ugrukdyrylan \vec{F}_s

howanyň garşylyk güýji, ýokary itekleýji \vec{F}_A Arhimed güýji we ýokary ugrukdyrylan elektrik meýdanynyň \vec{F}_E güýji täsir eder. Nýutonyň ikinji kanuny esasynda damjanyň hereket deňlemesini şeýle ýazmak bolar:

$$m\vec{a} = \vec{P} + \vec{F}_S + \vec{F}_A + \vec{F}_E \quad (1)$$

Ol güýçler basym deňagramlaşarlar we käbir wagt pursadyndan başlap damja ýokarlygyna deňölçegli hereket eder. Deňölçegli hereketde tizlenme nola deňdir ($\vec{a} = 0$). Onda (1) aňlatma

$$\vec{P} + \vec{F}_S + \vec{F}_A + \vec{F}_E = 0 \quad (2)$$

görnüşe geler. (2) formuladaky güýçleri hereketiň ters ugruna (damja ýokarlygyna hereket edýär) proyektirläp, (2) deňlemeden alarys:

$$P + F_S - F_A - F_E = 0 \quad (3)$$

Ýag damjasynyň togalak (şar) görnüsdedigini nazara alyp, agyrlyk güýjini

$$P = mg = V\rho_{\dot{y}}g = \frac{4}{3}\pi r^3\rho_{\dot{y}}g \quad (4)$$

görnüşde ýazarys. Bu ýerde V we $\rho_{\dot{y}}$ degişlilikde ýag damjasynyň göwrümi we dykzlygy, g - erkin gaçmagyň tizlenmesi. Howanyň garşylyk güýjüni Stoksuň kanuny boýunça ýazarys:

$$F_C = 6\pi\eta_h r \mathcal{G} \quad (5)$$

bu ýerde η_h - howanyň sürtülme (şepbeşiklik) koeffisiýenti, r - damjanyň radiusy,

\mathcal{G} - damjanyň elektrik meýdanyndaky tizligi.

Arhimeidiň güýji damja tarapyndan gysylýp çykarylan howanyň agramyna deňdir:

$$F_A = m_h g = V\rho_h g = \frac{4}{3}\pi r^3\rho_h g \quad (6)$$

bu ýerde ρ_h - howanyň dykzlygy.

Zarýadlanan ýag damjasyna elektrik meýdany tarapyndan täsir edýän elektrik güýji

$$F_E = qE \quad (7)$$

deňdir. Bu ýerde q - ýag damjasynyň zarýady, E - kondensatoryň elektrik meýdanynyň güýjenmesi. (4), (5), (6) we (7) aňlatmalary ulanyp (3) aňlatmany şeýle ýazmak bolar:

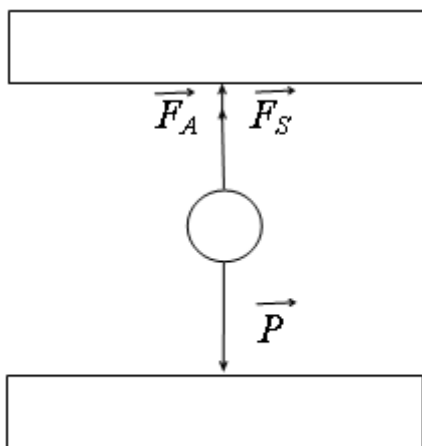
$$\frac{4}{3}\pi r^3\rho_{\dot{y}}g + 6\pi\eta_h r \mathcal{G} - \frac{4}{3}\pi r^3\rho_h g - qE = 0 \quad (8)$$

Bu ýerden, alarys:

$$q = \frac{\pi \left[\frac{4}{3} r^3 g (\rho_y - \rho_h + 6\eta_h r) \right]}{E} \quad (9)$$

Millikeniň tejribesinde tekiz kondensatoryň plastinalarynyň arasynda pürkülen ýag damjalaryny mikroskopda görmek üçin damjalar ýagtylyk bilen ýagtylandyrylýar. Ýagtylyk şöhleleriniň damjalardan serpigýändikleri sebäpli damjajyklar mikroskopda ýyldyzjyklar ýaly bolup görünýärler. Şol sebäpli damjalaryň hakyky r radiuslaryny takyk ölçäp bolmaýar.

2. Kondensatoryň plastinalarynyň arasynda elektrik meýdany ýok mahalynda otrisatel zarýadlanan ýag damjasynyň hereketini öwrenmek.



2-nji surat

Kondensatoryň plastinalarynyň arasynda elektrik meýdany ýok mahalynda ($E = 0$) damjanyň aşaklygyna erkin hereketini öwrenip, damjanyň hakyky r radiusyny kesgitlep bolar. Kondensatoryň plastinalarynyň arasynda elektrik meýdany ýokka ($E = 0$) \vec{P} agyrylyk güýji, \vec{F}_s - howanyň

garşylyk güýji we \vec{F}_A Arhimeniň güýji özara deňagramlaşyp, damja aşaklygyna erkin deňölçegli hereket eder (2 – nji surat). Damja aşaklygyna hereket edende oňa täsir edýän

\vec{F}_s Stoksuň güýji ýokary ugrykdyrylar. Şoňa görä - de, howanyň garşylyk güýji aýyrmak (-) alamaty bilen alynýar. \vec{P} , \vec{F}_s we \vec{F}_A güýçleri hereketiň ugruna proyektirläp Nýutonyň ikinji kanuny esasynda damjanyň hereket deňlemesini alarys:

$$\begin{aligned} ma &= P - F_s - F_A = \\ &= \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_y g - 6\pi \eta_h r \mathcal{G}_1 - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_h g = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

bu ýerde \mathcal{G}_1 -kondensatoryň plastinalarynyň arasynda elektrik meýdany ýokka damjanyň tizligi. (10) formuladan alarys:

$$r = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{2\eta_h \mathcal{G}_1}{g(\rho_y - \rho_h)}} \quad (11)$$

Tapylan r -iň bahasyny (9) formula goýup we $E = \frac{U}{d}$ bilen çalşyryp (U -kondensatoryň plastinalaryna goýulan naprýaženiýe, d - kondensatoryň plastinalarynyň aralygy) alarys:

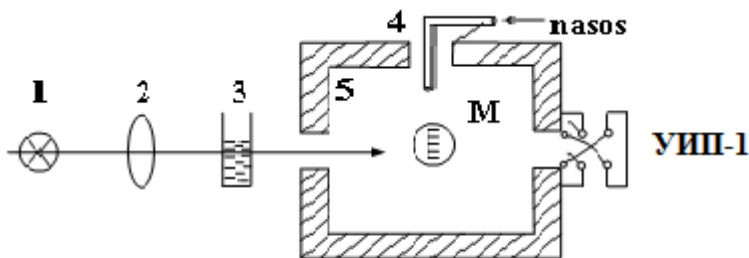
$$q = \frac{9\pi d \eta_h (\mathcal{G} + \mathcal{G}_1)}{U} \sqrt{\frac{2\eta_h \mathcal{G}_1}{g(\rho_y - \rho_h)}} \quad (12)$$

(12) aňlatma arkaly ýag damjalarynyň q zarýadyny kesgitlemek üçin, kondensatoryň plastinalarynyň arasynda

elektrik meýdany bar mahalynda damjalaryň \mathcal{G} tizligini we şeýle hem, kondensatoryň plastinalarynyň arasynda elektrik meýdany ýok mahalynda damjalaryň \mathcal{G}_1 tizligini tejribeden tapmaly.

Isiň ýerine ýetirilişi:

1. Tejribäniň abzallary bilen tanyşmaly (3-nji surat).
3-nji suratda: 1 - ýagtylyk çeşmesi, 2 - ýygnaýjy linza, 3 - ýylylyk süzüji (spektriň infragyzyň bölegini kesýän, damjalaryň gyzmagyny aradan aýyrýan suwly gap), M - mikroskop, 4 - ýag pürküji nasos, 5 – kondensator, УИП-1-göneldiji (elektrik togunyň çeşmesi).



3-nji surat

ÜNS BERIŇ: Diňe mugallymyň rugsat bermegi bilen УИП -1 göneldijini elektrik toguna birikdirmeli.

2. Kondensatoryň plastinalaryna УИП -1 göneldijiden 800-1000 V naprýaženiýe bermeli.

3. Ýag pürküji nasosyň kömegi bilen kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky giňişlige ýag damjalaryny pürkmeli.

4. Mikroskopyň ters şekil berýändigine görä, kondensatoryň plastinalarynyň arasynda elektrik meýdany barka, damjalar mikroskopyň okulýarynda aşak hereket edýän görnüşde görünerler. Dik aşak hereket edýän bölejigiň birini

saýlap almaly we ol şkalanyň kesimleriniň biriniň deňine gelende (meselem, n_1), sekundomeri işletmeli. Haçanda, şol bölejik şkalanyň başga bir kesiminiň ýanyna gelende (meselem, n_2), sekundomeri duruzmaly. Şeýlelikde, damjanyň $n_2 - n_1$ aralygy geçen t wagtyny kesgitleýärler.

5. Kondensatoryň plastinalarynyň arasynda elektrik meýdany barka mikroskopyň okulýar şkalasynda ýylpyldap görünýän we aşaklygyna hereket edýän ýag damjalarynyň tizligini

$$g = \frac{(n_2 - n_1)\delta}{t}$$

aňlatma boýunça kesgitlemeli.

Bu ýerde t - okulýaryň şkalasynda damjalaryň $n_2 - n_1$ aralygy geçendäki wagty, $\delta = 0.01 \text{ mm} / \text{kesim}$, mikroskopyň ulaltmasyny gaýtaryp getirýän hemişelik.

6. Kondensatoryň plastinalaryna naprýaženiýe berilmeyän mahalynda ($U = 0$) ýokarlygyna hereket edýän ýag damjalarynyň tizligini

$$g_1 = \frac{(n_2 - n_1)\delta}{t}$$

aňlatma boýunça kesgitlemeli.

7. Ýag damjalarynyň q zarýadyny (12) aňlatmanyň kömegi bilen birlikleriň Halkara sistemasynda kesgitlemeli. Şunlukda, aşakdaky ululyklardan peýdalanmaly:
kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky uzaklyk :

$$d = 0.007 \text{ m};$$

$$\text{ýag damjasynyň dykzkygy } \rho_{\dot{y}} = 899 \text{ kg} / \text{m}^3;$$

$$\text{howanyň dykzlygy } \rho_h = 1.29 \text{ kg} / \text{m}^3;$$

howanyň şepbeşiklik koeffisiýenti:

$$\eta = 1.832 \cdot 10^{-3} \text{ kg}/(m \cdot s).$$

8. Ölçegleri ortaça 20 sany damjalar bilen geçirmeli we hasaplamalary 1-nji tablisada ýazmaly.

9. Damjalaryň hasaplanan zarýadlarynyň bahalaryny toparlara bölmeli. Her topara zarýadlaryň ululyklarynyň bir-birine golaý (tejribäniň ýalňyşlyk çäklerindäki) bahalylary toplamaly. Her bir topar üçin zarýadlaryň orta bahalaryny tapmaly. Hasaplanan orta bahalaryň arasyndaky iň kiçi tapawut hem elektronyň e zarýadynyň ululygyny berer. Ähli beýleki q_i zarýadlar e ululyga kratnyý bolar. Ölçeğiň netijelerini 2-nji tablisa ýazmaly.

1-nji tablisa

№	U=0				U=1000 V			
	$(n_2 - n_1),$ m	t, s	$\mathcal{Q},$ m/s	q, Kl	$(n_2 - n_1),$ m	t ₁ , s	$\mathcal{Q}_1,$ m/s	q, Kl
1								
2								
3								
·								
·								
·								
20								

2-nji tablisa

Toparyň belgisi №	q _i , (Kl)	q _{i(orta)} , (Kl)	e = q _{I(orta)} - q _{II(orta)} , (Kl)
I			
II			

Görkezme: - Işi iki talyp ýerine ýetirýär. Olaryň biri damjanyň hereketine üznüksiz gözegçilik edýär we sekundomeri işledýär. Ikinji talyp netijeleri ýazýar.

Barlag üçin soraglar:

1. Elektronyň zarýadyny kesgitlemegiň nähili usullary bar?
2. Halkara birlikler ulgamynda elektronyň zarýady näçä deň?
3. Arhimeidiň kanunynyň kesgitlemesini aýdyň.
4. Stoksyň güýjiniň fiziki manysyny düşündiriň. Damja aşak ýa-da ýokary hereket edende Stoksyň güýji nähili ugrukdyrylar?
5. Millikeniň kondensatorynda zarýadlanan bölejige haýsy güýçler täsir edýärler?

2-nji TEJRIBE IŞI

ELEKTRONYŇ UDEL ZARÝADYNY KESGITLEMEK

Gerek abzallar we enjamlar:

1. Elektrik togunyň çesmesi (BC -24, BYII-2 göneldijiler).
2. 50 V çenli hemişelik naprýaženiýäni ölçeyän woltmetr.
3. 200 mA çenli hemişelik elektrik togy ölçeyän milliampermetr.
4. 2 A çenli hemişelik elektrtik togy ölçeyän ampermetr.
5. Elektron çyrasy (6C5C).
6. Induktiv tegek.
7. Birleşdiriji simler.

Işiň maksady:

Elektronyň udel zarýadyny kesgitlemegiň magnetron usuly bilen tanyşmak.

Meýilnama:

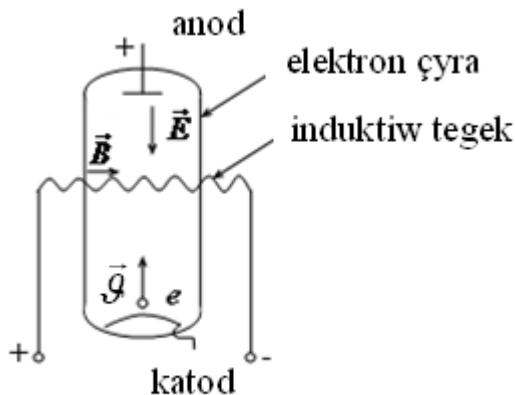
1. Elektronyň udel zarýadyny kesgitlemegiň magnetron usuly.
2. Elektronyň udel zarýadyny kesgitlemek üçin tejribede ulanylýan formulanyň getirilip çykarylşy.

1. Elektronyň udel zarýadyny kesgitlemegiň magnetron usuly.

Zarýadlanan sada bölejigiň (elektronyň, protonyň we ş.m.) e zarýadynyň bölejigiň m massasyna bolan gatnaşygyna (e/m) onuň udel zarýady diýilýär.

Elektronyň we protonyň udel zarýadynyň fiziki maglumatnamalarda getirilen bahalary, degişlilikde,

$e/m_e = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Ki/kg}$ we $e/m_p = 0,959 \cdot 10^8 \text{ Kl/kg}$ deňdirler. Elektronynyň udel zarýadyny kesgitlemegiň magnetron usulyňa seredip geçeliň.



1-nji surat

Magnetronyň gurluşy 1-nji suratda görkezilen. Ol anod bilen katodyň arasynda elektrik meýdany döredilýän elektrik çyrasyndan we şol çyra geýdirilen magnit meýdanyny döredýän induktiv tegekdendir. Magnetronda

elektrik meýdanynyň \vec{E} güýjenmesi we induktiv tegegiň magnit meýdanynyň \vec{B} induksiýasy, elektronlaryň \vec{g} tizligine perpendikulýardyrlar.

2. Elektronynyň udel zarýadyny kesgitlemek üçin tejribede ulanylýan formulanyň getirilip çykarylşy.

Magnit meýdanynda hereket edýän elektrona

$$\vec{F} = e[\vec{g}\vec{B}] \quad (1)$$

Lorens güýji täsir edýär. Bu ýerde \vec{g} - elektronynyň tizligi, \vec{B} - magnit meýdanynyň induksiýasy.

\vec{F} Lorens güýji elektronlaryň tizligine perpendikulýar ugrukdyrylandyr. Şoňa görä-de, elektronlar anod bilen katodyň arasyndaky giňişlikde töwerek boýunça hereket edýärler. Şeýle ýagdaýda Lorens güýji merkeze ymtylýan güýje deňdir:

$$e g B = \frac{m g^2}{R} \quad (2)$$

Bu ýerde R - töweregiň radiusy. (2) formuladan elektronyň udel zarýady şeýle tapylar:

$$e / m = \frac{g}{BR} \quad (3)$$

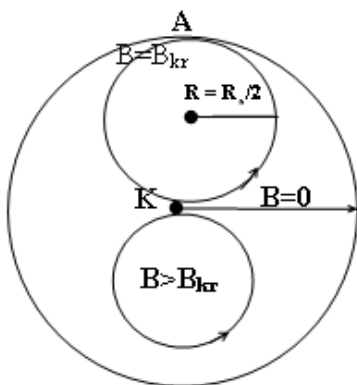
Elektronlaryň R radiusly töwerek boýunça hereketini tegegiň içinde ýerleşen çyrajykda alyp bolar (2-surat). Bu çyranyň elektrodлары oklary gabat gelýän silindr görnüşindedir.

Elektron çyrada anod - katod aralygynda elektrik meýdanynyň güýjenmesi

$$E = \frac{(\varphi_a - \varphi_k)}{(R_a - R_k)} = \frac{U_a}{(R_a - R_k)} \quad (4)$$

formula bilen aňladylýar. Bu ýerde U_a - anodyň naprýaženiýasy, R_a we R_k - degişlilikde anodyň we katodyň radiuslary.

Daşky induktiw tegegiň magnit meýdany ýokka ($B = \mu\mu_0 H = 0$), ýagny tegekden elektrik togy akmaýan mahalynda, hemme elektronlar göniçyzykly ugur boýunça anoda tarap hereket ederler. Magnit meýdanynyň induksiýasyny artdyrsak elektronlaryň ugry egreler. $B = B_{kr}$ kritiki bahadan başlap elektronlar anoda ýetmezler, ýagny elektronlar anod bilen katodyň arasyndaky giňişlikde töwerek boýunça hereket edip başlarlar. 2-nji suratda magnit meýdanynyň induksiýasy nol ($B = 0$), kritiki ($B = B_{kr}$) we kritiki bahadan uly ($B > B_{kr}$) bahalara degişli elektronlaryň hereket ugurlary şekillendirilen.



2-nji surat

2-nji suratda elektron çyrasynyň kesigi görkezilen. Öň belläp geçişimiz ýaly, çyranyň elektrodлары oklary gabat gelyän silindr görnüşindedir. Ýagny, çyranyň diwarlary onuň A anody, çyranyň merkezinden geçýän simjagaz bolsa onuň K katody bolup hyzmat edýär. Şoňa görä-de, anodyň radiusy katodyň radiusyndan has uludyr ($R_a \gg R_k$) diýip hasap edip

bileris. Onda elektronyň hereket edýän töwereginiň R radiusyny $R_a/2$ bilen çalşyryp ($R = \frac{R_a}{2}$, 2-nji surata seret) (3) formulany şeýle ýazarys:

$$\frac{e}{m} = \frac{2\mathcal{G}}{B_{kr} R_a} \quad (5)$$

Elektronyň elektrik meýdanynda eýe bolýan (eU_a) energiýasy, elektronyň katod bilen anodyň aralygynda goýulan tizlendiriji elektrik meýdanynda eýe bolýan ($m\mathcal{G}^2/2$) kinetik energiýasyna deňdir:

$$eU_a = \frac{m\mathcal{G}^2}{2} \quad (6)$$

Bu deňleme-den elektronyň tizligi üçin aňlatmany alarys:

$$\mathcal{G} = \sqrt{\frac{2eU_a}{m}} \quad (7)$$

\mathcal{G} - niň bahasyny (5) formulada ornuna goýup ýazarys:

$$\frac{e}{m} = \frac{2}{B_{kr} R_a} \sqrt{\frac{2eU_a}{m}} \quad (8)$$

Soňky deňlemaniň iki tarapyny kwadrata göterip alarys:

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a}{B_{kr}^2 R_a^2} \quad (9)$$

Induktiv tegegiň magnit meýdanynyň induksiýasynyň B_{kr} bahasyny

$$B_{kr} = \frac{\mu\mu_0 N I_{kr} D}{d} \quad (10)$$

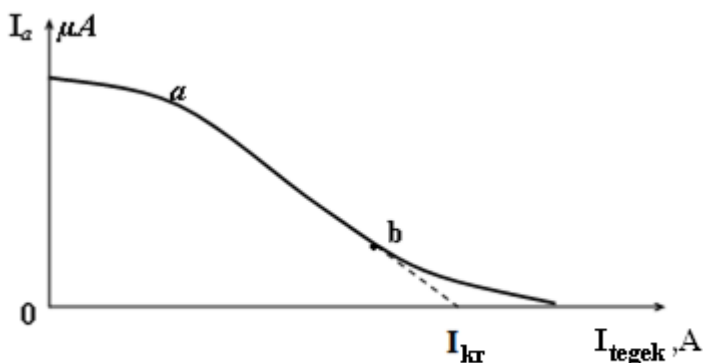
formula bilen aňladyp, (9) formulany şeýle ýazarys:

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a}{\mu^2 \mu_0^2 N^2 R_a^2 I_{kr}^2} \frac{d^2}{D^2} \quad (11)$$

Bu ýerde $\mu = 1$ - wakuumyň magnit syzyjylygy, $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Gn/m}$ - wakuumyň magnit hemişeligi, N - induktiw tegegiň sarymynyň sany ($N = 720$), D we d - degişlilikde tegegiň daşky we içki diametri ($D = 75 \text{ mm}$, $d = 40 \text{ mm}$), R_a - 6C5C elektron çyranýň anodynyň radiusy ($R_a = 13.5 \text{ mm}$), I_{kr} - tegekden akýan elektrik togunyň kritiki bahasy, U_a - anodyň naprýaženiýasy.

Tegekden akýan elektrik togunyň I_{kr} kritiki bahasy tejribäniň netijelerinden, ýagny anod togunyň tegekden akyp geçýän elektrik toguna baglylyk egrisinden ($I_a = f(I_{tegek})$) tapylýar (3-nji surat). $I_a = f(I_{tegek})$ baglanyşygyň egrisiniň göniçyzykly kesimini (meselem « ab » kesimi) abssissa oky bilen kesişýänçä dowam etdirip, tegekden akyp geçýän elektrik togunyň I_{kr} bahasy kesgitlenýär. Tegekden akyp geçýän

elektrik togunyň bu kritiki bahasynda elektronlaryň köp bölegi anoda baryp ýetmeýärler.

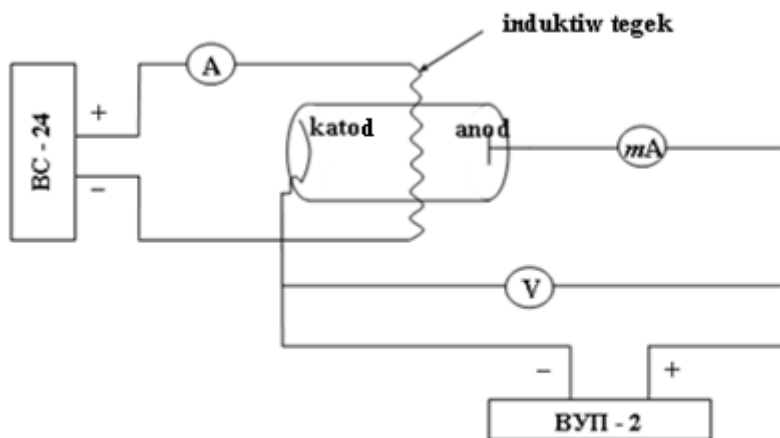


3-nji surat

Aşa gyzdyrylan metallaryň üstünden bugarýan elektronlaryň dürli tizliklere eýe bolýandyklaryna görä, katoddan anoda tarap hereket edýän elektronlaryň akymynda haýal, şeýle hem çalt hereket edýän elektronlar bardyrlar. Tizlendiriji naprýaženiýanyň berlen U_a bahasynda haýal hereket edýän elektronlar kiçi radiusly töwerek boýunça, çalt hereket edýän elektronlar bolsa uly radiusly töwerek boýunça hereket edýärler. Anod togynyň doly ýok bolmagyny gazanmak üçin magnit meýdanynyň uly induksiýasyny döretmek gerek.

Isiň ýerine ýetirilisi:

1. 4-nji surat boýunça elektrik zynjyry ýygnamaly.



4-nji surat

2. BYП-2 göneldijiniň sazlaýjysynyň kömegi bilen tizlendiriji naprýaženiýanyň $U_a = 8V$ bahasyny almaly we anodyň bu naprýaženiýesini hemişelik saklamaly. Soňra induktiw tegegiň togunyň $I_t = 0$ bahasynda I_a anod togunyň bahasyny mikroampermetrden almaly, soňra $I_t = 0.2 A$ bahada I_a anod togunyň bahasyny mikroampermetrden almaly we ş.m.). Ýagny, induktiw tegegiň I_t togunyň her bir bahasy üçin anod togunyň I_a bahalaryny mikroampermetrden almaly. Bu hereketleri naprýaženiýanyň 10V we 12V bahalary üçin hem gaýtalamaly we netijeleri 1-nji tablisada ýazmaly.

3. 1-nji tablisadan peýdalanyp, anod naprýaženiýesiniň dürli bahalary üçin $I_a = f(I_{tegek})$ baglanyşygyň egrilerini çyzmaly.

4. Anod naprýaženiýesiniň dürli bahalaryna degişli $I_a = f(I_{tegek})$ baglanyşygyň egrilerinden tegekden akýan elektrik togunyň I_{kr} kritiki bahasyny kesgitlemeli. Alnan netijeleri 2-nji tablisada ýazmaly.

1-nji tablica

U _a =8 V		U _a =10 V		U _a =12 V	
I _t , (A)	I _a , (mA)	I _t , (A)	I _a , (mA)	I _t , (A)	I _a , (mA)
0		0		0	
0,2		0,2		0,2	
0,4		0,4		0,4	
0,6		0,6		0,6	
0,8		0,8		0,8	
1,0		1,0		1,0	
1,2		1,2		1,2	
1,4		1,4		1,4	
1,6		1,6		1,6	
1,8		1,8		1,8	
2,0		2,0		2,0	

5. (11) formula boýunça anod naprýaženiýesiniň dürli bahalarynda elektronyň $\frac{e}{m}$ udel zarýadyny we onuň orta $\left(\frac{e}{m}\right)_{orta}$ bahasyny hasaplamaly we alnan netijeleri 2-nji tablisada ýazmaly.

2-nji tablisa

№	U_a, (V)	I_{kr}, (A)	e/m, (Kl/kg)	$(e/m)_{orta}$, (Kl/kg)
1	8			
2	10			
3	12			

6. Ölçeğiň ýalňyşlygyny kesgitlemeli.

Barlag üçin soraglar:

1. Elektronyň udel zarýadynyň bahasy näçe we onuň birlikleriň Halkara Sistemasynda ölçeg birligi näme?
2. Näme üçin katoddan çykyp, anoda tarap hereket edýän elektronlaryň tizlikleri birmeňzeş däl?
3. Tegekdan akýan elektrik akymynyň I_{kr} kritiki bahasy nähili kesgitlenýär?

3 - nji TEJRIBE IŞI.

DAŞKY FOTOEFFEKT HADYSASYNY ÖWRENMEK WE PLANKYŇ HEMIŞELIGINI KESGITLENEK.

Gerek abzallar we enjamlar:

1. Awtomobil çyrasy (12 V, 40 W).
2. CCB-3 fotoelementi.
3. Sary, melewşe (ýa-da gök) ýagtylyk süzgüçleri.
4. Mikroampermetr M 117/2.
5. Woltmetr (6 V).
6. Tok çeşmeleri: ИЭПП-2 (ýa-da 1,5 V element) we БИИ 4-12-göneldiji,
7. Potensiometr (1000 Om, 0,5 A; ýa-da 10 kOm, 1 W).

Işň maksady:

Fotoeffekt hadysasyny öwrenmek we Plankyň hemişeligini kesgitlemek.

Meýilnama:

1. Fotoeffekt hadysasy.
2. Fotoeffekt hadysasynyň düşündirilişi.
Eýnşteýniň deňlemesi.
3. Saklaýjy potensialyň ýagtylygyň ýygylgyna baglylyk grafiginden Plankyň hemişeligini kesgitlemek.

1. Fotoeffekt hadysasy.

Ýagtylygyň täsiri netijesinde metal plastinadan elektronlaryň goparylmagyna daşky fotoeffekt diýilýär.

Fotoeffektiň kanunalaýyklaryny öwrenmek üçin 1-nji suratdaky zynjyrdan peýdalaýarlar.

Ýagtylygyň täsiri bilen katoddan uçup çykýan (goparylan) elektronlar, katod bilen anodyň aralygynda goýulan elektrik meýdanynda tizlenýärler. Katod bilen anodyň aralygynda goýulan U naprýaženiýe R potenciometr bilen sazlanýlýar we woltmetr bilen ölçelinýär. Iki sany B_1 we B_2 tok çeşmeleriniň kömegi bilen naprýaženiýanyň ululygyny üýtgedip bolýar.

Fotoeffekti öwrenmeklik aşakdaky netijeleri berdi:

a). Goparylýan fotoelektronlaryň kinetik energiýasy düşýän ýagtylygyň intensiwligine bagly däl, ol ýagtylygyň ýygylgyna baglydyr;

b). Metalyň üstünden wagt birliginde ýagtylygyň goparylan fotoelektronlarynyň mukdary, düşýän ýagtylygyň intensiwligine göni proporsionaldyr.

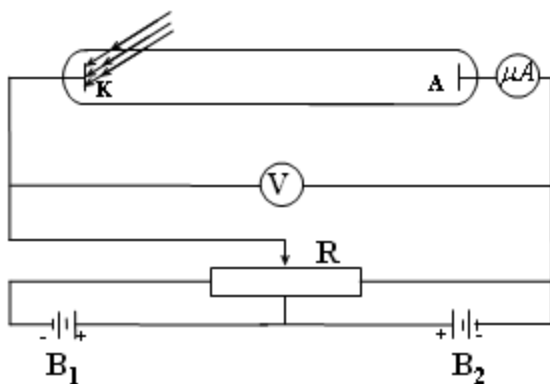
2. Fotoeffekt hadysasynyň düşündirilişi. Eýnşteýniň deňlemesi.

Nusgawy elektrodinamika görä ýagtylyk diňe elektromagnit tolkundyr. Şoňa görä-de, nusgawy elektrodinamikanyň esasynda fotoeffektiň kanunalaýyklaryny we häsiýetlerini düşündirmek mümkin däl.

1905 – 1908-nji ýyllarda A. Eýnşteýn M. Plankyň ýagtylygyň bölekleýin goýberilişi we ýuwudylyşy baradaky çaklamasyndan ugur alyp fotoeffekt hadysasyny düşündirdi. Eýnşteýn, ýagtylyk diňe bir tolkun häsiýetine eýe bolman, ol bölejik (korpuskulýar) häsiýetine hem eýedir we ýagtylyk,

energiýasy $h\nu$ we impulsy $\frac{h\nu}{c}$ bolan fotonlardan ybaratdyr

diýen netijä gelýär.



1-nji surat

Şeýlelikde, kwant nukdaýnazaryna görä fotoeffekt şeýle düşündirilýär: metalyň üstüne düşýän, energiýasy $h\nu$ bolan fotonlar atomyň elektronlaryna öz energiýalaryny berýärler. Ýagny, $h\nu$ energiýany ýuwudan elektronlar A çykyş işinden uly bolan energiýa eýe bolýarlar ($h\nu \geq A$) we käbir kesgitli kinetik energiýa eýe bolup metaldan goparylýarlar. Bu elektronlara **fotoelektronlar** diýilýär. **A çykyş işi diýip, elektrony maddadan goparmak üçin sarp edilen işe aýdylýar.**

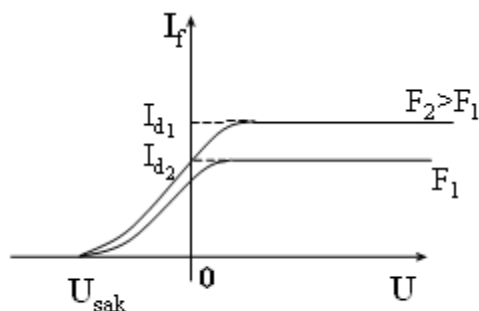
Fotoelektronlaryň eýe bolýan iň uly ilkibaşdaky kinetik energiýasyny, energiýanyň saklanma kanuny boýunça tapmak bolar:

$$h\nu = A + \frac{m\vartheta_{0(\max)}^2}{2} \quad (1)$$

Bu deňlemä **daşky fotoeffekt üçin Eýnşteýniň deňlemesi** diýilýär, ýagny ýuwudylan fotonyň energiýasy elektrony maddadan çykarmak üçin sarp edilen çykyş işine we elektrona iň uly (maksimal) kinetik energiýa bermäge harçlanýar. (1) deňlemeden görnüşine görä, fotoelektronlaryň başlangyç kinetik energiýasy we şonuň bilen baglylykda, fotoelektronyň

iň uly başlangyç tizligi ýagtylygyň ν ýygylgyna we A çykyş işine baglydyr, emma ýagtylygyň intensiwligine bagly däldir.

2-nji suratda I_f fototoguň K katod we A anod aralygyna goýlan, elektronlaryň hereketini tizlendiriji U naptýażeniýa baglylygy, ýagtylyk akymynyň F_1 we F_2 bahalary üçin berlen.



2-nji surat

Otrisatel U_{sak} saklaýjy elektrik meýdanyny döredip fototok döremez ýaly ýagdaý döretmek bolar. Bu ýagdaý 2-nji suratda has-da aýdyň görünýär, ýagny $U = -U_{sak}$ bolanda fotoeffekt ýüze çykmaýar ($I_f = 0$). U_{sak} - **saklaýjy potensial** diýilýär. U_{sak} saklaýjy potensial katoddan uçup çykýan (goparylýan) elektronýň iň uly energiýasy (iň uly \mathcal{E} tizligi) bilen aşakdaky ýaly baglanyşykly, ýagny

$$\frac{m\mathcal{E}_{0(max)}^2}{2} = eU_{sak} \quad (2)$$

bu ýerde, e - elektronýň zaryady.

Şeýle hem (1) deňlemenden, metaldan elektrony goparyp bilýän, emma oňa kinetik energiýa bermeyän fotonyň

iň kiçi energiýasynyň, çykyş işine deň bolmalydygy görünýär, ýagny

$$h\nu_0 = A \quad (3)$$

bu ýerde ν_0 - fotoelektronlaryň metaldan çykmary kesilýän ýagtylygyň iň kiçi ýygylgy. Bu ýygylk fotoeffektiň döreme çäginde kesgitleýär we oňa **fotoeffektiň gyzyl araçägi** diýilýär.

Tizlendiriji U naprýaženiýanyň käbir ýeterlik bahasynda katoddan uçup çykýan elektronlaryň ählisi anoda baryp ýetýär. Şunlukda, mikroampermetr ýagtylygyň berlen intensiwliginde we katodyň berlen temperaturasynda mümkin bolan iň uly togy görkezýär. Bu toga I_d **doýgun fototok** diýilýär.

3. Saklaýjy potensialyň ýagtylygyň ýygylgyna baglylyk grafiginde Plankyň hemişeligini kesgitlemek.

Eýnşteýniň (1) deňlemesine fototogun döremezlik (2) şertini goýup, alarys:

$$h\nu = A + \frac{m g^2_{0(\max)}}{2} = A + eU_{sak} \quad (4)$$

Bu deňlemeden aşakdaky aňlatmany alyp bolar:

$$U_{sak} = -\frac{A}{e} + \frac{h}{e} \nu \quad (5)$$

(5) formyla Plankyň h hemişeligini kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

Munyň üçin U_{sak} saklaýjy naprýaženiýanyň katoduň üstüne düşýän ýagtylygyň ν ýygylgyna baglylygyny gurmak ýeterlikdir (3-nji surat). 3-nji suratdan görnüşine görä, göniniň ýapgytlyk burçunyň tangensini bilip Plankyň h hemişeliginiň bahasyny hasaplap bolar.

(4) aňlatmany ν_1 we ν_2 ýygylýklar üçin aşakdaky ýaly ýazalyň:

$$h\nu_1 = A + eU_{sak1}$$

$$h\nu_2 = A + eU_{sak2}$$

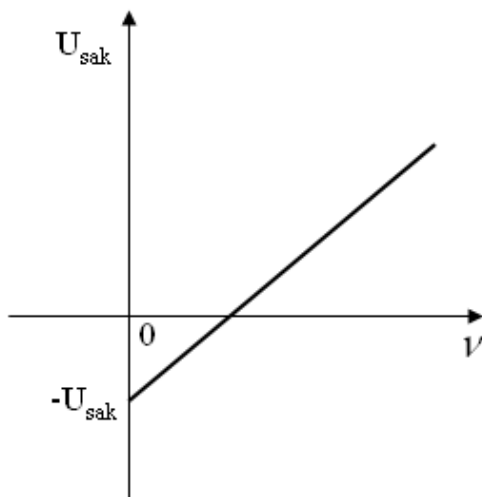
Bu deňlemeler sistemasyndan h -y tapsak, alarys :

$$h = \frac{e(U_{sak1} - U_{sak2})}{\nu_1 - \nu_2} \quad (6)$$

(6) baglanyşykda ýagtylygyň ν ýygylýgyny λ tolkun uzynly-gynyň üsti bilen aňlatsak, aşakdaky formulany alarys:

$$h = \frac{e(U_{sak1} - U_{sak2})\lambda_1\lambda_2}{c(\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (7)$$

bu ýerde, c - ýagtylygyň wakuumdaky tizligi ;



3-nji surat

U_{sak1} , U_{sak2} - saklaýjy potensiallar,

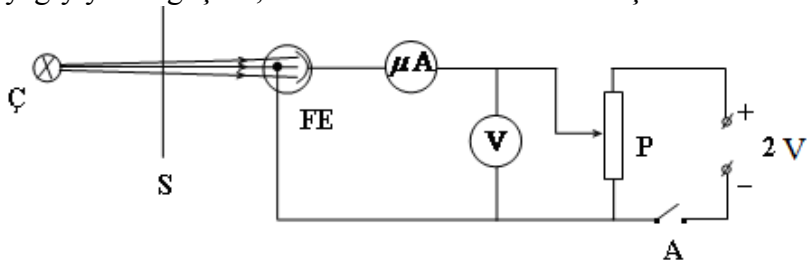
λ_1 - 1-nji süzgüçden geçen tolkunlaryň tolkun uzynlygy, λ_2 - 2-nji süzgüçden geçen tolkunlaryň tolkun uzynlygy.

Gurlusyň ýazgysy

4-nji suratda işde ulanylýan elektrik zynjyry görkezilen.

ÜNS BERIŇ! Işiň elektrik zynjyry öňden düzülgi, şoňa görä-de, zynjyry mugallymdan rugsatsyz üýtgetmek gadagan.

4-nji suratda görkezilen Ç ýagtylyk çeşmesi, S ýagtylyk süzgüçleri, FE fotoelement we onuň üçin elektrik tok



4-nji surat

çeşmesi, P potensiometr gapyrjagyň içinde ýerleşdirilen. Ýagtylyk süzgüçleriniň tutawaçlary, potensiometriň sapy, tok çeşmesiniň açary, mikroampermetr (MA) we woltmetr (V) gapyrjagyň üstki tagtasynda ýerleşdirilen. P potensiometriň kömegi bilen fotoelementiň anodyna berilýän otrisetel potensialy 0-2 V aralygynda üýtgedip bolýar.

Işiň ýerine ýetirilişi:

Plankyň hemişeligini kesgitlemek üçin ýagtylygyň λ_1 we λ_2 tolkun uzynlyklaryna deňişli U_{sak1} we U_{sak2}

saklaýjy potensiallary 4-nji suratdaky zynjyrdan peýdalanyňp ölçemeli.

1. Fotoelemente ýagtylyk düşende oňa naprýaženiýe berilmände-de, onuň ýapyk elektrik zynjyrynda fototoguň döreýändigine göz ýetirmeli. Onuň üçin A açaryň açyk ýagdaýynda ýagtylyk çeşmesine BIII4-12 göneldijiden $U = 10V$ naprýaženiýe bermeli. Fototoguň güýjini mikroampermetr görkezzer.

2. Tutawajyndan peýdalanyňp λ_1 tolkun uzynlykly (sary) ýagtylygy geçirýän süzgüji ýagtylygyň ýolunda goýmaly. Potensiometriň sapyny çepe aýlap onuň süýşgüjini aşaky ýagdaýa geçirmeli. Soňra A açary ýapyk ýagdaýa geçirip potensiometriň sapyny saga aýlap fotoelemntiň anodyna berilýän potensialyň haýsy bahasynda fototoguň güýjüniň nola deň bolýandygyny tapmaly. Bu bolsa λ_1 tolkun uzynlykly ýagtylyk üçin U_{sak1} saklaýjy potensialyň bahasydyr.

3. λ_2 tolkun uzynlykly (melewşe ýa-da gök) ýagtylygy geçirýän süzgüji ýagtylygyň ýolunda goýmaly we ýene-de, fotoelemntiň anodyna berilýän potensialyň haýsy bahasynda fototoguň güýjüniň nola deň bolýandygyny tapmaly. Bu baha λ_2 tolkun uzynlykly ýagtylyk üçin U_{sak2} saklaýjy potensialyň bahasydyr.

4. Elektronyň e zarýadynyň we ýagtylygyň wakuumdaky c tizliginiň bahalaryny maglumatnamadan alyp, λ_1 we λ_2 - niň berlen bahalaryndan ($\lambda_1 = 600nm$, $\lambda_2 = 510nm$) hem-de U_{sak1} we U_{sak2} - niň ölçelip tapylan bahalaryndan peýdalanyňp, (7) formuladan Plankyň hemişeligini (h) hasaplap tapmaly.

5. Ak ýagtylykda U_{sak} - ny tapmaly we ol bahanyň näme üçin melewşe şöhläniňkä ýakyndygyny düşündirmeli.

Barlag üçin soraglar:

1. Fotoeffekte ters bolan hadysany aýdyň.
2. Içki fotoeffekt diýip nämä aýdylýar?
3. Elektronyň çykyş işi diýip nämä aýdylýar?
4. Fotoeffektiň gyzyňl araçägi nämäni häsiýetlendirýär?
5. Fotonyň impulsy tolkun wektory bilen nähilli baglanyşykly?
6. Plankyň hemişeliginiň fiziki manysy näme?

4-nji TEJRIBE IŞI

FRANKYŇ WE GERSIŇ TEJRIBESI

Gerek abzallar we enjamlar:

1. Gaz bilen doldurlan üç elektrodly çyra (tiratron TF3-0,1/1,3).
2. Mikroampermetr.
3. Woltmetr – 2 sany.
4. Tok çeşmesi.
5. Birleşdiriji simler.

Işiň maksady:

Atomda diskret (kesgitli) energetik derejeleriň barlygyny we Boruň üçünji postulatynyň dogrulygyny subut etmek.

Meýilnama:

1. Frankyň we Gersiň tejribesini geçirmek üçin ulanylýan guralyň ýazgysy.
2. Anod togunyň katod bilen toruň arasyndaky tizlendiriji naprýaženiýa baglylygy.
3. Atomyň rezonans potensialy.
4. Frankyň we Gersiň tejribesiniň kömegi bilen Boruň üçünji postulatynyň tassyklanyşy.

1. Frankyň we Gersiň tejribesini geçirmek üçin ulanylýan gurluşyň ýazgysy.

Atomyň häzirki zaman nazaryýeti atomyň şöhlemenme we siňdirme spektrlerine degişli köp sanly tejribeleri, şeýle hem atomlar bilen sada bölejikleriň arasyndaky özara täsiriň häsýetlerini öwrenmek esasynda ösdi. Bu hili tejribeleriň

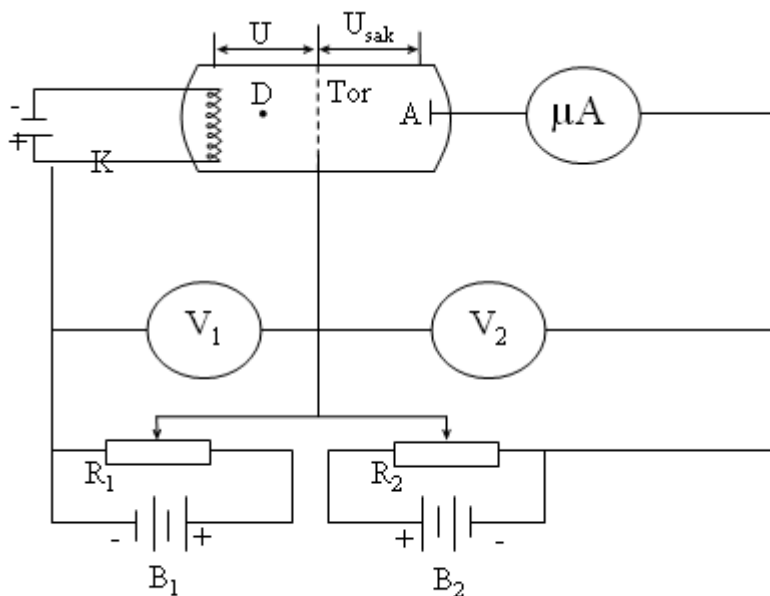
hataryna, Boruň postulatlarynyň dogrulugyny gös-göni tasyklaýan Frankyň we Gersiň tejribesi hem degişlidir.

Boruň nazaryýetine görä atom energiýanyň diňe diskret (kesgitli) bölegini (ülüşlerini, porsiyalaryny) şöhlelendirip ýada siňdirip bilýär we netijede bir stasionar (durnukly) haldan beýlekä geçýär. Atomda diskret (kesgitli) energetik derejeleriň barlygy ilkinji gezek 1913-nji ýylda Frankyň we Gersiň tejribelerinde subut edildi.

Frankyň we Gersiň tejribesini geçirmek üçin ulanylýan guralyň çyzgysy 1-nji suratda görkezlendir. Üç elektrodly çyra uly bolmadyk basyşly (0,1 mm. simap sütünli) simabyň buglary bilen doldurylýar. Gyzdyrylan K katoddan çykýan elektronlar, K katod bilen T toruň arasynda döredilýän U potensiallaryň tapawudy bilen tizlendirilýär. Bu tizlendiriji U potensiallaryň tapawudy R_1 potensiometr bilen üýtgedilýär we V_1 woltmetr bilen ölçenilýär.

T tor bilen A anodyň aralygynda ters alamatly uly bolmadyk saklaýjy potensial ($U_{saklaýjy} \sim -0,5V$) goýulýar. Bu potensial V_2 woltmetr bilen ölçenilýär we R_2 potensiometr bilen üýtgedilýär.

K katod bilen T toruň arasyndaky potensiallaryň tapawudy B_1 elementler bilen we T tor bilen A anodyň arasyndaky potensiallaryň tapawudy bolsa, B_2 elementler bilen döredilýär (elementleriň deregine üýtgeýän elektrik toguny göneldijiler bolan БУП – 2-leri hem ulanmak bolar). Anod zynjyrynda döreýän elektrik togy mikroampermetr bilen ölçenilýär.



1-nji surat

2. Anod togunyň katod bilen toruň arasyndaky tizlendiriji naprýaženiýa baglylygy. Tejribede I_a anod togunyň katod bilen toruň arasyndaky U potensiallaryň tapawudyna baglylygy öwrenildi. Alnan netijeler 2-nji suratda gorkezilendir.

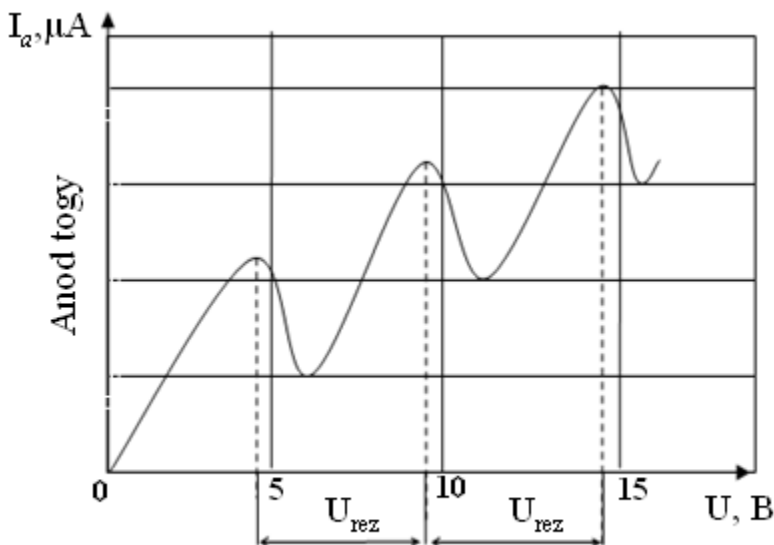
Ilkibaşda U naprýaženiýanyň artmagy bilen anod togy birsydyrgyn artýar we $U = 4.9V$ -da iň uly (maksimum) baha ýetýär. Naprýaženiýany ýene-de artdysak anod togy çalt kemelýär we iň kiçi (minimum) baha ýetip, täzedan artyp başlaýar. Anod togunyň ikinji iň uly bahasy naprýaženiýanyň $U = 9.8V = 2 \cdot 4.9V$, üçinji iň uly bahasy naprýaženiýanyň $U = 14.7V = 3 \cdot 4.9V$ bahalarynda döreýär we ş.m. Şeýlelikde, çypanyň $I_a = f(U)$ wolt-amper häsiýetnamasynda biri-birinden deň aralykda ýerleşen maksimumlar alynýar.

Frank we Gers bu tejribelerini Bor heniz öz postulatlaryny hödürlemänkä geçiripdiler. Şoňa görä-de, $I_a = f(U)$ baglansygyň bu täsin görnüşini düşündirmeklik alymlara Boruň taglymatlaryny ulanmak netijesinde başardy.

Katoddan çykýan elektronlar simabyň atomlary bilen çaknyşýarlar we netijede atomlar elektronlardan energiýany kabul edip alýarlar. Boruň birinji postulatyna görä atomyň energiýasynyň ulylygy erkin bolman, E_1, E_2, E_3, \dots diskret (kesgitli) bahany alýan hatary emele getirýän energiýalara eýedirler. Şoňa görä-de, atomlar energiýany diňe diskret $\Delta E_1 = E_2 - E_1$, ýa-da $\Delta E_2 = E_3 - E_1$ we ş.m. bölekler görnüşinde kabul edip bilerler. Simabyň atomlary bilen çaknyşýan elektronlaryň energiýasy ΔE_1 -den kiçi mahalynda atom elektrondan energiýany kabul etmeýär, ýagny atomlar bilen elektronlaryň arasyndaky çaknyşma maýyşgak häsýetde bolýar.

Elektronlaryň massasynyň atomlaryň massasyndan bir näçe esse kiçidigine görä bu hili çaknyşmalarda elektronyň tizligi we energiýasy ulylyklary boýunça üýtgemeyär, diňe elektronyň hereket ugry üýtgeýär.

Haçanda, katod bilen toruň arasyndaky tizlendiriji meýdanda hereket edýän elektronyň energiýasy ΔE_1 -e deň, ýa-da ondan uly bolanda, çaknyşmalar maýyşgak däl häsýetde bolýarlar: elektronlar atomlar bilen çaknyşanlarynda ΔE_1 energiýany atomlara berýärler we kiçi tizlik bilen hererket edip başlaýarlar. Energiýany kabul edip, atom tolgunýar. Munuň özi atomdaky elektronyň has ýokardaky energetik derejelere geçmekligine laýyk gelýär. Soňra atom özüniň ýuwudan energiýasyny şöhle görnüşinde şöhlelendirip esasy halyna gaýdyp gelýär.



2-nji surat

$U = 4.9V$ naprýaženiýada anod togunuň iň uly baha çenli artmaklygy şeýle düşündirilýär. Elektronlaryň energiýasy $4.9eV$ -a deň bolýança, elektronlar atomlar bilen maýyşgak çaknyşýarlar we netijede olar energiýalaryny ýitirmeýärler. Katod bilen toruň arasyda tizlenip hereket edýän elektronlar tora ýetip, U naprýaženiýanyň berlen bahasynda iň uly kinetik energiýa eýe bolýarlar, ýagny:

$$\frac{m g^2}{2} = eU$$

Tor bilen anodyň arasyndaky saklaýjý meýdany ýeňip geçmek üçin elektronlara bu energiýa ýeterlikdir. Şoňa görä-de, şeýle energiýaly ähli elektronlar tordan geçip anoda ýetýärler we şunlukda anod togy artýar.

Katod bilen toruň arasyndaky goýulan tizlendiriji potensial $U_1 = 4.9V$ -dan sähelçe köp bolanda, elektronlar tora has golaý ýerleşen simabyň atomlaryny tolkundymak üçin ýeterlik bolan energiýa eýe bolýarlar. Netijede elektronlar simabyň atomlary bilen çaknyşyp maýyşgak däl uрга сезewar болýарлар we simabyň atomlaryna özleriniň energiýalaryny berýäler. Şunlukda bu elektronlar tor bilen anodyň aralygynda goýlan togtadyjy meýdany ýeňip geçip bilmeýärler we anoda ýetmeýärler. Netijede anod togy çalt kemelýär.

Meselem: Tizlendiriji naprýaženiýa $U = 5V$ bolanda elektronlaryň kinetik energiýasy simabyň atomlaryny tolkundymaklyk üçin ýeterlik bolýar. Başga-ça aýdanymyzda, katoddan çykýan elektronlaryň kinetik energiýasy simabyň atomynyň elektronlarynyň birini esasy E_1 energetik derejeden golaýdaky tolkundyrylan E_2 derejä geçirmäge ýeterlik bolýar. Bu hili maýyşgak däl uрга сезewar болан электрон özüniň $4.9eV$ energiýasyny simabyň atomyna berýär. Netijede elektron $5eV - 4.9eV = 0.1eV$ energiýa eýe bolýar. Bu hili energýaly elektronlar tor bilen anodyň arasynda goýulan $U_{saklayjy} = 0.5V$ -a deň bolan saklaýjy potensialy ýeňip geçip bilmeýärler. Ähli şeýle hili elektronlar tora gaýdyp gelýärler we anod togunyň ösmegine goşant goşmaýarlar. Netijede anod togy ýene-de kemelýär.

Katod bilen toruň arasynda goýulan tizlendiriji U naprýaženiýany ýene-de artdysak, simabyň atomyny tolkundyrylan hala geçirmek üçin elektrona gerek boljak energiýa az aralykda ýetilýär. Bu ýagdaýda elektron bilen simabyň atomynyň arasyndaky maýyşgak däl urgy tora has golaý aralykda däl-de, tordan ep-esli aralykda, meselem D nokatda, bolup geçýär. Elektron energiýasyny ýitirip, tizlendiriji meýdanyň täsiriniň dowam edýändigine görä, D nokat bilen T toruň aralygyndaky giňişlikde täzeden tizlenip hereket edip

başlaýar. Bu elektron anoda ýeter we netijede anod zynjyryndaky tok artar.

Goý, meselem, tizlendiriji naprýaženiýe $U = 5.5V$ bolsun. Bu naprýaženiýada elektronyň energiýasy $5.5eV$ - a deň bolar. Simabyň atomlary bilen maýyşgak däl çaknyşmada elektron özüniň energiýasynyň bir bölegini ($4.9eV$) simabyň atomyna berýär we $5.5eV - 4.9eV = 0.6eV$ energiýa eýe bolýar. Tor bilen anodyň aralygynda goýulan saklaýjy meýdany ýeňip geçmek üçin elektrona bu energiýa ýeterlikdir. Şeýle hili elektronlar anoda baryp ýetýärler we anod togy artýar.

Tizlendiriji U naprýaženiýany $U_2 = 2U_1$ baha çenli artdyrsak, käbir D nokatda maýyşgak däl çaknyşmadan soň elektron T tora çenli bolan aralykda ikinji gezek maýyşgak däl çaknyşma döreder ýaly energiýa eýe bolar. Bulardan başgada, simabyň atomlarynyň sanynyň azlygyna görä ($\sim 1mm$. simap sütünli basyş) tora has golaý aralykda çaknyşma sezewar bolýan, energiýalary

$$\frac{m g^2}{2} = 2eU_1$$

bolan elektronlar hem bardyr. Bu elektronlar simabyň atomlaryny ikinji tolgundyrylan hala geçirýärler. Başgaça aýdanymyzda, naprýaženiýa $U = 9.8V = 2 \cdot 4.9V$ bolanda elektron, katod bilen toruň aralygynda simabyň atomlary bilen iki gezek maýyşgak däl çaknyşma sezewar bolýar we bu çaknyşmalaryň her haýsysynda $4.9V$ energiýany ýitirýär. Bu elektronlar anoda ýetmeýärler, we netijede anod togy kemelýär.

Wolt-amper häsiýetnamasyndaky üçünji in uly baha (2-nji surat), elektron katod bilen toruň aralygynda simabyň atomlary bilen üç gezek maýyşgak däl çaknyşma sezewar bolandaky $U_3 = 3 \cdot U_1 = 3 \cdot 4.9V$ naprýaženiýa degişlidir. Şeýlelikde, tizlendiriji naprýaženiýaň artmagy bilen

$I_a = f(U)$ baglanyşygyň egrisi bir näçe maksimumlara we minimumlara eýe bolýar (2-nji surat).

Frankyň we Gersiň tejribesiniň netijelerinden görnüşine görä, simabyň atomlary bilen çaknyşanlarynda elektron öz energiýasyny 4,9eV -a deň bolan bölekler görnüşinde ýitirýärler. Başgaça aýdanymyzda, simabyň atomynyň esasy haldaky energiýasy bilen, golaýdaky tolgundyrylan haldaky energiýasynyň arasyndaky tapawut $E_1 = 4,9 \text{ eV}$ -a deňdir. Şeýlelikde, **Frankyň we Gersiň tejribeleri atom sistemalarynyň hallarynyň diskretlidigini (kesgitlidigini) gös-göni subut edýän tejribelerdir.**

3. Atomyň rezonans potensialy. Frankyň we Gersiň tejribesinde atomyň iň aşakda ýerleşen tolgunma derejesiniň, ýagny rezonans derejäniň tolgunmasyna gözegçilik edilýär we atomyň rezonans potensialy kesgitlenýär. **Atomyň rezonans potensialy** diýip, **atomyň rezonans derejesiniň tolgunmak energiýasyna san taýdan deň bolan energiýa eýe bolmak üçin elektronyň tizlendiriji elektrik meýdanynda geçmeli potensiallaryň tapawudyna aýdylýar.** Başgaça aýdanymyzda, **rezonans potensialy diýip atomy esasy haldan golaýdaky (birinji) tolgundyrylan hala geçirmek üçin elektronyň elektrik meýdanynda geçmeli potensiallarynyň tapawudyna aýdylýar.** Emma, eger atoma goşmaça energiýa berilse ol indiki (meselem, ikinji) tolgundyrylan hala geçer we ş.m. $I_a = f(U)$ baglanyşykdaky elektrik togunyň iň kiçi bahalarynyň (minimumlarynyň) arasyndaky potensiallaryň tapawudy, maýyşgak däl çaknyşmalar bolup geçýän zolaklaryň arasyndaky potensiallaryň tapawudyna deňdir, ýagny U_{rez} rezonans potensialyna deňdir. (2-nji surat) . Simabyň atomlary üçin rezonans potensialy 4,9 V deňdir. Şeýle hili tejribeler beýleki gazlar (Ne, Ar, He, we ş.m.) we metallaryň buglary bilen geçirildi. Meselem, geliý üçin rezonans potensialy 21,2 V, kaliý üçin –1,63 V, natriý üçin 2,12 V deňdigi tapyldy.

Frankyň we Gersiň tejribeleri aşakdaky netijä getirdi: **Atomlar bilen maýyşgak däl çaknyşmalarda elektronlar energiýalaryny diskret (kesgitli) bölekler görnüşinde ýitirýärler.** Munuň özi atomda stasionar (durnukly) hallaryň barlygyna şaýatlyk edýär, ýagny Boruň birinji postulatyny tasyklaýar.

5. Frankyň we Gersiň tejribesiniň kömegi bilen Boruň üçünji postulatynyň tassyklanyşy.

Frankyň we Gersiň bu tejribesi Boruň üçünji postulatyny hem tasyklaýar. Aýna turbajygyň içindäki simabyň buglary tolkun uzynlygy 2537 Å^0 bolan ultramelewşe şöhlelenmäniň hem çeşmesidir. Bor muny şeýle düşündirýär. Energiýasy E_1 bolan esasy haldaky simabyň atomy elektrondan $E_1 = 4,9 \text{ eV}$ bolan energiýany kabul edip, tolgundyrylan hal diýip atlandyrylýan, uly energiýaly E_2 hala geçýär. Atomyň tolgundyrylan haly stasionar däl (durnuksyzdyr). Atom tolgundyrylan halda bir azrak wagt ($\sim 10^{-8} \text{ s}$) saklanýar we soňra esasy hala gaýdyp gelýär. Şunlukda, Boruň üçünji postulatyna görä, atom energiýasy $h\nu = \Delta E_1 = 4,9 \text{ eV}$ bolan fotony şöhlelendirýär.

Tolkun uzynlygy bilen ýygylýgyň arasynda şeýle baglanyşyk bardyr:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

Onda
$$h \frac{c}{\lambda} = \Delta E_1$$

Bu deňlemeden şöhlelenýän ýagtylygyň tolkun uzynlygyny tapalýň:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{hc}{\Delta E_1} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{4,9 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = \\ &= 2537 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 2537 \text{ Å}^0 \end{aligned}$$

Şeýlelikde, Boruň üçinji postulaty esasynda hasaplanan tolkun uzynlyk, simabyň atomlarynyň şöhlelenme tolkun uzynlygyna deň boldy. Munuň özi Boruň üçinji postulatyny tasyklaýar.

Isiň ýerine ýetirilişi.

1-nji gönükmä:

1. Atomyň rezonans potensialyny kesgitlemäge mümkinçilik berýän desganyň zynjyryny ýygnamaly (1-nji surat).
2. Saklaýjy potensialyň tapawudyny belli bir ululykda goýmaly (saklaýjy $U_{saklaýjy}$ naprýaženiýanyň bahasyny mugallymdan almaly).
3. Tizlendiriji potensiallaryň tapawudyny (U) yzygiderlikde artdyryp mikroampermetriň görkezmelerini ýazmaly.
4. Saklaýjy naprýaženiýanyň beýleki bahasynda ölçegleri gaýtadan geçirmeli.
5. Saklaýjy naprýaženiýanyň iki bahasy üçin anod togunyň tizlendiriji naprýaženiýa baglylyk ($I_a = f(U)$) egrilerini gurmaly. Bu egrilerden geliý atomynyň rezonans potensialyny kesgitlemeli we olaryň orta bahasyny kesgitlemeli.
6. Geliý atomy tolgundyrylmadyk (esasy) hala geçende şöhlelenýän şöhläniň tolkun uzynlygyny $\lambda = \frac{hc}{\Delta E_1}$ formula boýunça hasaplamaly.
8. Alnan netijeleri 1-nji tablisa ýazmaly.

2-nji gönükmä:

1. Tizlendiriji naprýaženiýanyň ulylygyny 1-nji gönükmede kesgitlenen rezonans potonsialynyň bahasyndan bir azrak kiçi ululykda goýmaly we anod togunyň saklaýjy naprýaženiýa baglylygyny kesgitlemeli.
2. Tizlendiriji naprýaženiýanyň ulylygyny rezonans potensialynyň bahasynda bir azrak uly ululykda goýmaly we

anod togunyň saklaýjy naprýaženiýa baglylygyny kesgitlemeli.

3. $I_a = f(U_{saklayjy})$ baglanyşygyň egrisini gurmaly we egriden rezonans potensialy kesgitlemeli.

4. Alnan netijeleri 2-nji tablisa ýazmaly.

1-nji tablisa

$U_{saklayjy} =$	U, (V)								
	I_a , (μA)								
	U_{rez} , (V)								
$U_{saklayjy} =$	U, (V)								
	I_a , (μA)								
	U_{rez} , (V)								
$U_{orta rez}$, (V)									
$\lambda = \frac{hc}{\Delta E_l}$, (Å)									

2-nji tablisa

U,(V)	$U_{saklayjy}$ (V)								
	I_a , (μA)								
U,(V)	$U_{saklayjy}$ (V)								
	I_a , (μA)								
	U_{rez} , (V)								

Barlag üçin soraglar:

1. Boruň postulatlaryny aýdyň.
2. Maýyşgak we maýyşgak däl çaknyşmalar diýip nähilli çaknyşmalara aýdylýar?
3. Anod togunyň katod bilen toruň arasyndaky tizlendiriji naprýaženiýa baglylygyny düşündiriň.
4. Atomyň rezonans potensiyaly diýip nämä aýdylýar?

5-nji TEJRIBE IŞI

WODOROD ATOMYNYŇ SPEKTRAL KANUNALAÝYKLYKLARYNY ÖWRENMEK. RIDBERGIŇ HEMIŞELIGINI WE ELEKTRONYŇ MASSASYNY KESGITLEMEK.

Gerek abzallar we enjamlar:

1. Stiloskop.
2. Rumkorfyň tegegi.
3. Içi wodoroddan doldurylan turbajyk.

Işiň maksady:

Wodorod atomynyň spektriniň göze görünýän bölegindäki Balmeriň seriýasyny öwrenmek, tejribäniň netijeleri boýunça Ridbergiň hemişeligini we elektronyň massasyny kesgitlemek.

Meýilnama:

1. Boruň postulatlary.
2. Boruň nazaryýeti boýunça stasionar (durnukly) orbitalaryň radiuslarynyň kesgitlenişi.
3. Boruň nazaryýeti boýunça atomyň stasionar (durnukly) halynyň energiýasynyň kesgitlenişi.
4. Boruň nazaryýeti boýunça Balmeriň umumylaşdyrylan formulasynyň alnyşy.
5. Rizbergiň hemişeliginiň nazary hasaplanan we tejribeden alynan bahalarynyň deňeşdirilişi.
6. Boruň nazaryýeti boýunça atomlaryň spektrlerindäki seriýalaryň döreýşiniň fiziki düşündirilişi.

1. Boruň postulatlary. Atomyň energiýany şöhlelendirmesi baradaky kwant düşüňjesine esaslanyp 1913-nji-ýylda Nils Bor (Daniýa) atomyň durnuklylygyny we atom spektrlerindäki kanunalaýyklyklary düşündirdi.

Boruň postulatlary:

1-nji postulat stasionar (durnukly) hallar baradaky postulat: Atom diňe içki hereketiniň kesgitli hallarynda bolup bilýär. Bu hallara stasionar (durnukly) hallar diýilýär. Atom stasionar halda energiýany şöhlelendirmeýär we ýuwutmaýar.

Bu stasionar hallara elektronlaryň hereket edýän käbir stasionar orbitalary degişlidirler. Elektronlar stasionar orbitalarda hereket edenlerinde, olaryň tizlenmeleriniň barlygyna seretmezden, elektromagnit tolkunlaryny şöhlelendirmeýärler. Atomlar stasionar hallarda $E_1, E_2, \dots E_n$ kesgitli (diskret) hatary emele getirýän energiýalara eýedirler.

2-nji postulat (orbitalary kwantlama düzgüni): Elektronyň hereket mukdarynyň (impuls) momentiniň Plankyň h hemişeliginiň bitin sanyna deň bolup hereket edýän orbitalaryna stasionar orbitalar diýilýär, ýagny:

$$m_e \mathcal{G} \cdot r = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar$$

m_e - elektronyň massasy; \mathcal{G} - onuň tizligi; r - tegelek orbitanyň radiusy.

$n = 1, 2, 3, \dots$ –orbitanyň san belgisini görkezýän бүтін сан,

$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{c}$ - Plankyň hemişeligi. Başgaça

áýdanymyzda, elektron stasionar halda tegelek orbita boýunça hereket edende, onuň impuls momenti kesgitli (diskret) bahalara eýe bolmalydyr.

3-postulat (ýygylýklar düzgüni): Atom bir stasionar haldan beýlekä geçende energiýanyň bir kwanty şöhlelendirilýär ýa-da ýuwudylýar.

Atom energiýasy uly haldan energiýasy kiçi hala geçende şöhlenenýär. Bu ýagdaý elektron ýadrodan has uzakda ýerleşen orbitadan ýadro golaý ýerleşen orbita geçende ýüze çykýar.

Atom energiýasy kiçi haldan energiýasy uly hala geçende energiýany ýuwudýar. Bu ýagdaý elektron ýadrodan golaýda ýerleşen orbitadan, ýadrodan has uzakda ýerleşen orbita geçende ýüze çykýar.

Şeýle hili geçişlerde ýygylgy

$$h\nu = E_n - E_m$$

(E_n we E_m -atomyň başlangyç we ahyrky stasionar hallardaky energiýalary) gatnaşyk bilen kesgitlenýän bir reňkli şöhlenenme göýberilýär ýa-da ýuwudylýar.

Stasionar hallaryň biri stasionar bolýar. Bu hala **esasy hal** diýilýär. Eger atoma daşky güýçler täsir etmeýän bolsa, atom esasy halda islendik uzak wagt saklanyp biler.

Atomyň az wagtyň ($\sim 10^{-8}$ s (10^{-8} s makroskopik ölçegde örän kiçi ululykdyr, meselem, elektronyň aýlanma periody bilen deňşdireniňde, bu wagt ägirt uludyr)) dowamynda bolup bilýän halyna **oýandyrylan hal** diýilýär. Oýandyrylan hal stasionar däl. Ýagny atom käbir wagtdan soň özbaşdak, ýene-de esasy hala geçýär.

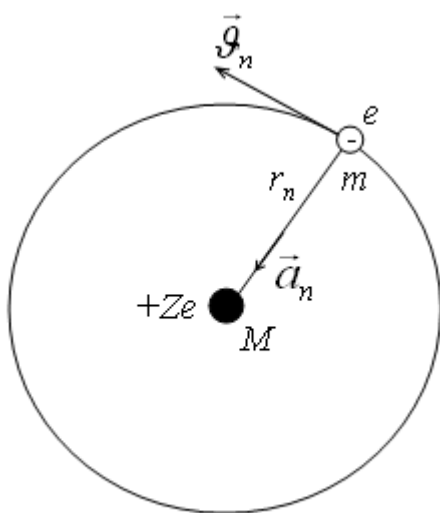
Boruň postulatlary nusgawy fizika bilen ylalaşmaýar. **Boruň postulatlary** elektronyň stasionar orbitalarynyň radiusarynyň we atomda elektronyň energiýalarynyň kesgitli bahalara eýe bolýandyklaryny (diskretlidigini) tassyklaýar. Şeýle hem bu postulatlar elektronyň tegelek orbita boýunça, şöhlenenmän, stasionar hereket edip bilýändigini tassyklaýar. **Nusgawy elektrodinamikanyň kanunlary** boýunça bolsa bu başgaçadyr: elektronyň hereket edýän orbitalarynyň radiuslary we olaryň energiýalary islendik baha eýe bolup bilýärler we ýadronyň daşynda orbita boýunça aýlanyp hereket edýän elektron bolsa elektromagnit tolkunlaryny üznüksiz şöhlelendirmelidir.

Boruň postulatlary wodorod we wodorodameñzeş atomlaryň spektral kanunalaýyklyklaryny düşündirmäge mümkinçilik berýär. **Wodorodameñzeş atom**, has takygy **wodorodameñzeş ion** - bu $+Ze$ (Z - bütin san) zarýady bolan ýadrodan we bir elektrondan ybarat bolan sistemadyr. Başgaça aýdanymyzda wodorodameñzeş atom, bu bir elektronyndan başga ähli elektronlary goparylan, Z tertip san belgili atomdyr. $Z = 1$ bolanda bu sistema wodorod atomyny, $Z = 2$ bolanda bu ulgam geliniň bir gezek ionlaşan atomyny (He^+), $Z = 3$ bolanda - litiniň iki gezek ionlaşan atomyny (Li^{++}), $Z = 4$ bolanda - berilliniň üç gezek ionlaşan atomyny (Be^{+++}) aňladýar.

Bor wodorod atomynyň nazaryýetini işläp düzmek bilen, nazary usul bilen Balmeriň umumylaşdyrylan formulasyny getirip çykardy we Ridbergiň hemişeligini hasaplady. Bu meseläni çözmek üçin oňa elektronlaryň stasionar orbitalarynyň radiuslaryny we stasionar hallaryň energiýalaryny tapmak zerur boldy. Hasaplamalarda elektronyň orbitasy töwerek diýip hasap edildi.

3. Boruň nazaryýeti boýunça stasionar orbitalaryň radiuslarynyň kesgitlenişi.

Wodorodameñzeş atomda e zarýadly elektron $+Ze$ zarýadly ýadronyň daşynda aýlanýar (1-nji surat). Boruň hasaplamalarynda ýadronyň massasy elektronyň massasyndan köp esse uly we şoňa görä-de, ýadro hereketsiz, elektron bolsa ýadronyň daşynda r radiusly töwerek boýunça aýlanýar diýip hasap edildi.



1-nji surat

elektrona täsir edýän kulan dartys güýjüniň ululygy:

Elektrona normal \vec{a}_n tizlenmäni ýadro tarapyndan ona täsir edýän \vec{F} kulon güýji berýär. Nýutonyň ikinji kanunyna görä $\vec{F} = m_e \vec{a}_n$, ýa-da bu güýjiň \vec{a}_n tizlenmäniň ugruna bolan proyeksiýasyny şeýle ýazmak bolar: $F = m_e a_n$ (1) bolar: Ýadro tarapyndan

$$F = \frac{Z \cdot e / \cdot e /}{4\pi\epsilon_o r_n^2} = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_o r_n^2} \quad (2)$$

Bu ýerde, $Z \cdot e /$ - ýadronyň zarýady: e - elektronyň zarýady, r_n - n -nji belgili orbitanyň radiusy; ϵ_o - dielektrik hemişelik;

\vec{a}_n normal tizlenmäniň (merkeze ymtylýan tizlenmäniň) moduly:

$$a_n = \frac{g_n^2}{r_n} \quad (3)$$

bu ýerde g_n - elektronyň çzyk tizliginiň ululygy. (2) we (3) formulalary (1)-formula goýup, alarys:

$$\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_n^2} = \frac{m_e g_n^2}{r_n} \quad (4)$$

Boruň II- postulatyna görä, elektronyň stasionar orbitalarynyň radiuslary kwantlama şertini kanagatlandyrmalydyr:

$$m_e g_n r_n = n\hbar \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (5)$$

ýagny, stasionar orbitalaryň radiuslarynyň bahalary erkin ululykda däl-de, diskret bahaly ululykda bolmalydyrlar. (4) we (5) deňlemelerden alarys:

$$g_n = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot \hbar} \cdot \frac{1}{n} \quad (6)$$

$$r_n = 4\pi\epsilon_0 \frac{\hbar^2}{m_e e^2} \cdot \frac{n^2}{Z} \quad n = 1, 2, 3, \dots) \quad (7)$$

r_n - n – nji belgili stasionar orbitanyň radiusy;

h we \hbar ululyklaryň arasyndaky $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ baglanyşygy

ulanyp, (7) deňlemeden alarys:

$$r_n = \frac{\epsilon_0 \hbar^2}{\pi m_e e^2} \cdot \frac{n^2}{Z}$$

(7¹)

(7) formuladan görnüşine görä, orbitalaryň radiuslary orbitalaryň belgileriniň kwadratyna baglylykda artýar, ýagny

$$r_1 : r_2 : r_3 \dots = n_1^2 : n_2^2 : n_3^2 \dots\dots$$

Wodorodyň atomynda ($Z = 1$) birinji ($n = 1$) stasionar orbitanyň radiusy aşakdaky ululyga deňdir::

$$r_1 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} = 0,529 \cdot 10^{-10} m = 0,529 \text{ Å} \quad (8)$$

Bu ululyga **birinji bor radiusy** diýilýär. Beýleki stasionar orbitalaryň radiuslary r_1 -e kratnydyr.

3. Boruň nazaryýeti boýunça atomyň stasionar halynyň energiýasynyň kesgitlenişi. Boruň nazaryýetine görä wodorod atomynyň doly energiýasy elektron bilen ýadronyň özara täsir U potensial energiýasyndan we elektronyň T kinetik energiýasyndan (ýadronyň kinetik energiýasyny hasaba almaýarys) ybaratdyr:

$$E = U + T \quad (9)$$

Atomyň çyzykly ölçegi ýadronyň we elektronyň çyzykly ölçeglerinden ep-esli uludyr we şoňa görä-de ýadrony we elektrony nokatlanç zarýadlar hasaplamak bolar. Elektrostatikadan belli boluşy ýaly iki sany dürli atly Q we q nokatlanç zarýadlaryň özaratäsir potensial energiýasy aşakdaky formula bilen kesgitlenýär:

$$U = \frac{Q \cdot q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

r - zarýadlaryň arasyndaky uzaklyk. Onda elektron bilen ýadronyň özara täsir potensial energiýasy şeýle kesgitlener:

$$U_n = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} \quad (10)$$

Bu formuladaky minus alamaty elektron bilen ýadronyň özara täsir potensial energiýasynyň dartýşma energiýasydygyny görkezýär.

Elektronyň kinetiki energiýasynyň $T_n = \frac{m v_n^2}{2}$ deňdigini nazara tutup, (4) aňlatmadan alarys:

$$T_n = \frac{Ze^2}{8\pi\epsilon_0 r_n} \quad (11)$$

(10) we (11) formulalary (9) –a goýup , alarys:

$$E_n = U_n + T_n = -\frac{Ze^2}{8\pi\epsilon_0 r_n} \quad (12)$$

Atomyň stasionar orbitalarynyň radiuslarynyň diskret baha eýe bolýandyklaryna ((7)- formula) görä, r_n radiusyň her bir bahasyna stasionar halyň energiýasynyň kesgitli ululygy degişli bolar. (7) we (12) deňlemelerden alarys:

$$E_n = -\frac{m_e Z^2 e^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2}, \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (13)$$

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$, onda (13) formulany h - yň üsti bilen şeýle aňladyp bolar:

$$E_n = -\frac{Z^2 m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}, \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (13^1)$$

(13) we (13¹) formulalardan görnüşine görä, **atomyň doly energiýasynyň bahalary diskret hatarlary emele getirýär we n baş kwant sany bilen kesgitlenýär.**

n -e dürli bitin san bahalaryny berip we beýýleki ululuklaryň bahalaryny ýerine goýup, (13) formula boýunça, wodorod atomynyň ($Z = 1$) stasionar hallaryna degişli energiýalaryň bahalaryny almak bolar:

$n = 1$ bolanda $E_1 = -13,55$ eV;

$n = 2$ bolanda $E_2 = -3,37$ eV;

$n = 3$ bolanda $E_3 = -1,5$ eV;

$n = 4$ bolanda $E_4 = -0,843$ eV

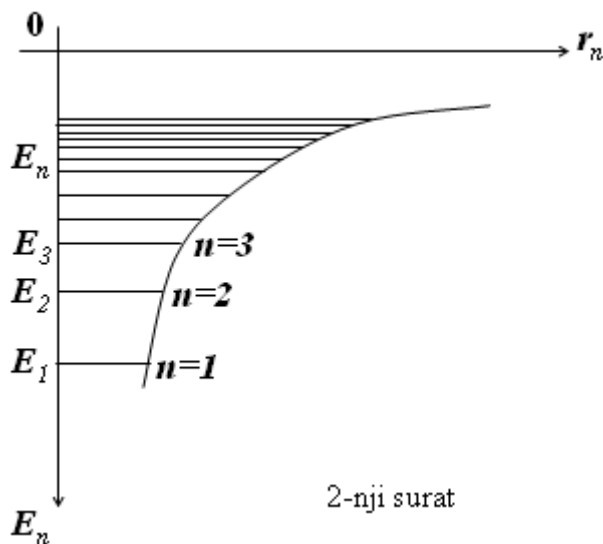
we. ş. m.

Atomyň energiýasynyň otrisateldigine görä, onuň absolýút bahasynyň näçe kiçi boldugyça, doly energiýanyň bahasy şonça-da uly bolýar, ýagny orbitalaryň radiuslarynyň artmagy bilen atomyň energiýasy artýar. Atomyň energiýalarynyň mümkin bolan bahalaryna **energiýanyň derejeleri** ýa-da **energetik derejeler** diýilýär.

Atomyň energiýalarynyň derejeleri gorizonta1 çyzyklar görnüşinde şekillendirilýär. Wodorodyň atomynyň energetik derejeleri 2-nji suratda görkezilendir.

(13) we (13¹) formulalardan görnüşine görä, n - iň bahasynyň artmagy bilen goňşy ýerleşen derejeleriň arasyndaky energiýalaryň tapawudy azalýar, ýagny energetik derejeleriň arasy ýygjamlaşýar (2-nji surat). $n \rightarrow \infty$ - da energiýanyň derejeleri özüniň $E_\infty = 0$ predel bahasyna toplanýarlar. Bu baha atomyň energiýasynyň uň uly (maksimal) bahasydyr. Bu ýagdaý elektron ýadrodan tükeniksiz uzak aralykda bolanda ýüze çykýar (ýadro we elektron bir-biri bilen özara täsir edişmeýär, ýagny atom ionlaşandyr).

Energiýanyň iň kiçi bahasyna (minimumyna) degişli bolan hal ulgamyň iň stasionar halydyr. Şoňa görä-de, $n = 1$ baha degişli bolan atomyň halyna esasy, ýa-da kadaly (oýandyrylmadyk) haly diýilýär. $n > 1$ bolan ähli hallar oýandyrylan hallardyr.



2-nji surat

Atomy esasy haldan oýandyrylan hala geçirmek üçin oña oýandyrylan we kadaly hallaryndaky energiýalarynyň tapawudyça energiýa bermek gerek.

4. Boruň nazaryýeti boýunça Balmeriň umumylaşdyrylan formulasynyň alnyşy. Atom oýandyrylan haldan esasy hala, ýa-da beýleki kiçi oýandyrylan hala geçende, ýagny pes energetik derejä geçende, energiýany ýitirýär. Bu energiýanyň şöhle görnüşinde bölünip çykmagy mümkin. Bu şöhläniň ýygylgy Boruň III-postulaty bilen tapylýar:

$$h\nu = E_n - E_m \quad (14)$$

E_n we E_m —atomyň iki stasionar haldaky energiýasy, $n > m$.
(13) formulany (14)-e goýup alarys:

$$h\nu = \frac{m_e Z^2 e^4}{32\pi^2 \varepsilon_o^2 \hbar^2} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \quad \text{we} \quad h = 2\pi\hbar, \quad \nu = \frac{c}{\lambda}, \quad \text{onda:}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{m_e Z^2 e^4}{64\pi^3 \varepsilon_o^2 \hbar^3 c} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (15)$$

$$\text{ýa-da} \quad \frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (15)$$

(15) formulalar **Balmeriň umumylaşdyrylan formulasydyr.** Bu formulada n we m —atomyň başlangyç we ahyrky hallaryny kesgitleýän baş kwant sanlar. Başgaça aýdanymyzda n we m berlen geçişdäkiatomyň başlangyç we ahyrky energetik derejeleriniň belgileri.

Wodorod ($Z = 1$) üçin Balmeriň umumylaşdyrylan formulasy aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (15^1)$$

5. Rizbergiň hemişeligiň nazary hasaplanan we tejribeden alynan bahalarynyň deňşdirilişi.

(15) formulada Ridbergiň hemişeligi:

$$R = \frac{m_e e^4}{64\pi^3 \varepsilon_0^2 \hbar^3 \cdot c} \quad (16)$$

ýa-da:

$$R = \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 \hbar^3 \cdot c} \quad (16^1)$$

Ridbergiň hemişeligi SGS birlikler sistemasynda:

$$R = \frac{m_e e^4}{4\pi \hbar^3 c} \quad (17)$$

ýa-da:

$$R = \frac{2\pi^2 m_e e^4}{h^3 \cdot c}$$

c , \hbar , e , m ululyklaryň häzirki bar bolan has takyk:

$$c = 2,9979246 \cdot 10^{10} \text{ sm/s}; \quad \hbar = 1,05458 \cdot 10^{-27} \text{ erg.s};$$

$$e = 4,8032 \cdot 10^{-10} \text{ SGSE bir.}; \quad m_e = 9,11095 \cdot 10^{-28} \text{ gram}$$

bahalaryny (17) formula goýup, R - üçin nazary hasaplanan bahany alarys:

$$R_\infty = 109735,7 \text{ sm}^{-1} \quad (19)$$

Tejribe (empirik) usuly bilen, ýagny has takyk spektroskopik ölçeglerden tapylan R_H -yň bahasy:

$$R_H = 109677,58 \text{ sm}^{-1}; \quad (20)$$

Nazary alynan (19) formula we tejribe üsti bilen alynan (20) formulalaryň kömegi bilen tapylan R -iň bahalary biri-birine has golaýdyr, emma bu tapawut tejribäniň ýalňyşlygynyň çäginde ulydyr. Diýmek, tejribeden alynan kanunalaýyklyklary suratlandyryan Boruň nazary hasaplamalarynda haýsy hem bolsa bir ýagday nazara

alynmandyr. Dogrudanam, Boruň nazary hasaplamalarynda atomyň ýadrosynyň M massasynyň elektronyň m_e massasyndan has uly bolany üçin ($M \gg m_e$) ýadronyň hereketi nazara alynmady. Biz (19) formulada R -e ∞ belgisini goýduk, sebäbi (17) formulada ýadronyň M massasy tükeniksiz uly we ýadro hereketsiz diýip hasap edildi. Şu hili çaklamada Ridbergiň hemişeligi ähli wodorodameňzeş atomlar üçin birmeňzeşdir.

Ýadro hereketsiz diýip hasap edilmegi üçin ýadronyň massasy elektronyň massasyndan tükeniksiz esse uly bolmaly. Emma, hakykatda bolsa bu beýle däl, ýagny ýadronyň gutarnykly massasy bardyr we wodorodyň ýadrosynyň massasynyň elektronyň massasyna bolan gatnaşygy:

$$\frac{M_H}{m_e} = 1836,15$$

deňdir. Bu ululyga we mehanikanyň kanunlaryna görä elektronyň we ýadronyň umumy inersiýa merkeziniň daşynda hereket edýändiklerini nazara tutsak, onda (17) formulada elektronyň massasyna derek elektronyň we ýadronyň getirilen massasyny goýmak gerek:

$$\mu = \frac{m_e M_Z}{m_e + M_Z}$$

M_Z – Z atom belgili ýadronyň massasy. Onda (17) formula şu görnüşe eýe bolar:

$$R_Z = \frac{\mu e^4}{4\pi\hbar^3 c} = \frac{m_e M_Z e^4}{4\pi\hbar^3 (m_e + M_Z)} = \frac{m_e e^4}{4\pi\hbar^3 c (1 + \frac{m_e}{M_Z})} \quad (21)$$

Wodorod üçin $M_Z = M_H$, onda

$$R_H = \frac{m_e e^4}{4\pi\hbar^3 c (1 + \frac{m_e}{M_H})} \quad (22)$$

$M_Z = M_H = \infty$ bolanda (21) formula (17) formula öwrülýär. Şoňa görä-de, (17) formula bilen hasaplanýan R - iň ululygyny R_∞ bilen bellesek, onda (22) formula aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$R_H = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m_e}{M_H}} \quad (23)$$

Onda, (21) formula umumy görnüşde şeýle bolar:

$$R_Z = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m_e}{M_Z}} \quad (24)$$

(24) formuladan görnüşine görä Ridbergiň hemişeligi ýadronyň massasyna bagly we şoňa görä-de, dürli wodorodameñzeş atomlar üçin, az hem bolsa, biri-birlerinden tapawutlanýarlar. (24) we (23) formulalar boýunça hasaplanan wodorod atomy üçin Ridbergiň hemişeligi

$$R_H = 109677,6 \text{ sm}^{-1}$$

deňdir we Ridbergiň hemişeliginiň tejribede alnan bahasy bilen oňat gabat gelýär. Munuň özi wodorodameñzeş atomlaryň energetik derejeleri üçin Boruň tapan formulasynyň dogrydygyny görkezýär.

6. Boruň nazaryýeti boýunça atomlaryň spektrlerindäki seriýalaryň döreýşiniň fiziki düşündirilişi.

Spektral seriýa diýip atom kesgitli stasionar hala ähli mümkin bolan oýandyrylan hallardan geçende şöhlelendirilýän monohromatik tolkunlaryň toplumyna aýdylýar.

Wodorodyň spektriniň her bir seriýasyndaky tolkunlaryň uzynlygy (15) formula bilen kesgitlenip bilinýär. Şeýlelikde, Laýmanyň, Balmeriň, Paşeniň, Breketiň we Pfundyň seriýalarynyň çyzyklarynyň döreýşini Boruň nazaryýeti şeýle düşündirýär.

Laýmanyň seriýasynyň çyzyklary atom ikinji, üçünji we ş.m. energetik derejelerden birinjä energetik derejä geçende şöhlelenýärler, ýagny bu seriýanyň çyzyklary elektronlar kwant sany $n = 2, 3, 4, \dots$ energetik derejelerden, kwant sany $m = 1$ derejä geçende döreýärler. Çyzyklaryň bu seriýasy spektriň ultramelewşe böleginde ýerleşendir. Başgaça aýdanymyzda, Laýmanyň seriýasynyň çyzyklary atom oýandyrylan haldan esasy hala geçende şöhlelenýär.

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 2, 3, 4, \dots$$

Laýmanyň formulasyndan Ridbergiň hemişeligiň fiziki manysy getirip çykarmak bolýar. Munuň üçin Laýmanyň formulasynda $n = \infty$ we $Z = 1$ (wodorod üçin) goýsak, alarys:

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R \quad (\tilde{\nu} - \text{tolkun sany})$$

Ýagny, **Ridbergiň hemişeligi - Laýmanyň seriýasynyň ýokary ýygylkly araçägidir.** $n \rightarrow \infty$ -da $E_\infty = 0$ bolýar, ýagny E_∞ dereje wodorod atomyny ionlaşdyrmak araçägi bilen gabat gelýär. Şoňa görä-de, **Ridbergiň hemişeligi wodorod atomynyň ionlaşmasyny ýüze çykarýan ýuwudylyan kwantyň ýygylgyna degişli bolan tolkun sanyna deňdir.**

Balmeriň seriýasynyň çyzyklary atom üçünji, dördünji, başynji we ş.m. energetik derejelerden ikinji energetik derejä geçende şöhlelenýärler, ýagny bu seriýanyň çyzyklary elektronlar kwant sany $n = 3, 4, 5, \dots$ energetik derejelerden,

kwant sany $m = 2$ derejä geçende döreyärler. Çyzyklaryň bu toplумы spektriň göze görünýän böleginde ýerleşendir. Balmeriň formulasy şeýle aňladylýar:

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4, 5, \dots$$

Infragyzyň şöhleler (Paşeniň, Breketiň, Pfundtyň we ş.m. seriýalaryň çyzyklary) elektronlar ýokarky energetik derejelerden, deňşlilikde $m = 3, 4, 5$, we ş.m. derejelere geçende görünýärler.

Şeýlelikde, Boruň postulatlaryny wodorodyň atomy üçin ulanmaklyk uly üstünlige getirdi we atomyň gurluşy baradaky ylymda, umuman fizikanyň osüşinde uly ädim boldy. Boruň postulatlary spektral çyzyklaryň seriýalaryny düşündirdi, atom orbitalarynyň radiuslaryny we Ridbergiň hemişeligini nazary hasaplamaga mümkinçilik berdi, bir topar kwant hadysalaryny düşündirdi, köp sanly tejribeleriň ýerine ýetirilmegine itergi berdi. Boruň nazaryýeti atom spektroskopiasyny esaslandyrmakda uly rol oýnady we bu nazaryýet atomyň içinde bolýan hadysalary düşündirmek üçin nusgawy fizikanyň kanunlaryny ulanyp bolmaýandygyny, mikrobölejikleriň äleminde kwant fizikasynyň kanynlarynyň esasy ähmiýete eýedigini görkezdi. Köp elektronly atomlarda bolup geçýän hadysalary Boruň nazaryýeti mukdar taýdan dogry düşündirip bilmese-de, hil taýdan şol hadysalary düşündirmäge esas bolup hyzmat etdi. Boruň nazaryýeti atom hadysalarynyň yzygiderli nazaryýeti bolan – kwant mehanikasyna geçiş basgançagy boldy.

Şol bir wagtyň özünde **Boruň nazaryýetiniň kemçilikleri** hem bardyr, ýagny Boruň nazaryýeti:

1). Wodorod we wodorodameňzeş atomlaryň spektrlerindäki spektral çyzyklaryň intensiwligini hasaplamaga mümkinçilik bermedi;

2). D.I.Mendeleyewiň periodiki sistemasynda wodoroddan soň ýerleşen geliniň atomynyň nazaryýetini döretmäge mümkinçilik bermedi;

3). Wodorodyň molekulasyndaky (H_2) iki atomyň özara täsiriniň sebäbini düşündirip bilmedi;

4). Ýagtylygyň dispersiýa hadysasynyň nazaryýetini döretmeklige ýardam edip bilmedi.

Boruň nazaryýetiniň esasy kemçiligi, ol hem, onuň içki logiki gapma-garşylygydyr. Bu nazaryýet yzygiderli nusgawy hem däl, şeýle hem, yzygiderli kwant nazaryýeti hem däl, ýagny bir hadysany düşündirmek üçin nusgawy mehanikanyň kanunlaryny peýdalanýardy (meselem, orbitalaryň radiuslaryny kesgitlemekde), beýleki hadysalary düşündirmek üçin bolsa kwant nazaryýetiniň şertlerinden peýdalanýardy (meselem, orbitalary kwantlama düzgüninden).

Isiň ýerine ýetirilişi:

1. Mugallymyň kömegi ýa-da onuň rugsady bilen stiliskopyň giriş ýarçygynyň önünde goýulan wodoroddan doldurylan turbajykda zarýadsyzlanma almaly. Stiliskopyň görüş ýarçygyndan seredip wodorod atomynyň çyzykly spektriniň göze görünýän bölegindäki ýiti dört sany çyzyga syn etmeli:

Gyzyl çyzyk ýa-da H_α çyzyk ($n = 3$);

Mawy çyzyk ýa-da H_β çyzyk ($n = 4$);

Melewşe çyzyk ýa-da H_γ çyzyk ($n = 5$);

Melewşe çyzyk ýa-da H_δ çyzyk ($n = 6$);

2. Stiliskopyň mikrometrini aýlap wodorod atomynyň spektriniň gyzyl çyzygyny tapmaly we görüş turbasyndaky görünýän peýkamy gyzyl çyzygyň ortasynda ýerleşdirmeli we bu ýagdaýda stiliskopyň mikrometriniň x görkezmesini almaly.

Soňra wodorod atomynyň spektriniň mawy we melewşe çyzyklaryny tapmaly we deňişlilikde mikrometriň x

görkezmelerini almaly. Fiziki maglumatnamalardan wodorod atomynyň spektrinde $x = f(\lambda)$ baglylygyň egrisi boýunça Balmeriň seriýasynyň gyzyly, mawy we melewşe çyzyklarynyň λ tolkun uzynlyklaryny tapmaly we ol bahalary 1-nji tablisa ýazmaly:

1-nji tablisa

№	Spektral çyzyklar	Stiliskopyň mikrometriniň görkezmesi, x	Wodorod atomynyň spektral çyzyklarynyň tolkun uzynlygy λ, A^0
1	Gyzyl		
2	Mawy		
3	Melewşe		
4	Melewşe		

3. (15¹) deňlemeden alnan formula boýunça her bir spektral çyzyk üçin Ridbergiň hemişeligini, ýagny

$$R_{\infty} = \frac{m^2 n^2}{\lambda(n^2 - m^2)}$$

ululygy hasaplamaly. Soňra onuň orta bahasyny kesgitlemeli. Alnan bahalary 2-nji tablisa ýazmaly.

4. (21) formulada $\frac{M_z}{m_e + M_z} \approx 1$ we $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ diýip

hasap edip we Ridbergiň hemişeliginiň tapylan orta bahasyny ulanyp

$$m_e = \frac{(R_{\infty})_{orta} h^3 c}{2\pi^2 e^4}$$

formulanyň kömegi bilen elektronyň massasyny hasaplamaly.

Bellik: Bu formulada fiziki ululyklaryň SGS birlikler sistemasyndaky bahasyny ulanmaly, ýagny

$$h = 6,626 \cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s};$$

$$c = 3 \cdot 10^{10} \text{ sm} / \text{s};$$

$$e = 4,8 \cdot 10^{-10} \text{ SGSE bir.}$$

Alnan netijäni elektronyň $m_e = 9,11095 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

massasynyň bahasy bilen deňeşdirmeli we elektronyň massasynyň hem-de Ridbergiň hemişeliginiň kesgitlenişiniň takyklygyna baha bermeli.

2-nji tablisa

№	Spektral çyzyklar	Tolkun uzynly gy λ , nm	Kwant sany, m	Kwant sany, n	Ridbergiň hemişeligi R_∞ , sm^{-1}	R_∞ -iň orta bahasy $(R_\infty)_{\text{orta}}$ sm^{-1}
1	Gyzyl		2	3		
2	Mawy		2	4		
3	Melewşe		2	5		
4	Melewşe		2	6		

Barlag üçin soraglar:

1. Boruň postulatlaryny aýdyň.

2. Çzykly we bütewi spektrleriň tebigatyny düşündiriň.
3. Atomyň energiýasynyň otrisatel bahasynyň manysyny düşündiriň.
4. Laýmanyň, Balmeriň, Paşeniň we beýleki seriýalaryň döreýşini düşündiriň.
5. Boruň atom modeliniň üstünliklerini we kemçiliklerini aýdyň.
6. Tegelek orbita boýunça aýlanýan elektronyň ýygylgy üçin aňlatmany getirip çykaryň.

6-ňjy TEJRIBE IŞI

ELEKTRIK TOGUNY ÄKIDIJILERIŇ ÝAŞAÝYŞ WAGTYNY KESGITLEMEK

Gerek abzallar we enjamlar:

1. Elektron ossillografiya-O/III-2.
2. Modulýasiýa diskli elektrik hereketlendiriji.
3. Fotoelement
4. Fotoelementi ýagtylandyrmak üçin çyra.
5. Göneldiji-BC

Işň maksady:

Ýarymgeçirijilerde elektrik toguny äkidijileriň ýaşayyş wagtyny kesgitlemek usulyny öwrenmek.

Meýilnama:

1. Metallar, dielektrikler we ýarymgeçirijiler.
2. Rugsat edilen, gadagan edilen we geçiriji zonalar.
3. Ýarymgeçirijileriň metaldan tapawudy.
4. Kristaldan elektrik togunyň geçiş mehanizmi.
5. Geçirijiligiň temperatura baglylygy.
6. Deňagramly we deňagramсыз elektrik toguny äkidijileri bolan ýarymgeçirijiler.
7. Fotogeçirijileriň relaksasiýa egrileri.

1. Metallar, dielektrikler we ýarymgeçirijiler. Gaty jisimler özleriniň elektrik häsiýetlerine görä metallara (geçirijilere), dielektriklere we ýarymgeçirijilere bölünýärler.

Metallarda daşky, walent elektronlary diýlip atlandyrylýan elektronlar atom ýadrolary bilen gowşak baglanyşyklydyrlar. Şoňa görä-de, metallardaky elektronlar uly bolmadyk daşky elektrik meýdanynyň täsiri astynda öz ýerlerini taşlap bilýärler we elektrik toguny äkitmeklige gatnaşýarlar. Metallaryň gowy geçirijiligi we kiçi udel garşylygy ($\rho = 10^{-6} - 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}$) metallarda erkin elektronlaryň mukdarynyň köplügindendir.

Dielektriklerde elektronlar atom ýadrolary bilen örän berk baglanyşyklydyrlar. Şoňa görä-de, dielektriklere goýulan naprýaženiýe örän uly bahalara ýetende (deşme naprýaženiýede), diňe şonda olar elektrik toguny geçirip başlaýarlar. Gejirmeýjilerde (dielektriklerde) erkin elektronlaryň mukdary az we udel garşylygy $\rho = 10^8 - 10^{13} \text{ Om} \cdot \text{m}$ deňdir.

Ýarymgeçirijilerde temperaturanyň artmagy bilen udel elektrik garşylygy kemelýär. Ýarymgeçirijilere Ge germaniý, Si kremniý, Se selen, Te tellur, B bor, C uglerod, P fosfor, S kükürt, As myşýak, Sb surma, I ýod we başgalar degişlidir. Ýarymgeçirijileriň udel garşylygy $\rho = 10^{-5} - 10^8 \text{ Om} \cdot \text{m}$ aralygyndadyr. Ýarymgeçirijiler elektrik geçirijiligi boýunça metallardan kiçi, dielektrikler bilen deňeşdirilende - uly bolan maddalaryň görnüşine degişlidir. Metallar bilen deňeşdirilende ýarymgeçirijilerde walent elektronlary atom ýadrolary bilen has güýçli baglanyşykda bolýarlar we dielektrikler bilen deňeşdirilende bolsa, has gowşak baglanyşykda bolýarlar. Ýarymgeçirijiler pes temperaturalarda dielektriklere, ýokary temperaturalarda geçirijilere meňzeşdirler. Ýarymgeçirijileriň elektrik geçirijiligi daşky täsirlere - gyzdymaklyga, ýagtylyk akymyna we ş.m. baglydyr.

Ýarymgeçirijileriň häsiýetleri gaty jisimiň zona nazaryýeti bilen düşündirilýär.

2. Gadagan edilen, rugsat edilen we geçiriji zonalar. Belli boluşy ýaly,

goragly atomda elektronlar energiýanyň kesgitli (diskret) kwant bahalaryna eýedirler. Kristalda elektronlar diňe bir öz atomlary bilen özaratäsir edişmän, gönşulary bilen hem özaratäsir edişýär, Bu bolsa diskret derejeleriň üýtgemigine we **energetik zonalaryň** döremekligine getirýär. Bu zonalaryň her haýsysy özaratäsiriň netijesinde aýratyn atomlaryň energetik derejeleriniň bölünmegi netijesinde döreyärler. N sany

özbaşdak atomlardan gaty jisim emele gelende, her bir energetik dereje bir-birine örän ýakyn ýerleşen N sany derejäni emele getirýär. Başgaça aýdanymyzda, bir sany energetik taýdan rugsat edilen dereje N sany (N - atomlaryň sany) derejä bölünýär. Bölünmekligiň bu prosessine, esasan hem walent elektronlary, ýagny atomlaryň daşky elektron gabyklaryndaky elektronlar gatnaşýarlar. Bu energetik derejelere **zona** diýilýär. Goňşy energetik derejeler käbir aralyk bilen bir-birinden aýrylandyrlar. Kristalyň energetik spektrlerindäki bu $\Delta\varepsilon$ aralyga “yş” diýilýär (1-nji surat). Olara **gadagan edilen zonalar** diýilýär. Başgaça aýdanymyzda, energiýanyň rugsat edilen zonalarynyň aralygyna (energiýanyň rugsat edilen gymmatynyň ýok bölegine) **gadagan zona** diýilýär. Ähli beýleki zonalara **rugsat edilen zonalar** diýilýär.

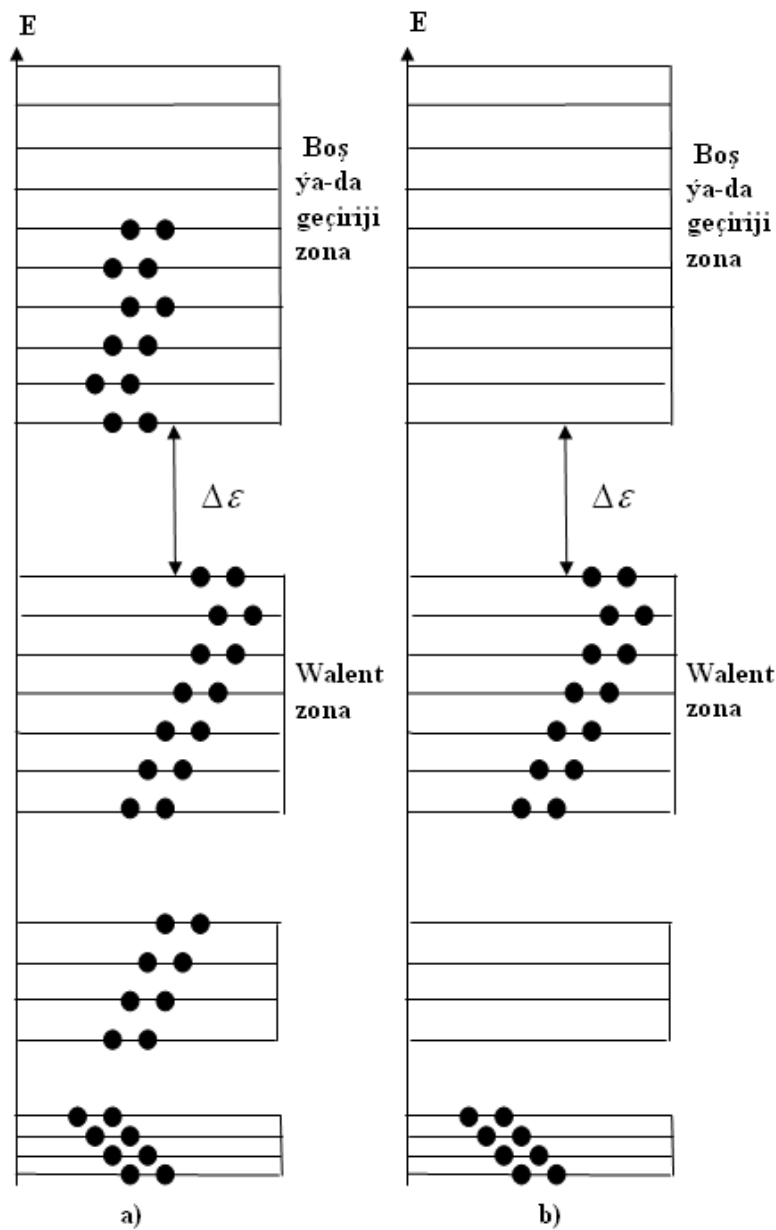
Elektronlar bilen doldurylan zonanyň ýokarky bölegine **walent zona** diýilýär. Energiýanyň iň uly bahalaryna degişli bolan iň gyraky zona, ýagny, elektronlar bilen hemme derejeleri eýelenmedik zona **erkin, ýa-da geçiriji zona** diýilýär (1-nji surat). Goňşy zonalaryň bir-birine has golaý ýerleşýän, ýa-da bir-birini ýapyp bilýän ýagdaýlaryň hem bolýandygyny bellemek gerek.

Rugsat edilen zona köp, emma gutarnykly sanly energetik derejelerden ybaratdyr. Rugsat edilen zonalaryň ini birnäçe elektronwolta deňdir, energetik derejeleriň sany bolsa, bu zonany emele getirýän diskret derejeleri bolan atomlaryň kristaldaky sany bilen kesgitlenýär. N sany derejeleri saklaýan zonada, Pauli prinsipine görä, $2N$ sany elektron bolmaly.

Elektrik meýdanynyň täsiri netijesinde elektron has ýokary energetik derejelere geçmek üçin ýeterlik goşmaça energiýa eýe bolanda elektrik geçirijiligi ýüze çykýar. Elektrik geçirijiligi diňe bölekleyin doldurylan zonalaryň üsti bilen amala aşyrylýar.

3. Ýarymgeçirijileriň metaldan tapawudy. Geçiriji zonasy bölekleyin doldurylan (şol sanda absolýut nol temperaturada) maddalar metallara deňşlidirler (1-nji a surat).

Zona nazaryýetine görä ýarymgeçirijiler we dielektrikler gadagan edilen zonanyň ini bilen tapawutlanýarlar. Absolýut nol temperaturada dielektrikler üçin geçiriji zona boşdur we walent zonadan, inli, gadagan edilen $\Delta\mathcal{E}$ energiýa aralygy (gadagan edilen zona) bilen bölünendir (1-nji b surat). Ýrymgeçirijilerde hem geçiriji zona boşdur (1-nji b surat), emma gadagan edilen $\Delta\mathcal{E}$ zonanyň ini kiçidir we kT ýylylyk hereketiniň orta energiýasyndan kän bir uly bolmaýar. Şoňa görä-de, hatda otag temperaturalarynda hem, walent elektronlarynyň bir bölegi doldurylan zonadan ýylylyk hereketiniň täsiri netijesinde geçiriji zona geçýärler we ýarymgeçiriji elektrik toguny geçirip başlaýar.



1-nji surat

Ýarym geçirijilerde gadagan edilen zonanyň $\Delta\varepsilon$ ininiň kiçiligine görä, $T \gg 0K$ temperaturalarda ýylylyk täsiri netijesinde elektronlaryň walent zonadan geçiriji zona geçmekleri mümkin. Temperaturanyň artmagy bilen ýylylyk täsiriniň netijesinde geçişň intensiwligi çalt artýar, sebäbi, T temperaturada elektronyň $\Delta\varepsilon$ energiýa eýe bolmaklygy $\exp[-\Delta\varepsilon/(kT)]$ proporsionldyr.

Şunlukda, geçiriji zonada elektronlaryň döremekligi bilen bir wagtda, elektronlar bilen doly walent zonada boş derejeler (wakansiýalar) emele gelýärler. Daşky elektrik meýdanynda bu boş derejeler (wakansiýalar) elektronlaryň hereket ugrunyň ters ugruna hereket edýärler, şeýlelikde, zaryady elektronyň zaryadyna deň bolan položitel zaryad hereket edýän ýaly ýagdaý döreýär. Başgaça aýdanymyzda, boş derejeler (wakansiýalar) položitel zaryadyň döremekligi bilen deňgüýçlidir we olar ýarymgeçirijiniň elektrik meýdanynda edil položitel zaryad ýaly ornuny üýtgedýärler. Şeýle boş (wakant) hallara **deşikler**, ýarymgeçirijiniň walent zonasynnda deşikleriň hereketi bilen dörän geçirijilige **deşikli geçirijilik**, ýa-da **p – geçirijilik** diýilýär. Elektronlaryň hereketi bilen dörän geçirijilige bolsa **elektron geçirijilik**, ýa-da **n – geçirijilik** diýilýär.

Deşikleriň hereketi hakyky (real) bölejikleriň hereketi bolman, ol ýarymgeçirijide ähli köp elektronly ulgamyň hereket häsiýetini şekillendirýär.

4. Kristaldan elektrik togunyň geçiş mehanizmi.

Bilişimiz ýaly, ähli kristallar metallara, dielektriklere we ýarymgeçirijilere bölünýärler. Ýylylyk hereketininiň täsirini aýyrmak üçin, ilki başda, kristalyň temperaturasy absolyút nola deň diýip hasap edeliň. Pauli prinsipine görä her bir energetik derejede spinleri garşylykly ugrukdyrylan iki elektrondan köp elektron bolup bilmeýär. Deňagramlyk ýagdaýynda iň aşaky

energetik derejeler elektronlar bilen doldurylgy bolýarlar, ýokarky derejeler bolsa boş bolýarlar.

Dielektrikleriň walent zonasy elektronlar bilen doly doldurylandyr, ondan ýokarda, ini $E \gg 3eW$ bolan energelik yş (gadagan edilen zona) bilen aýrylan geçiriji zona bolsa boşdur, ýagny elektronlary saklaýan däl. Şoňa görä-de, gowşak elektrik meýdanlarynda (deşme naprýaženiýasyndan gowşak elektrik meýdanlarynda) dielektrik elektrik toguny geçirmeýär. Bu hakykatdan hem şeýle bolýar, sebäbi kwant nukdaý nazary boýunça elektik togy, elektronlar bir energetik derejeden beýleki derejä geçende döremeli. Eger walent zonada ähli derejeler elektronlar bilen doldurylan bolsa, onda tok döremez. Sebäbi, ýokarda belleýşimiz ýaly elektrik togy, bu bir haldan beýleki hala üznüksiz geçýän elektronlaryň hereketidir. Diýmek, elektronlar, bütinleý doldurylan walent zonada bolýarkalar, **elektrik toguny döretmäge gatnaşyp bilmeýärler.**

Elektrik toguny döretmek üçin walent zonada doldurylmadyk energiýa derejelerini döretmek gerek, ýagny käbir elektronlary walent zonadan geçiriji zona geçirmeli. Elektrik deşme naprýaženiýasyndan (dielektrikler üçin elektrik deşme naprýaženiýasy $((1 - 4) \cdot 10^5 W / sm$ deň) kiçi elektrik meýdanlary walent zonadan geçiriji zona elektrony geçirip bilmeýär. Has güýçli elektrik meýdanlarda dielektrikleriň elektrik deşilmesi bolup geçýär.

Indi, metallarda, dielektriklerde we ýarymgeçirijilerde elektrik togunyň döreýişine aýratynlykda seredeliň.

Metallarda walent zona elektronlar bilen bütinleý **doldurylan**, geçiriji zona bolsa bölekleyin doldurylan. Metallarda walent zona bilen geçiriji zonalaryň bir-birine has golaý ýerleşmekleri, hat-da bu zonalaryň bir-birlerini ýapmaklary hem mümkin. Esasy zat, geçiriji zonada elektronlar bilen doldurylmadyk **boş hallar bolmaly**. Kristala daşky \vec{E}

elektrik meýdany goýulanda geçiriji zonanyň içindeki kwant hallary azyrak üýtgeýärler, emma, bu zonada elektronlar bilen doldurylmadyk hallar galýarlar. Elektronlarda bu doldurylmadyk hallara geçmeklik mümkinçiligi döreyär.

Elektronlaryň \vec{E} elektrik meýdanynyň ugruna bolan hereketi bilen baglanyşykly geçiş, ýagny, oňa täsir edýän güýje ters ugrukdyrylan hereketi bilen baglanyşykly geçiş, kristalyň energiýasynyň artmagyna getirýär.

Elektronyň hereketiniň ters ugry bilen baglanyşykly bolan geçiş, tersine, bu energiýany kiçeldýär. Şoňa görä-de,

elektronlaryň \vec{E} meýdanyň tersine bolan geçişleriniň ähtimallygy uludyr we ters ugra bolan geçişlerden köp bolar. Togyň ugruny kesgitlemek üçin kabul edilen ylalaşyga laýyklykda, kristalyň üstünden \vec{E} meýdanyň ugry boýunça elektrik togy akar.

Äkidilýän zarýadlar, eger olar kristalyň gyrasyndan aýrylmasa, olar goýulan \vec{E} meýdanyň ugruna ters bolan elektrik meýdanyny döreder. Netijede, tok ahyr soňy kesiler. Şeýle ýagdaýyň bolmazlygy üçin, goýulan elektrik meýdanyny saklap, bu görkerilen zarýadlary kristalyň gýralaryndan aýyrmak gerek.

Şeýle hem kristaly, meselem, üýtgeýän magnit meýdanynda ýerleşdirip, kristalda köwlenme elektrik meýdanyny döretmek bolar. Bu ýagdaýda deňagramlyk mümkin däl, we kristalyň içinde elmydama induksion elektrik togy aýlanyp (sirkulýasiýa) durar.

Ýarymgeçirijilerde, edil dielektriklerdäki ýaly, walent zona elektronlar bilen **doly doldurylan**, geçiriji zona bolsa **bütinleý boşdur** (1-nji b surat). Bu iki zonalar bir-birlerinden $\Delta\varepsilon$ yş bilen aýrylandyrlar. Ýarymgeçirijilerde bu yşyň ini $\Delta\varepsilon(3eW)$, ýagny dielektrikler bilen deňeşdireniňde yşyň ini kiçidir. Absolýut nol temperaturada elektron walent zonadan

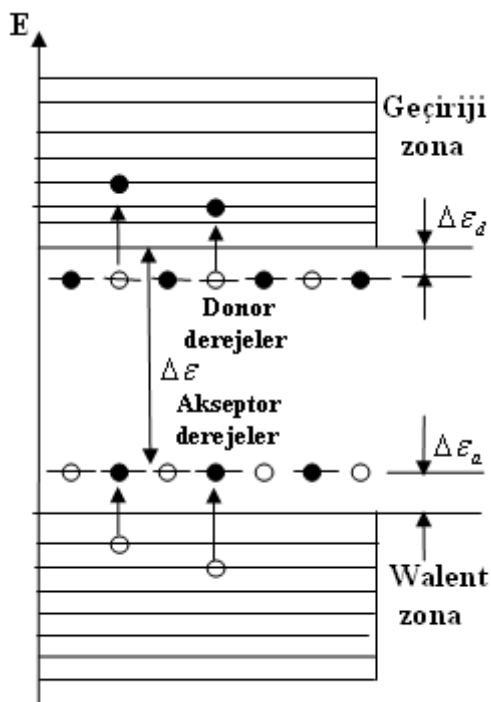
geçiriji zona geçip bilmeýär (eger tunnel geçişi hasap etmesek). Eger-de, kristalyň energiýasy absolýut nol temperaturadan tapawutly bolsa, onda walent zonadaky elektron, kristal gözeneginiň ionyndan kT ululykdaky energiýany alýar we geçiriji zona geçip bilýär. Şeýle geçiş başga usul bilen hem amala aşyrylyp bilner, meselem, kristaly ýagtylandyrmak bilen. Geçiriji zona elektronynyň geçiriliş usulyna bagly bolmazdan, kristal elektrik toguny geçirmäge ukyply bolýar.

Edil metallardaky ýaly, ýarymgeçirijilerde geçirijilik geçiriji zona geçýän elektronlar bilen döredilýär. Walent zonadan giden elektron, bilişimiz ýaly, walent zonada doldurylmadyk haly (deşigi) galdyrýar. Walent zonadaky beýleki bir elektron bu doldurylmadyk hala geçmäge mümkinçilik alýar. Şunlukda, walent zonada täze deşik döreýär, bu deşige üçinji elektron geçip bilýär, we ş.m. Bilişimiz ýaly, \vec{E} elektrik meýdany bar mahaly, elektronlaryň \vec{E} meýdanyň garşysyna bolan hereketi bilen baglanyşykly geçişler, elektronlaryň ters hereketi bilen baglanyşykly bolan geçişlerden, has ähtimaldyr. Bu bolsa \vec{E} meýdanyň ugruna ugrukdyralan togy döreder. Elektronynyň hereketi bilen bilelikde, deşiklere degişli bolan, emma ters ugra ugrukdyrylan hereket dörrär. Otrisetel elektronlaryň hereketi bilen däl-de, olara ters ugurda hereket edýän položitel zaryadlanan deşikleriniň hereketi bilen tok emele gelýän ýaly hadysa döreýär.

Örän az mukdardaky garyndylar hem, ýarymgeçirijileriniň elektrik geçirijiligini güýçli artdyrýar. Olar gadagan edilen zonada (walent zona bilen geçiriji zonanyň aralygyndaky yşda) goşmaça energetik derejeleri döredýärler. Goý, şeýle derejeler geçiriji zonanyň gyrasyna golaý aralykda ýerleşen bolsunlar (2-nji surat). Onda elektronlaryň bu derejelerden geçiriji zona geçmeklik mümkinçiligi göreýär. Netijede ýarymgeçirijiniň geçirijiligi artýar. Şeýle hili garyndylara **donorlar** diýilýär.

Olar geçiriji zona elektronlary berýärler we ýarymgeçirijiniň geçirijiligini artdyryýarlar.

Eger-de, goşmaça derejeler walent zonanyň gyrasyna golaý aralykda ýerleşýän bolsa, onda elektronlar walent zonanadan bu energetik derejelere geçmäge mümkinçilik alýarlar. Netijede, walent zonada deşikler emele gelýärler (2-nji surat) we ýarymgeçirijiniň geçirijili artýar. Şeýle geçirijilige **deşikli geçirijilik**, degişli garynda bolsa – **akseptor** diýilýär.



2-nji surat

Eger ýarymgeçirijide elektronlaryň sany deşikleriň sanyna deň bolsa, onda şeýle hili geçirijilikli ýarymgeçirijä **hususy ýarymgeçiriji** diýilýär. Olara arassa Ge germaniý we Si kremniý degişlidir.

Eger arassa ýarymgeçirijiniň düzümine garyndy (donor ýa-da akseptor) goşulsa, onda, ýa-da diňe geçirijiligi elektron görnüşli (n- ýarymgeçiriji) ýarymgeçirijini almak bolar, ýa-da diňe geçirijiligi deşikli görnüşli (p- ýarymgeçiriji) ýarymgeçirijini almak bolar. Bu gadagan zonada degişlilikde donor ýa-da akseptor derejeleriniň döremekligi bilen baglanyşyklydyr (2-nji surat).

Ge germaniý we Si kremniý üçin donor bolup periodik ulgamyň V toparynyň elementleri P fosfor, As myşýak, Sb surma hyzmat edýärler. Ge we Si üçin akseptor bolup III toparyň elementleri B bor, Al alýuminiý, Ga galliý, In indiý hyzmat edýär.

Walent zonany geçiriji zonadan aýyrýan gadagan edilen zonanyň $\Delta\mathcal{E}$ ini aktiwasiýa energiýasyna barabardyr.

$\Delta\mathcal{E}_d$ we $\Delta\mathcal{E}_a$ ululyklara, degişlilikde, donorlaryň we akseptorlaryň aktiwasiýa energiýalary diýilýär. Elektronýň geçiriji zonada döremekliginiň ähtimallygy $\exp[-\Delta\mathcal{E}_d/(kT)]$ ululyga, deşigiň walent zonada döremekliginiň ähtimallygy bolsa $\exp[-\Delta\mathcal{E}_a/(kT)]$ ululyga proporsionaldyr.

5. Geçirijiligiň temperatura baglylygy.

Ýarymgeçirijileriň geçirijiligi temperaturanyň artmagy bilen güýçli artýar. Arassa ýarymgeçirijilerde elektronlaryň ýylylyk hereketiniň intensiwliginiň artmagy, elektronlaryň energetik ysýň üstünden, walent zonadan geçiriji zona geçmeklik ähtimallygyny artdyrýar. Şeýle hem garyndy bar mahalynda elektronlaryň garyndyly derejelerden geçiriji zona, ýa-da elektronlaryň walent zonadan garyndyly derejelere geçmeklik ähtimallygy artýar. Bu prosessleriň ählisi ýarymgeçirijilerde togy äkidijileriň mukdarynyň (konsentrasiýasynyň), ýagny elektronlaryň we deşikleriň artmagyna getirýär. Temperaturanyň artmagy bilen ýarymgeçirijileriň geçirijiligiň artmagy şonuň bilen düşündirilýär.

Metallarda bu başgaça bolup geçýär. Metallarda elektronlaryň mukdary (konsentrasiýasy) temperatura bagly däl. Metallarda geçirijilik, esasan hem elektronnyň **erkin ylgawynyň uzynlygy** bilen kesgitlenýär. Erkin ylgaw uzynlygy gözenegiň garyndylary bilen çäklenendir. Geçirijiligiň bu degişli bölegi temperatura bagly däl. Garyndylary we näsazlyklary (defektleri) bolmadyk, tükeniksir ideal kristall gözenekde, elektronnyň hereketini häsiýetlendirýän de Broýlyň tekiz tolkuný sönmän we pytraman ýaýrardy. Şeýle kristalyny geçirijiligi tükeniksiz uly bolardy. Hakykatdan hem elektronnyň erkin ylgawy kristalyny ölçegleri, şeýle hem kristal gözenegiň ýylylyk süýşmeleri (fluktuasiýalary) we näsazlyklary (defektleri) bilen çäklenendir. Bu çäklenmeler, elektronnyň erkin ylgawynyň uzynlygyny kiçeldip, temperaturanyň artmagy bilen artýar. Netijede, arassa metallaryň geçirijiligi, temperaturanyň artmagy bilen kiçelýär (bu aýdylanlar aşageçirijilere degişli däl).

Ýarymgeçirijileriň σ udel elektrik geçirijiliginiň bahasy metallaryň udel geçirijiligi ($\sigma \sim (10^6 - 10^4) \text{Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$) bilen dielektrikleriň ($\sigma \sim (10^{-10} - 10^{-12}) \text{Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$) aralygynda ýerleşýär (bu ýerde udel elektrik geçirijilikleriň otag temperaturasyna degişli bahalary getirilen). Ýarymgeçirijileriň metallardan esasy aýratynlygy, ol hem, ýarymgeçirijileriň elektrik geçirijiliginiň temperaturanyň ýokarlanmagy bilen artmagydyr. Elektrik geçirijiligiň zarýady äkidijileriň sanyna proporsionaldygyny göz önüne tutup, ýarymgeçirijilerde udel elektrik geçirijiligi aşakdaky görnüşde aňlatmak bolar:

$$\sigma = A \exp \left[- \Delta \varepsilon / (2kT) \right]$$

bu ýerde $\Delta \varepsilon$ - hususy ýarymgeçirijiler üçin gadagan edilen zonanyň ini (energetik ysşyň ini), ýa-da n - ýa-da p - ýarymgeçirijiler üçin $\Delta \varepsilon_d$ we $\Delta \varepsilon_a$ aktiwasiýa energiýalary. A – köpeldiji ýarymgeçirijiniň tebigatyna bagly we temperatura

görä az üýtgeýär. Ýarymgeçirijiler garşylygyň otrisatel temperatura köpeldijisine eýedirler, ýarymgeçirijileriň esasy häsiýetnamalarynyň biri bolup onuň aktiwasiýa energiýasy hasaplanýar.

Ýarymgeçirijilerden tapawutlylykda metallarda geçiriji zonada elmydama hemişelik mukdardaky (konsentrasiýadaky) elektronlar bolýarlar. Bu elektronlar adaty temperaturalarda metallaryň elektrik geçirijiligini kesgitleýärler.

6. Deňagramly we deňagramsyz elektrik toguny äkidijileri bolan ýarymgeçirijiler. Ýokarda belläp geçişimiz ýaly, deň mukdardaky zaryad äkidijileri, ýagny elektronlary we deşikleri bolan ýarymgeçirijilere hususy geçirijilikli ýarymgeçirijiler diýilýär. Şunlukda, ýarymgeçiriji termodinamik deňagramlyk ýagdaýynda bolýar diýip çaklamak bolar. Bu termodinamik deňagramlyga degişli elektrik togy äkidijileriň (elektronlaryň we deşikleriň) mukdaryna (konsentrasiýasyna) **elektrik togy äkidijileriň deňagramly mukdary (konsentrasiýasy)** diýilýär. Eger ýarymgeçirijiniň haly termodinamik deňagramlykdan tapawutlanýan bolsa, ýagny ýarymgeçirijä ýagtylyk, temperatura, şöhlelenme we ş.m. täsir edýän bolsa, onda ýarymgeçirijiniň bu halyna **deňagramsyz hal** diýilýär. Şunlukda, ýüze çykýan elektrik togy äkidijileriň goşmaça (artykmaç) mukdaryna (konsentrasiýasyna) **deňagramsyz elektrik togy äkidijiler** diýilýär. Deňagramsyz elektrik togy äkidijiler möhüm ýarymgeçiriji abzallaryň: diodlaryň, tranzistorlaryň, termistorlaryň, fotorezistorlaryň, fotoelementleriň, kristallik sanaýjylaryň we ş.m. işleýiş düzgünlerini kesgitleýär.

Bu işde ýarymgeçirijilerdäki deňagramsyz elektrik togy äkidijileriň ýaşaýyş wagty kesgitleýär.

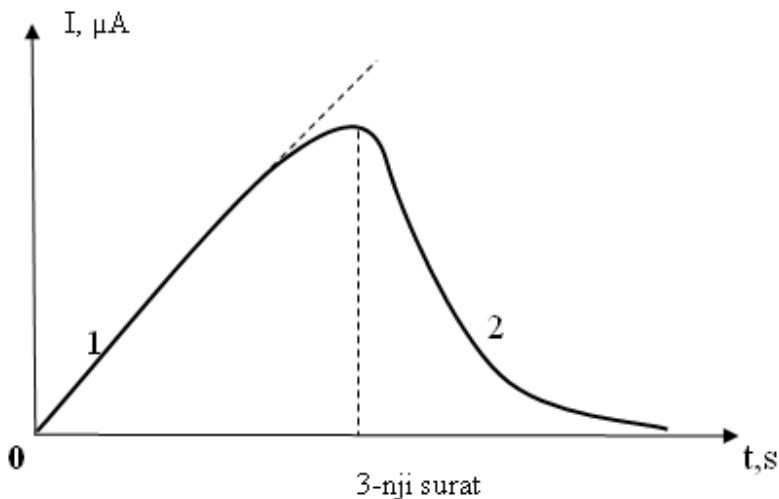
Eger-de, wagtyň käbir pursadynda ýarymgeçirijini ýagtylandyrsak, onda wagt birliginde deňagramsyz elektronlaryň Δn we deşikleriň göwrüm birliginde döreýän ΔP sany, ýagtylygyň I intensiwligine bagly bolar:

$$\Delta n \sim \beta k I, \quad \Delta P \sim \beta k I$$

Bu ýerde, k - ýagtylygyň siňdirme köpeldijisi, β - kwant çykyşy, ýagny ýagtylygyň bir kwantynyň döredýän elektron - deşik jübütiniň sany.

Ýarymgeçiriji ýagtylandyrylanda döreýän goşmaça geçirijilige **fotogeçirijilik** (I) diýilýär. Ýarymgeçirijide elektronyň deşik bilen eýelenmegi (rekombinasiýa) hadysalarynyň ýok mahalynda deňagramsyz elektrik togy äkidijileriň mukdary (konsentrasiýasy) wagta görä çyzykly kanun boýunça artýar:

$$\Delta n = \beta k I t, \quad \Delta P = \beta k I t$$



Emma, tejribäniň görkezişine görä ýarymgeçiriji ýagtylandyrylanda deňagramly elektrik togy äkidijileriň döremek hadysasy bilen bir hatarda ters hadysa, ýagny rekombinasiýa hem bolup geçýär. Şoňa görä-de, ýagtylandyrmak başlanandan käbir wagt geçenden soň, ýagtylandyryş heniz üýtgeşsizkä, deňagramsyz elektrik togy äkidijileriň mukdarynyň (konsentrasiýasynyň) durnukly

(stasionar) bahasy alynýar we netijede fotogeçirijiligiň durnukly bahasy saklanylýar (3-nji surat, 1 egri). Şol sebäbe görä, garaňkydylanda, deňagramsyz geçirijilik hem ýagtylandyrmak bes edilenden käbir wagtdan soň ýitýär (3-nji surat, 2 egri). Fotogarşylyklaryň inertliligi bu hadysalar bilen düşündirilýär.

7. Fotogeçirijileriň relaksasiýa egrileri. Deňagramsyz geçirijiligiň artma we peselme egrilerine **fotogeçirijiligiň relaksasiýa egrileri** diýilýär. Relaksasiýa egrilerini öwrenmeklik fotogeçirijiligi häsiýetlendirýän esasy parametrleriň birini - deňagramsyz elektrik togy äkidijileriň ýaşaýyş wagtyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Elektronyň deşik bilen eýelenme (rekombinasiýa) ähtimallygyny q_n eýeleme kesigi bilen häsiýetlendirmek kabul edilendir. Eýeleme kesigi uzynlyk birliginde eýelenen äkidijileriň sanynyň, maddanyň göwrüm birligindäki atomlarynyň sanyna bolan gatnaşygy bilen kesgitlenýär.

Elektronyň deşik bilen duşuşygyna çenli geçýän orta τ wagtyna **deňagramsyz elektrik togy äkidijiniň orta ýaşaýyş wagty** diýlýär. Ol q_n eýeleme kesigi bilen şeýle baglanyşyklydyr:

$$\tau_n = \frac{1}{q_n \mathcal{G} P}$$

bu ýerde \mathcal{G}_n - elektronyň we deşigiň hereketiniň goräleýin orta tizligi.

P - deşikleriň mukdary (konsentrasiýasy).

Eger $\frac{dn}{d\tau}$ rekombinasiýa tizligi äkidijileriň

mukdarynyň (konsentrasiýasynyň) birinji derejesine bagly bolsa (çyzykly rekombinasiýa), onda deňagramsyz elektrik togy äkidijileriň mykdarynyň (konsentrasiýasynyň) wagt

birliğinde üýtgemesi, ýarymgeçirijiden ýasalan nusga ýagtylandyrylanda, aşakdaky gatnaşyk bilen kesgitleneler:

$$\frac{dn}{d\tau} = \beta k I - \frac{n}{\tau} \quad (1)$$

(1) deňlemäni başlangyç şertleri göz önüne tutup çözssek, alarys:

$$n = n_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (2)$$

bu ýerde n_0 - elektrik togy äkidijileriň durnukly (stasionar) mukdary (konsentrasiýasy).

Eger ýarymgeçirijiden ýasalan nusgany ýagtylandyranymyzdan soň garaňkylatsak, onda deňagramsyz elektrik togy äkidijileriň mukdarynyň (konsentrasiýasynyň) üýtgemesi aşakdaky kanun boýunça bolup geçer:

$$\frac{dn}{d\tau} = -\frac{n}{\tau} \quad (3)$$

Bu deňlemäniň çözülişi aşakdaky ýaly bolar:

$$n = n_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4)$$

Fotoelektrik toguň

$$I = e \mu n S E \quad (5)$$

(bu ýerde μ - äkidijileriň ýyndamlygy, E - elektrik meýdanynyň güýjenmesi, S - ýarym geçirijiniň kesigi, n - elektrik togy äkidijileriň mukdary (konsentrasiýasy)) deňleme bilen aňladylyp bilinýändigine görä, (5) we (2) deňlemeleri ulanyp, fotogarşylyk ýagtylyk bilen ýagtylandyrylanda fotoelektrik toguň relaksasiýa kanunyny alarys:

$$I_1 = I_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (6)$$

(5) we (4) deňlemelerden fotogarşylyk garaňkydylanda fotoelektrik toguň relaksasiýa kanuny alynýar:

$$I_2 = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (7)$$

Haýsy t wagt aralygynda fotoelektrik toguň 10% - niň üýtgeýändigini bilip elektrik togy äkidijileriň τ ýaşayyş wagtyny kesgitlep bolar. Eger başlangyç elektrik togy I_0 bolsa we wagtyň dowamynda fotoelektrik toguň ululygy 10% üýtgän bolsa, ýagny $I = 0,9I_0$, onda (7) deňlemeden alarys:

$$0,9I_0 = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{ýa-da} \quad 0,9 = e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Soňky deňlemeden alarys: $Ln1,1 = \frac{t}{\tau}$

Soňky aňlatmadan deňagramsyz elektrik togy äkidijileriň τ ýaşayyş wagtyny kesgitlemek üçin işçi formulany alarys:

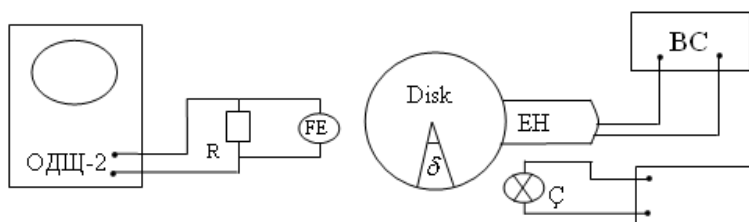
$$\tau = \frac{t}{Ln1,1} \quad (8)$$

Isde ulanylýan gurlusyň ýazgysy

Tejribe geçirilýän desga (4-nji surat) elektrik hereketlendirijiden (EH), öwrenilýän fotoelementden (FE), göneldijiden (BC) we ОДЦ-2 elektron ossillografdan ybaratdyr.

Ýagtylygy modulirlmek üçin elektrik hereketlendirijiniň okuna inçe yşly disk oturdylan. Fotoelementi ýagtylandyrmak üçin diskiň yz tarapynda Ç elektrik çyrajygy berkidilendir. Fotoelement diskiň üstüne golaý ýerde ýörite tutguçda berkidilendir. Eger-de, fotoelement modulirlenen ýagtylyk bilen ýagtylandyrylsa, onda fotoelemntiň zynjyrynda,

fotoelemnte ugurdaş birikdirilen R garşylykda naprýaženiýanyň käbir peselmesini döredýän üýtgeýän elektrik togy akyp geçer. Bu naprýaženiýe ossillografyň dik güýçlendirijisiniň girişine berilýär. Bu naprýaženiýany boý ugra ýaýmaklyk ОДЩ-2 ossillografyň içki öndürijisi tarapyndan amala aşyrylýar. Elektrik hereketlendirijiniň käbir N aýlaw sanynyň t_0 wagtyňy ölçäp, diskiň ýşynyň δ ininiň örän kiçiligini göz öňüne tutup, fotoelementiň garaňkydylma $t_{garanky}$ wagtyňy kesgitlep bolýar we degişli hasaplamalary geçirip deňagramsyz elektrik toguny äkidijileriň τ ýaşayyş wagtyňy kesgitlep bolar.



4-nji surat

Işin ýerine ýetirilişi

1. Elektrik hereketlendirijä berkidilen diskiň N aýlaw sanynyň t_0 wagtyňy ölçäp we diskiň ýşynyň δ ininiň örän kiçiligini göz öňünde tutup, fotogarşylygyň garaňkydylş wagtyňy aşadaky formula boýunça kesgitlemeli:

$$t_{garanky} = \frac{t_0}{N} \quad (9)$$

2. Ossillografyň ölçeg torunyň kesim bahasyny hasaplamaly.

3. Ossillografyň ekranynnda relaksasiýa egrilerini almaly we olaryň suratyny çyzmaly.

4. Relaksasiýa egrisinden fotoelektrik togunyň 10% üýtgemesi bolup geçýän t wagty kesgitlemeli we

$$\tau = \frac{t}{Ln1,1} \quad \text{formula boýunça deňagramsyz elektrik}$$

toguny äkidijileriň τ ýaşayyş wagtyny hasaplamaly.

5. Netijeleri aşakdaky jedwele geçirmeli:

6.

Diskiň aýlaw sany, N	t_o , (c)	$t_{garanky}$, (c)	t , (c)	τ , (c)	τ_{orta} , (c)
400					
400					
400					
400					
400					

Barlag üçin soraglar:

1. Ýarymgeçirijileriň metallardan we dielektriklerden tapawudy näme?
2. Rugsat edilen, gadagan edilen we geçiriji zonalary düşündiriň.
3. Deňagramly haldaky ýarymgeçirijiniň deňagramsyz haldaky ýarymgeçirijiden tapawudy näme?
4. Ýarymgeçirijilerde elektron we deşikli geçirijilik nähilli döreýär?

7-nji TEJRIBE IŞI

**UGLERODYŇ ^{12}C ÝADROSÝNYŇ
NEÝTRONLARYŇ
TÄSIRI BILEN BÖLÜNME REAKSIÝASYNY
ÖWRENMEK.**

Gerek abzallar we enjamlar:

- | | |
|--|-------------|
| 1. Öwrenilýän (şöhlelenen) fotoplastina.
mikrometr. | 4. Obýekt- |
| 2. MBR - 3 mikroskopy.
okulýar. | 5. 15* |
| 3. Ýagtylandyryan çyra.
we 60* | 6. 20*, 40* |

obýektiwleriň toplумы.

Işň maksady:

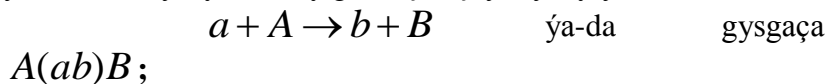
Çalt neýtronlaryň täsiri bilen uglerodyň ^{12}C ýadrosynyň α -bölejiklere bölünme reaksiýasynyň kinematik derňewini geçirmek, ilkinji we pytran neýtronlaryň energiýasyny ýadro fotoemulsiýa usuly bilen kesgitlemek.

Meýilnama:

1. Ýadro reaksiýalary.
2. Neýtronyň maýyşgak we maýyşgak däl dargama reaksiýasy.
3. Uglerodyň ýadrosynyň neýtron bilen şöhlelenende bölünme reaksiýasy.

1. Ýadro reaksiýalary. Sada bölejigiň (ýa-da ýadronyň) ýadro bilen çaknyşmasy netijesinde täze ýadrolaryň ýa-da sada bölejikleriň döremekligine **ýadro reaksiýalary** diýilýär.

${}_Z X^A = A$ ýadro a bölejik bilen atylanda
 ${}_Z Y^A = B$ ýadro emele gelýär we b bölejik uçup çakýar. Bu
ýadro reaksiýasy umumy görnüşde şeýle ýazylýar:



Ýagny, $a + {}_Z X^A \rightarrow {}_Z Y^A + b$ ýa-da gysgaça



bu ýerde ${}_Z X^A = A$ - nyşana ýadro, ${}_Z Y^A = B$ - täze emele
gelen ýadro (ahyrky ýadro), a - nyşana ýadronyň üstüne
urulýan bölejik, b - täze emele gelen bölejik (uçup çykýan
bölejik).

Ýadro reaksiýalaryny döredýän bölejikler: neýtronlar
 (n) , protonlar $(p \text{ ýa-da } {}_1 H^1)$, fotonlar $(\gamma - \text{kwantlar})$, α -
bölejikler $({}_2 He^4)$, deýtronlar $({}_1 H^2, \text{ ýa-da } {}_1 D^2 \text{ ýa-da } {}_1 d^2)$,
tritonlar $({}_1 H^3, \text{ ýa-da } {}_1 T^3, \text{ ýa-da } {}_1 t^3)$,

Ýadro reaksiýalaryň köpüsi güýçli ýadro özaratäsiriň
netijesinde, esasan, maddalaryň ýadrolary çalt bölejikleriň
dessesi bilen urlanda bolup geçýär we şunlukda ýadrolaryň we
bölejikleriň arasynda energiýalaryň we impulslaryň täzedan
paýlanmasy bolýar.

Ýadro reaksiýalaryň iň dürli we giň toparyny neýtronyň
maddalaryň ýadrolary bilen özaratäsiri döredýär. Munuň sebäbi
neýtronyň zarýadynyň ýoklugy (neýtrallygy) we neýtronyň
dürli energiýalara eýe bolup bilýänligi bilen baglanyşyklydyr.
Şonuň üçin neýtron öz energiýasyna baglylykda dürli
reaksiýany döredip bilýär.

**2. Neýtronyň maýyşgak we maýyşgak däl dargama
reaksiýasy.** Ýadro meýdanynyň ýadro güýçleri tarapyndan

neýtronyň maýyşgak we maýyşgak däl pyrtama reaksiýasyna seredip geçeliň.

Neýtron we ýadro **maýyşgak** çaknyşanlarynda olar öz bolşuny saklaýarlar, diňe olaryň kinetik energiýasy we impulsy täzeden bölünýär, ýagny neýtron özüniň başdaky hereket ugruny üýtgedýär. **Maýyşgak däl** çaknyşmalarda neýtron ýadronyň içine düşýär, netijede ýadrony oýandyrylan ýagdaýa getirýär we ýene ýadrodan uçup çykýar.

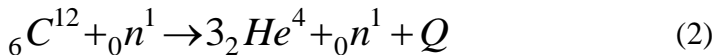
Zarýadlanan bölejiklerden tapawutlylykda neýtron maddanyň atomlaryny ionlaşdyрмаýar, sebäbi onuň elektrik zarýady ýokdur. Neýtronyň atomyň elektronlary bilen elektromagnit özaratäsiri diňe neýtronyň magnit momentiniň hasabyna amala aşyrylýar. Ýöne şeýle özaratäsiriň täsir kesigi örän kiçidir. Şonuň üçin neýtronyň barlygyny kesgitlemek diňe zarýadlanan bölejikleri emele getirýän ýadro reaksiýalarynyň hasabyna edilýär. Neýtronyň gatnaşmagy bilen bolup geçýän reaksiýalarda diňe bir neýtrony kesgitlemek ýeterlik däl-de, neýtronyň energiýasyny hem kesgitlemek möhümdir.

Haýal we çalt neýtronlary kesgitlemegiň iň belli usuly **ýadro fotoemulsiýa usulydyr**. Bu usul bilen neýtronyň energiýasy kesgitlenýär. Bu usulda neýtronyň täsiri bilen ýadrodan uçup çykýan zarýadlanan bölejikleriň yzyny ýörite fotoemulsiýa surata alýarlar. Çalt zarýadlanan bölejikler fotoemulsiýanyň molekulalaryny ionlaşdyrýarlar we onuň dänelerini garaldýarlar.

Bölejigiň ionlaşdyrmak ukyby onuň tizligi bilen kesgitlenýär. Şoňa görä-de, bir birlik aralykda garalan däneleriň sanynyň üsti bilen bölejigiň tizligini kesgitlemek bolar we fotoemulsiýada geçen ylgaw ýolunyň üsti bilen bolsa, onuň başlangyç energiýasyny kesgitläp bolýar. Şu usul bilen uly açyşlar edildi we sada bölejikleriň esasy häsiýetnamalary alyndy.

3. Uglerodyň ýadrosynyň neýtron bilen şöhlelenende bölünme reaksiýasy. Mysal hökmünde uglerodyň ýadrosynyň

(uglerodyň ýadrosy emulsiýanyň düzümine girýär) neýtron bilen şöhlenende bölünme reaksiýasyny görkezmek bolar:



Bu mysalda uglerodyň ýadrosyndan üç sany α - bölejik uçup çykýar we neýtron emele gelýär.

Köp ýagdaýlarda ýadro bölejikleriň yzyny göz bilen tapawutlandyryp bolýar, sebäbi olaryň dykzyzlygy biri-birinden gaty tapawutlanýarlar. Meselem, takmynan

1 MeV energiýaly α - bölejigiň ionlaşdyrmak dykzyzlygy şeýle energiýaly elektronyň ionlaşdyrmak dykzyzlygyndan 10^4 esse köp. α - bölejigiň emulsiýadaky ýoly giň gara yz hökmünde görünýär, sebäbi aýratyn däneler goşulyp bitewi yz emele getirýär. Elektronyň yzy bolsa däneleriň tirkeşigi hökmünde görünýär.

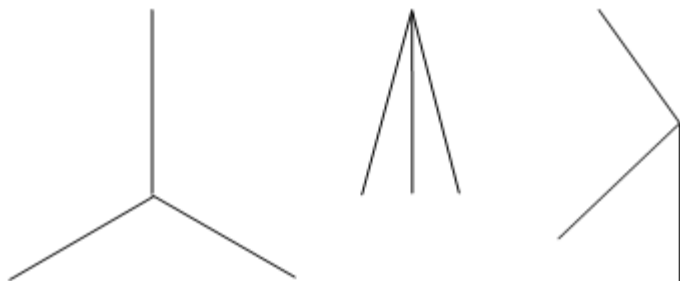
Fotoemulsiýada ýüze çykýan (2) reaksiýa 1-nji suratda görkezilişi ýaly üç şöhleli ýyldyz ýaly görünýär. (Ionlaşdyrýan üç α - bölejik bir nokatdan çykýar).

Eger bölejigiň yzy belli bolsa, onda α - bölejikleriň energiýasyny we çykýan burçyny ölçäp hem-de energiýanyň we impulsyň saklanma kanunlaryny ulanyp, düşýän (ilkinji) we pytran neýtronlaryň energiýasyny kesgitläp bolar. Eger düşýän

we pytran neýtronlaryň impulsyny P_n we P^1 , kinetik

energiýalaryny E_n we E^1

diýip bellesek, impulsyň we energiýanyň saklanma kanunlary şeýle ýazylar:



1-nji surat

$$\vec{P}_n = \sum_{i=1}^3 \vec{P}_i + \vec{P}^1 \quad (3)$$

$$E_n = \sum_{i=1}^3 E_i + E^1 - Q$$

(4)

bu ýerde Q - ýadro reaksiýasynyň energiýasy, $\sum_{i=1}^3 \vec{P}_i$ we

$\sum_{i=1}^3 E_i$ - α - bölejikleriň jemleýji impulsy we jemleýji kinetik energiýasy.

(3) deňlemäniň sag tarapyndaky uçup çykýan neýtronlaryň impulsynyň P^1 ugry, düşýän neýtronlaryň dessesiniň ugry bilen gabat gelmegi hökman däl. Şonuň netijesinde α - bölejikleriň jemleýji impulsy umumy ýagdaýda impulsyň boý we dik düzüjilerini özünde jemleýär.

Emulsiýanyň tekizligine X, Y, Z dekart koordinatalar ulgamyny girizeliň we X okuny düşýän neýtronlaryň ugry bilen, Z okuny bolsa emulsiýanyň tekizligine dikana ugrukdyralyň.

Gysgalyk üçin α -bölejikleriň jemleýji impulsynyň kölegelerini şeýle belläliň:

$$\left(\sum_{i=1}^3 \vec{P}_i\right)_x = X_\alpha; \quad \left(\sum_{i=1}^3 \vec{P}_i\right)_y = Y_\alpha;$$

$$\left(\sum_{i=1}^3 \vec{P}_i\right)_z = Z_\alpha$$

Pytran neýtronyň impulsynyň P^1 kölegelerini bolsa X^1, Y^1, Z^1 bilen belläliň.

Hasaplamak amatly bolar ýaly bölejikleriň impulslaryny neýtron üçin, $P = \sqrt{E}$ we α -bölejikler üçin bolsa, $P_i = \sqrt{4E_i}$ formulalar boýunça göräli birliklerde kesgitlemek bolar. Göräli birliklerde (3) deňlemenden alarys:

$$\sqrt{E_n} = X_\alpha + X^1$$

ýa-da iki tarapyny hem ikinji derejä göterip alarys:

$$E_n = X_\alpha^2 + 2X_\alpha X^1 + (X^1)^2$$

Ýagny,

$$(X^1)^2 = (P^1)^2 - (Y^1)^2 - (Z^1)^2 = E^1 - Y_\alpha^2 - Z_\alpha^2$$

deň bolýanlygy sebäpli (3), (4) deňlemeler ulgamyny gutarnykly şeýle görnüşde ýazyp bolar:

$$E_n = X_\alpha^2 + 2X_\alpha X^1 + E^1 - Y_\alpha^2 - Z_\alpha^2$$

$$E_n = \sum_{i=1}^3 E_i + E^1 - Q$$

Bu deňlemeler ulgamyny çözüp, pytran neýtronyň impulsyny taparys:

$$X^1 = \frac{(\sum_{i=1}^3 E_i - Q - X_\alpha^2 + Y_\alpha^2 + Z_\alpha^2)}{2X_\alpha} \quad (5)$$

Pytran neýtronyň energiýasy X^1 -iň kömegi bilen aşakdaky formula boýunça kesgitlenýär:

$$E^1 = (X^1)^2 + Y_\alpha^2 + Z_\alpha^2 \quad (6)$$

Düşýän neýtronyň E_n energiýasyny bolsa (6) formula boýunça tapylan E^1 -iň bahasyny ulanyp (4) formuladan tapyp bolar.

Isiň ýerine ýetirilişi.

1. Mikroskop bilen işe başlanmanka, mikroskopda işlemegiň usuly bilen tanyş bolmaly.
2. Mugallymdan neýtronlar bilen şöhlelenen plastinany alyp, mikroskopyň stolynyň üstünde emulsiýasyny obýektiwe tarap edip goýmaly. Mikroskopyň 40* obýektiwini ulanyp, birnäçe üç şöhleli ýyldyzlary tapmaly (1-nji surat) we olaryň koordinatalaryny bellemeli.
3. 40* obýektiwiň kömegi bilen α - bölejikleriň yzlarynyň emulsiýanyň tekizligine bolan kölegesini, ýagny α - bölejikleriň yzlarynyň l uzynlygyny, okulýaryň ölçeg çyzgyjynda (şkalada) ölçemeli. Munuň üçin okulýaryň limbini aýlap okulýaryň ölçeg çyzgyjynyň ugryny α - bölejikleriň yzlarynyň biriniň ugry bilen gabat getirmeli. Bu yzyň uzynlygynda erleşýän kesimleriň sanyny okulýar ölçeg çyzgyjynyň 1 kesiminiň bahasyna köpeldip, yzyň boý l uzynlygyny mikron hasabynda hasaplamaly (40* obýektiv bilen işlenende okulýaryň ölçeg çyzgyjynyň 1 kesiminiň bahasy 0,0042 mm/kesim - e deň).

4. α - bölejigiň bu yzynyň h çuňlugyny (dik düzüjisini) ölçmeli. Ony ölçemek üçin mikroölçeýji nurbadyň kömegi bilen mikroskopy gezekli-gezegine yzyň öňüne we soňuna dikanlamaly (fokusirlmeli) we şunlukda mikronurbadyň san görkezmesi, yzyň mikron birligindäki çuňlugy bolar. Mikroskop yzyň öňüne we soňuna dikanlananda (fokusirlenende) mikronurbady bir tarapa aýlamak gerek. Mikronurbadyň görkezmeleriniň tapawudy h deň bolýar. Alnan netijäni 1,54 deň bolan emulsiýanyň döwürleme görkezijisine köpeltmeli.

5. Okulýar limbiň kömegi bilen α - bölejikleriň uçup çykýan burçuny ölçmeli. Burç ilkinji neýtronlaryň dessesiniň ugruna görä ölçenýär. Bu ugur plastinada peýkam bilen görkezilendir.

Burçy ölçemek üçin 0° -da goýulan limbiň peýkamynyň ugruny plastinadaky peýkamyň ugry bilen gabat getirmeli. Soňra okulýardan seredip, okulýarda görünýän ölçeg çyzgyjyny, uçup çykma burçy kesgitlenýän α - bölejikleriň biriniň galdyran yzy bilen gabat getirmeli. Soňra limbiň peýkamynyň görkezýän burçuny ýazmaly.

6. Plastinada tapylan şol ýyldyzjykdaky α - bölejikleriň emulsiýada galdyran iki yzlarynyň uzynlygyny, yzlaryň h çuňlugyny we uçup çykma burçlaryny kesgitlemek üçin edil ýokardaky ýaly hereketleri gaýtalamaly.

Alnan netijeleri 1-nji jedwele ýazmaly.

1-nji jedwel

Şöhläniň belgisi	Emulsiýanyň tekizligine yzyň proyeksiýasy (uzynlygy) l_i , mkm	Yzyň çuňlugy h_i , mkm	Burç φ_i , grad
1			
2			
3			

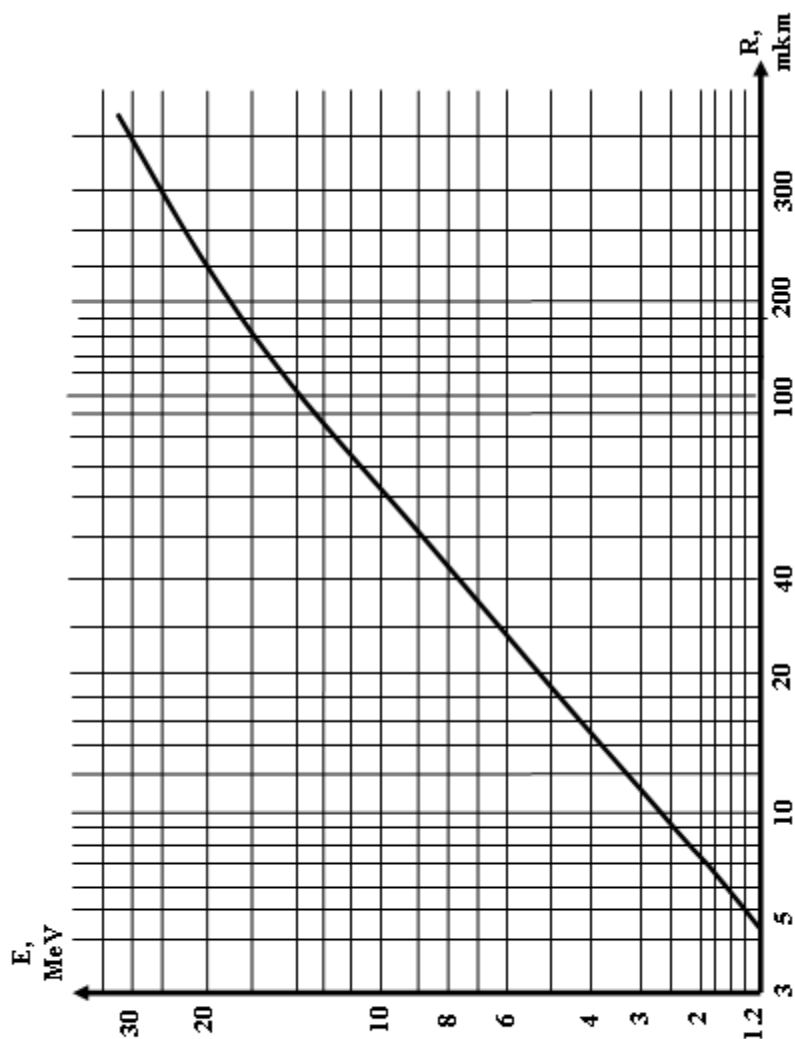
8. Plastinada tapytan ýyldyzyň α - bölejikleriniň her bir şöhle boýunça doly geçen ýoluny $R_i = \sqrt{l_i^2 + h^2 k^2}$ formula boýunça hasaplamaly. Bu ýerde k emulsiýanyň oturmak köpeldijisi ($k = 2,3 \div 2,7$ deň).

7. Goşundy-1-de getirilen α -bölejikleriň emulsiýada geçen R ylgaw ýolunyň α - bölejikleriň E_α energiýasyna baglylyk egrisini peýdalanyň α - bölejikleriň kinetik energiýasyny kesgitlemeli. Alnan netijeleri 2-nji jedwele ýazmaly.

2-nji jedwel

Şöhläniň belgisi	Ýlgaw ýoly R_i , mkm	α - bölejigiň E_i kinetik energiýasy, MeW	α -bölejikleriň göräli birliklerdäki $P_i = \sqrt{4E_i}$ impulsy	Emulsiýanyň tekizligine impulsyň proyeksiýasy $g_i = P_i l_i / R_i$ (göräli birliklerde)	$X_i = g_i \cos \varphi_i$	$Y_i = g_i \sin \varphi_i$	$Z_i = P_i k h_i / R_i$
1 2 3							
Je mi		$\sum_{i=1}^3 E_i$			X_α	Y_α	Z_α

9. Reaksiýanyň Q energiýasyny aşakdaky formula boýunça tapmaly:



2-nji surat

α - bölejikleriň R ylgaw ýolunyň α - bölejikleriň E_{α} energiýasyna baglylyk egrisi

$$Q = \left[(M_{6C^{12}} + m_n) - (3M_{2He^4} + m_n) \right] c^2$$

(7)

Bu ýerde:

$$M_{6C^{12}} = 12,00000 \text{ at.m.b.};$$

$$M_{2He^4} = 4,00260 \text{ at.m.b.};$$

$$m_n = 1,00867 \text{ at.m.b.};$$

$$c^2 = 931,6 \text{ J / at.m.b.} \quad (c - \text{ýagtylygyň tizligi}).$$

10. (5) formula boýunça pytran neýtronyň X^1 impulsyny kesgitlemeli.

11. Pytran neýtronyň E^1 energiýasyny (6) formula boýunça kesgitlemeli.

12. (4)) formula boýunça düşýän neýtronyň energiýasyny kesgitlemeli.

13. Ölçegleriň netijeleriniň nätaklyklygyna baha bermeli.

Barlag üçin soraglar:

1. Ýadro reaksiýasy diýip nämä aýdylýar?
2. Ýadro reaksiýalaryny döredýän bölejikler haýsylar?
3. Ýadro reaksiýasy üçin energiýanyň we impulsyň saklanma kanunlaryny ýazyň.
4. Reaksiýanyň Q energiýasy diýip nämä aýdylýar? $Q > 0$ we $Q < 0$ bolýan ýagdaýlary düşündiriň.

8-nji TEJRIBE IŞI

NEÝTRONYŇ ENERGIÝASYNY SERPIGEN PROTONYŇ KÖMEGI BILEN KESGITLEMEK

Gerek abzallar we enjamlar:

- | | |
|--|-----------|
| 1. Neýtron bilen şöhlenenen plastinkalar. | 4. |
| Obýektiwleriň toplумы. | |
| 2. MBP-3 mikroskopy. | 5. |
| Obýektmikrometr. | |
| 3. OE-19 ýagtylandyryjysy. | |

Işiň maksady:

**Bölejikleri kesgitlemegiň fotoemulsiýa usuly esasynda
serpigen protonlaryň
kömegi bilen çalt neýtronlaryň energiýasyny kesgitlemek.**

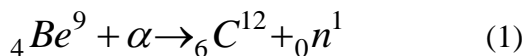
Meýilnama:

- 1. Neýtronyň açylyşy we onuň häsiýetleri.**
- 2. Neýtronlaryň görnüşleri.**
- 3. Neýtrony fotoemulsiýa usuly bilen kesgitlemek usuly.**

1. Neýtronyň açylyşy we onuň häsiýetleri. 1920-nji ýylda Rezerford elektrik zarýady nola deň bolan we massasy protonyň massasyna golaý bolan bölejigiň barlygy barada çaklamany aýdýar.

Rezerfordyň şu çaklamasyndan ugur alyp, 1932-nji ýylda Çedwik berilliý α - bölejikler bilen atylanda, γ - kwantlardan başga-da, agyr, zarýadlanmadyk bölejikleriň

dessesiniň şöhlenenýändigini ýüze çykardy. Şol bölejiklere **neýtron** ady dakylýar we ${}_0n^1$ belgi bilen bellenýär. α - bölejikleriň berilliniň ýadrosy bilen özaratäsir reaksiýasynyň görnüşi şeýle:



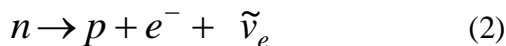
Wilsonyň gutysynda emele gelen ýadronyň yzyny öwrenip, Çedwik ilkinji bolup neýtronyň massasynyň $m_n = 1,00866 \text{ at.m.b.}$ deňdigini kesgitleýär. Soňra neýtronyň başga ölçegleri hem kesgitlendi, ýagny neýtronyň

spini $\frac{\hbar}{2}$, magnit momenti $\mu_n = -1,91 \mu_0$ (bu ýerde

$$\mu_0 = \frac{e\hbar}{2m_p c} \text{ - ýadro magnetony) deňdir.}$$

Erkin ýagdaýda neýtron durnukly bolmaýar. Ol öz-özünden dargap p protona öwrülýär we şunlykda e^- elektron bilen $\tilde{\nu}_e$ elektron antineýtrino diýen bölejigi hem goýberýär.

Neýtronyň ýarym dargama döwri (periody) $\sim 15 \text{ min.}$ Neýtronyň öz-özünden dargamasy şeýle bolar:



Antineýtrinonyň dynçlyk massasy nola deň. Neýtronyň massasy protonyň massasyndan $2,5 m_e = 0.840 \cdot 10^{-3} \text{ at.m.b.}$ esse köp. Bu ýerde m_e - elektronyň massasy. Diýmek, neýtronyň massasy (2) deňligiň sag tarapyndaky bölejikleriň massalarynyň jeminden $1,5 m_e$ esse köp, ýagny $0,47 \text{ MeW}$ köp. Bu energiýa neýtron darganda emele gelen bölejikleriň kinetik energiýasy görnüşinde bölünip çykýar.

Neýtronyň elektrik zarýadynyň ýoklugy sebäpli, ol öz töweregindäki gurşawyň atomlaryny ýa-da molekulalaryny ionlaşdyрмаýar. Şol sebäbe görä atomlaryň ýadrolary bilen neýtronyň elektrik özaratäsiri bolmaýar. Neýtronlaryň ýadrolarda saklanmagyna mümkinçilik berýän neýtronlaryň ýadrolar bilen özboluşly özaratäsiri, ýadronyň merkezinden $10^{-15} m$ – den uzak bolmadyk aralykda ýüze çykýar. Şonuň üçin neýtron desseleriniň maddadan geçijilik ukyplylygy ýokary bolýar we diňe neýtronlaryň ýadrolar bilen gös-göni özaratäsirleriniň netijelerine gözegçilik etmek bilen neýtronlary kesgitlemek mümkindir.

2. Neýtronlaryň görnüşleri. Neýtronlaryň täsiri bilen ýüze çykýan ýadro reaksiýalaryny öwrenmek üçin, neýtronlary energiýalaryna baglylykda birnäçe topara bölýärler:

- sowuk neýtronlar (energiýasy

$$10^{-6} eW < E < 5 \cdot 10^{-3} eW)$$

- ýylylyk neýtronlar (energiýasy

$$5 \cdot 10^{-3} eW < E < 0,5 eW)$$

- haýal neýtronlar (energiýasy

$$0,5 eW < E < 10^3 eW)$$

- aralyk neýtronlar (energiýasy

$$1 keW < E < 500 keW)$$

- çalt neýtronlar (energiýasy

$$500 keW < E < 10 MeW)$$

- ýokary energiýaly neýtronlar (energiýasy

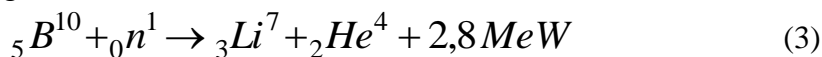
$$10 MeW < E < 1 GeW)$$

Çalt neýtronlary kesgitlemek üçin olaryň ýadrolar bilen maýyşgak çaknyşmalaryny ulanýarlar. Ýadrolar bilen çaknyşmagyň netijesinde neýtronlar öz energiýasynyň bir bölegini oňa berýärler we şol sebäpli neýtronlar togtayarlar (tormozlanýarlar) we pytraýarlar (ugurlaryny üýtgedýärler).

Neýtronlar massalary neýtronyň massasyna golaý bolan ýadrolar (protonlar, deýtronlar) bilen çaknyşanlarynda, energiýasynyň iň köp bölegini berip bilýärler. Netijede neýtronlar ýadrolar bilen birleşýärler. Şunlukda ýadrolar durnuksyz hala geçýärler we α we beýleki bölejikleri goýberýärler.

Ýyly we haýal neýtronlary kesgitlemek üçin ýeňil ýadrolar ($A < 25$) bilen baglanşykly ýadro reaksiýalaryny ulanýarlar.

Şol reaksiýalara mysal hökmünde ${}_5B^{10}$ boruň ýadrosy bilen ${}_0n^1$ neýtronyň arasynda ýüze çykýan ýadro reaksiýasyny görkezmek bolar:



Neýtronyň bor bilen özaratäsiriniň reaksiýa kesigi energiýa baglydyr (beýleki ýadrolar üçin degişli baglanyşykdan

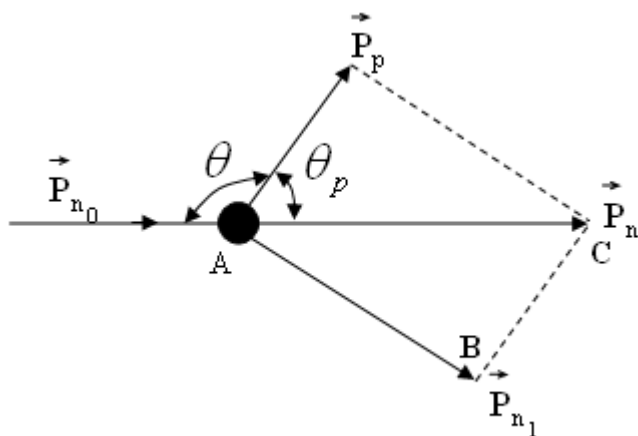
tapawutlylykda): $\sigma \sim \frac{1}{g}$, ýagny neýtronyň tizligine ters

baglydyr. Eger ionlaşdyryjy guta ýa-da Geýger-Mýulleriň sanajysyna gaz halyndaky üç ftorly bor (BF_3) ýerleşdirilse we şeýle hem fotoemulsiýanyň düzümine bor goşulsa, onda neýtronlar gutydan ýa-da fotoemulsiýadan geçende neýtronlaryň sanyny, neýtronlaryň täsiri bilen emele gelen α -bölejikleriň döredýän ionlaşdyrmasy boýunça hasaplamak bolar. Bu bor usuly neýtronlary kesgitlemäge mümkinçilik bermek bilen birlikde, neýtronlaryň energiýasyny, dykzlygyny we başga birnäçe häsýetnamalaryny kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

3. Neýtrony fotoemulsiýa usuly bilen kesgitlemek usuly.

Neýtrony fotoemulsiýa usuly bilen kesgitlemek üçin iň ýönekeý ýagdaýa seredilýär, ýagny neýtronyň ýeňil ýadrolarda, köplenç wodorodyň ýadrosynda (protonda) maýyşgak pyramasyna seredýärler. Neýtron proton bilen çaknyşanda, ol

protona energiýasynyň bir bölegini berýär we netijede serpigen proton emele gelýär. Serpigen protonyň geçen ýoly ýadro emulsiýasynda gowy görünýär. Ýöne, neýtronyň geçen ýolunyň yzy, oň belläp geçişimiz ýaly, fotoemulsiýada galmaýar. 1-nji suratdan energiýanyň we impulsyň saklanma kanunlaryny peýdalanyp başlangyç neýtronyň energiýasyny kesgitlemek bolar.



1-nji surat

1- nji suratda n_0 neýtronyň p proton bilen çaknyşmasy netijesinde pytramasy görkezilen. Bu çyzgyda \vec{P}_{n_0} - başlangyç neýtronyň impulsy, \vec{P}_p - serpigen protonyň impulsy, \vec{P}_{n_1} - pytran (ikilenji) neýtronyň impulsy, \vec{P}_n - neýtronyň we protonyň çaknyşmadan soňky impulsalarynyň jemi.

Proton bilen baglanyşykly koordinatalar ulgamynda energiýanyň we impulsyň saklanma kanunlaryny ýazalyň:

$$E_0 = E_1 + E_p \quad (4)$$

$$\vec{P}_{n_0} = \vec{P}_{n_1} + \vec{P}_p \quad (5)$$

(4) formulada E_0 - başlangyç neýtronyň energiýasy, E_1 - pytran (ikilenji) neýtronyň energiýasy, E_p - serpigen protonyň energiýasy.

$E = \frac{P^2}{2m}$ aňlatmany nazara tutup (4) deňlemenden alarys:

$$\frac{P_{n_0}^2}{2m_n} = \frac{P_{n_1}^2}{2m_n} + \frac{P_p^2}{2m_p} \quad (6)$$

Neýtronyň we protonyň massalarynyň takmynan deňligi sebäpli ($m_n \approx m_p$) ΔABC üçburçlyk göniburçly üçburçlykdyr (1-nji surat) we:

$$P_p = P_{n_0} \cos \theta_p \quad (7)$$

(7) formuladan $E = \frac{P^2}{2m}$ formulany nazara tutup, serpigen protonyň E_p energiýasyny kesgitlep bolar, ýagny:

$$E_p = E_0 \cos^2 \theta_p \quad (8)$$

bu ýerde, E_0 - başlangyç neýtronyň energiýasy, θ_p - başlangyç neýtronyň we serpigen protonyň hereket ugurlarynyň arasyndaky burç.

Netijede başlangyç neýtronyň energiýasyny kesgitlemek üçin serpigen protonyň energiýasyny we başlangyç neýtronyň hereket ugruna görä protonyň pytrama burçyny tapmaly. Bu ululyklary tapmak üçin bu işde ýadro fotoemulsiýa usuly

ulanylýar. Emulsiýada hereket edýän zarýadlanan bölejik öz ýolundaky, bu emulsiýanyň düzümine girýän bromly kümüşüň däneleriniň kristalik gözenegini bozýar. Netijede olar (däneler) ýüze çykмага ukyply bolýarlar. Ýüze çykarlan plastina mikroskopda seredilende bölejigiň yzy garalan däneleriň zynjyry görnüşinde görünýär. Bölejigiň ionlaşdyrma ukyby näçe uly we fotoemulsiýanyň duýgurlygy näçe ýokary bolsa, sonçada emulsiýadaky garalan däneler dykyz ýerleşen bolýar.

Ýadro fotoemulsiýa usulyny ulanyp, fotoemulsiýada bölejikleriň geçen ylgaw ýoluny ýeterlik takyklyk bilen ölçäp bolýar we şonuň netijesinde bölejigiň massasy belli bolsa, energiýany kesgitläp bolýar, däneleriň dykzlygyny ölçemek bilen bolsa, bölejigiň tizligini kesgitläp bolýar. Şu işde ulanylýan fotoplastinlar belli energiýaly neýtronlar bilen şöhlelenendirler we protonlara duýgurlyrlar.

Isiň ýerine ýetirilişi

1. Protonlaryň yzyny synlamak we olaryň geçen ylgaw ýoluny ölçemek üçin МБР-3 mikroskopy we ОИ-19 ýagtylandyryjy ulanylýar.

2. Neýtronlaryň akymy bilen şöhlelendirilen fotoemulsiýaly fotoplastinany mikroskopyň iş stolunyň üstinde, emulsiýasyny ýokaryk edip goýmaly we berkitmeli. Fotoplastina goýlanda şöhlelendirýän neýtronlaryň akymynyň ugry bilen gabat gelýän tarapyňy (bu ugur fotoplastinanyň ýüzinde peýkam bilen gorkezilendir) we limbiň peýkamynyň 0^0 - da ýerleşdirilen ýagdaýyny mikroskopyň iş stolunyň ölçeg çyzgyjynyň boý ugrukdyryjysyna ugurdaş edip goýmaly.

3. Ýagtylandyryjynyň ýagtylyk akymyny mikroskopyň aýnasyna gönükdirmeli. Aýnany aýlap, görünýän meýdany deňölçegli ýagtylanar ýaly etmeli.

4. Ilki 20* obýektiw bilen, soň yzygider 40*, 60* we 70* obýektiwler bilen mikroskopy fokusirlemeli. Mikroskopyň ulaldyşynyň netijesinde protonyň yzynyň ululygy görüs

meýdanynyň diametri bilen bir tertipde bolmaly, ýagny protonyň yzynyň ululygy görüň meýdanynyň diametrinden uly bolmaly däl. Yzlaryň içinden emulsiýanyň içine gaty çuňlaşmaýan we ugry plastinanyň tekizligine ugurdaş yzlary saýlap almaly.

5. Okulýardan seredip, okulýarda görüňýän ölçeg çyzgyjyny protonyň yzynyň ugry bilen gabat getirmeli.

6. Protonyň yzynyň l uzynlygyny ölçemek üçin yzyň başlangyç we ahyrky koordinatalaryny bilmek gerek. Yzyň başlanýan ýeriniň koordinatasyny bilmek üçin protonyň yzynyň başlangyjynyň ölçeg çyzgyjynyň haýsy sanlarynyň arasynda ýerleşendigini kesgitlemeli. Bu sanlaryň kiçisi koordinatanyň бүтін bölegi bolar. Koordinatanyň drob bölegini almak üçin okulýar sazlaýjysynyň kömegi bilen okulýarda görüňýän goşa çyzygy protonyň yzynyň başlangyjyna getirmeli we okulýar sazlaýjysynyň görkezmesini ýazmaly.

7. Yzyň gutarýan ýeriniň koordinatasyny bilmek üçin protonyň yzynyň ahyrynyň ölçeg çyzgyjynyň haýsy sanlarynyň arasynda ýerleşendigini kesgitlemeli. Bu sanlaryň kiçisi koordinatanyň бүтін bölegi bolar. Koordinatanyň drob bölegini almak üçin okulýar sazlaýjysynyň kömegi bilen okulýarda görüňýän goşa çyzygy protonyň yzynyň ahyryna getirmeli we okulýar sazlaýjysynyň görkezmesini ýazmaly.

8. Yzyň başlangyç we ahyrky koordinatalarynyň tapawudy protonyň yzynyň millimeter (mm) hasabyndaky bahasyny berer. Bu ululygy obýektiwiň ulaltmasyna (15-e) bölmeli we yzyň uzynlygynyň mikrometr (mkr) hasabyndaky bahasyny almaly.

9. Protonyň yzynyň uzynlygynyň we başlangyç neýtronlaryň dessesiniň ugrunyň arasyndaky θ_p burçy ölçemek üçin limbiň peýkamynyň ugruny protonyň yzynyň ugry bilen gabat getirmeli we limbiň peýkamynyň görkezýän burçuny ýazmaly.

10. Şeýle usul bilen azyndan 10 sany protonyň yzlarynyň l uzynlyklaryny ölçemeli we degişlilikde protonyň yzynyň uzynlygynyň we başlangyç neýtronlaryň dessesiniň ugrunyň arasyndaky θ_p burçy ölçemeli.

11. Goşundy-2-de getirilen protonyň plastinanyň ýüzündäki emulsiýada galdyran yzynyň uzynlygynyň protonyň energiýasyna baglylyk grafiginden peýdalanyň, serpigen protonlaryň E_p energiýasyny kesgitlemeli we jedwele ýazmaly.

12. $E_p = E_0 \cos^2 \theta_p$ formula boýunça başlangyç neýtronlaryň E_0 energiýasyny hasaplamaly.

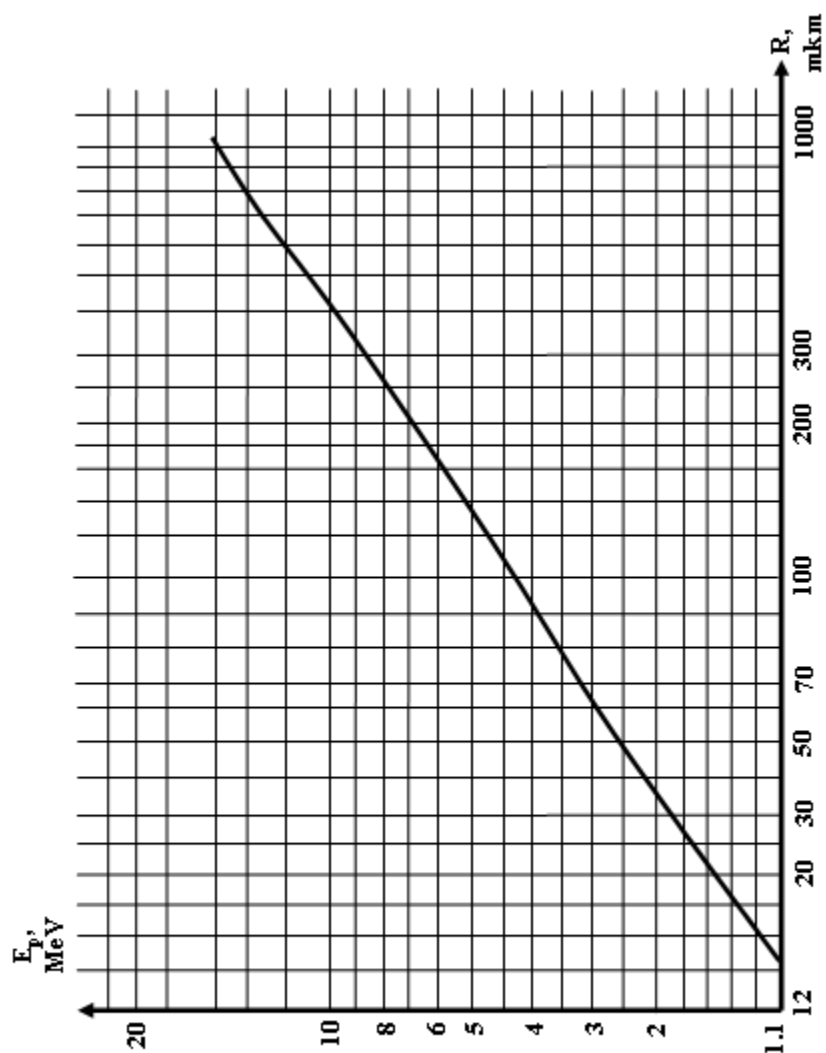
13. Neýtronyň energiýasy kesgitlenende göýberilen ýalňyşlyga baha bermeli.

14. Alnan netijeleri jedwele ýazmaly:

№	Protonyň yzynyň uzynlygy l , mkm	θ , grad	Serpigen protonlaryň energiýasy E_p , MeV	$\cos^2 \theta$	Başlangyç neýtronyň energiýasy E_0 , MeV
1					
2					
3					

Barlag üçin soraglar:

1. Neýtrony kesgitlemegiň nähili usullary bar?
2. Ýadro reaksiýalaryny amala aşyrmakda neýtronlaryň roluny düşündiriň.
3. Neýtronlaryň esasy çeşmelerini sanaň.
4. Energiýasy 2 MeV deň bolan ýylylyk neýtronyň we çalt neýtronyň tizliklerini deňeşdiriň.



2-nji surat

Protonyň emulsiýada galdyran yzynyň uzynlygynyň protonyň energiýasyna baglylyk grafiki

9-njy TEJRIBE IŞI

II - MEZONYŇ DARGAMASYNY ÖWRENMEK

Gerek abzallar we enjamlar:

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1. Mikroskop МБР-36.
Объектмикрометр. | 3. |
| 2. Ýagtylandyryjy ОН-19.
bölejikleriň
fotoplastinka. | 4. π - μ sada
yzlary bolan |

Işiň maksady:

Fotoemulsiýada π - μ bölejikleriň yzyny öwrenmek we pion darganda emele gelyän μ - mýuonyň ylgaw ýolunyň uzynlygyny we energiýasyny kesgitlemek.

Meýilnama:

1. Sada bölejikleriň esasy toparlary.
2. Sada bölejikleriň esasy häsiýetleri.
3. Sada bölejikleriň arasyndaky özaratäsiriň görnüşleri.
4. Ýadro emulsiýa usulynyň manysy.

1. Sada bölejikleriň esasy toparlary. Atom we atom ýadrolarynyň gurluşlaryny öwrenmeklik sada bölejikleriň fizikasynyň ösmegine getirdi. Ähli sada bölejikler umumy häsiýete eýedirler. Olaryň ählisi özaralaryndaky özaratäsirlerde bir-birlerine öwrülip bilmeklik, ýuwudylmaklyk we döremeklik ukybyna eýedirler. Olaryň ählisi ölçegleri we massalary boýunça örän kiçi gurluşdyrlar.

Fiziki häsiýetleri (massasy, zaryady, ýaşayyş wagty, özaratäsiriniň görnüşi) boýunça sada bölejikleri aşakdaky toparlara bölmek bolar:

1. **Foton** - γ . Fotonyň zaryady we dynçlyk massasy nola, spini $+1\hbar$ deňdir. Foton hakyky sada bölejikdir.

2. **Leptonlar** - ýeňil bölejikler. Leptonlaryň barion zaryady nola deňdir. Leptonlar spinleri $\frac{1}{2}$ deň bolan fermionlardyr.

Ähli fermionlaryň antibölejikleri bardyr. Şoňa görä-de, ähli fermionlar ýaly, leptonlar hem bölejikleri we antibölejikleri saklaýan iki simmetrik hala eýe bolýandyklary üçin olary şertleýin aşakdaky ýaly bölýärler: leptonlar diýip e^-

(elektron), μ^- (otrisatel myuon), τ^- (otrisatel tau), ν_e

(elektron neýtrino), ν_μ (myuon neýtrino), ν_τ (tau

neýtrino) bölejikleri we antileptonlar diýip e^+ (pozitron),

μ^+ (položitel myuon), τ^+ (položitel tau), $\tilde{\nu}_e$ (elektron

antineýtrino), $\tilde{\nu}_\mu$ (myuon antineýtrino), $\tilde{\nu}_\tau$ (tau

antineýtrino).

Şeýlelikde “leptonlar” termini (“kwarklar” we “elektronlar” terminleri ýaly) iki manyda ulanýarlar: umumylaşdyrylan manyda (bölejikleri we antibölejikleri öz içine alýan) we hususy manyda (diňe bölejikler göz önüne tutulýar). Bu terminleriň haýsysyny berlen ýagdaýlarda ulanmalydygyny, adatça aýdyljak bolýan pikirden ugur almaly (kawagtlar aýdyň däl hem bolmagy mümkin).

Leptonlara $L = +1$, antileptonlara $L = -1$ lepton zaryady degişli. L lepton zaryady ähli özaratäsirlerde saklanýarlar. Munuň özi leptonlaryň diňe lepton-antilepton jübütlerini emele

getirip döreyändiglerini we ýok bolaýandyklaryny aňladýar.

Leptonlar üç dubleti (nesili) emele getirýärler $\begin{pmatrix} e^- \\ \nu_e \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \mu^- \\ \nu_\mu \end{pmatrix},$

$\begin{pmatrix} \tau^- \\ \nu_\tau \end{pmatrix}.$ Antileptonlar hem üç dubleti emele getirýärler:

$$\begin{pmatrix} e^+ \\ \tilde{\nu}_e \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \mu^+ \\ \tilde{\nu}_\mu \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \tau^+ \\ \tilde{\nu}_\tau \end{pmatrix}$$

Leptonlaryň her nesiliniň öz lepton zarýadlary bardyr: degişlilikde L_e elektron lepton zarýady, L_μ myon lepton zarýady we L_τ tau lepton zarýady. Bu zarýadlar hem leptonlar üçin $+1$ - e , antileptonlar üçin -1 - e deňdir. Bularyň umumy jemi umumy lepton zarýadyna deňdir: $L_e + L_\mu + L_\tau = L.$

3. **Adronlar.** Adronlar iki topara bölünýärler: a) Mezonlar. b) Barionlar.

a) **Mezonlaryň** barion we lepton zarýadlary nola deňdir. Olar güýçli özaratäsire

gatnaşýarlar. Ähli mezonlaryň spinleri \hbar deňdir. Mezonlara π^- (otrisatel pi mezon), π^+ (položitel pi mezon), π^0 (neýtral pi mezon), K^- (otrisatel ka mezon), K^+ (položitel ka mezon), K^0 (neýtral ka mezon), \tilde{K}^0 (antineýtral ka mezon), η (eta mezon), D^+ (položitel de mezon), D^0 (neýtral de mezon), \tilde{D}^0 (antineýtral de mezon), F (ef mezon), \tilde{F}^0 (antineýtral ef mezon) degişlidirler.

b) Barionlar - barion zaryadlary nola deň bolmadyk we lepton zaryadlary nola deň bolan agyr bölejiklerdir. Ähli barionlaryň

spinleri $\frac{\hbar}{2}$ deňdir. Barionlara p (proton), \tilde{p} (antiproton), n (neýtron), \tilde{n} (antineýtron), Λ (lýambda), $\tilde{\Lambda}$ (antilýambda), Σ^+ (položitel sigma), $\tilde{\Sigma}^+$ (antipoložitel sigma), Σ^0 (neýtral sigma), $\tilde{\Sigma}^0$ (antineýtral sigma), Σ^- (otrisatel sigma), $\tilde{\Sigma}^-$ (antiotrisatel sigma), ξ^0 (neýtral ksi), $\tilde{\xi}^0$ (antineýtral ksi), ξ^- (otrisatel ksi), $\tilde{\xi}^-$ (antiotrisatel ksi), Ω^- (otrisatel omega), $\tilde{\Omega}^-$ (antiotrisatel omega) deňşlidirler.

Aralyk bozonlar - gowşak özaratäsire gatnaşýan bölejikler. Aralyk bozonlaryň spinleri \hbar deň, olara W^\pm we Z bölejikler deňşlidir.

Durnukly

bölejiklere

$\gamma, e^-, e^+, \nu_e, \tilde{\nu}_e, \nu_\mu, \tilde{\nu}_\mu, \nu_\tau, \tilde{\nu}_\tau, p, \tilde{p}$ deňşlidirler.

Beýleki ähli bölejikler durnukly däldirler.

2. Sada bölejikleriň esasy häsiýetleri. Sada bölejikler iki görnüşde - bölejik we antibölejik görnüşde bolup bilýärler, ýagny kesgitli görnüşdäki položitel zaryadlanan bölejikler bilen bir hatarda, şol görnüşdäki otirisatel zaryadlanan bölejikler hem bolup bilýärler. Bu häsiýet ähli sada bölejiklere mahsusdyr. Şeýle hem sada bölejiklere olaryň häsiýetli aýratynlylygyny kesgitleýän, birnäçe esasy fiziki häsiýetler hem mahsusdyr. Ähli sada bölejikler massa, energiýa, spine (hereket mukdarynyň momentine), ýaşayyş wagtyna, elektrik zaryadyna we zaryadlaryň beýleki görnüşlerine, käbir bölejikler bolsa magnit momentine hem we ş.m. eýedirler. Sada bölejikleriň

özaratäsirlerindäki özaraöwrülišikleri energiýanyň, impulsyň, impuls momentiniň, elektrik we beýleki zarýadlaryň saklanma kanunlaryna berk boýun egýärler.

Bu kanunlardan başga-da, sada bölejikler üçin özboluşly saklanma kanunlary hem ýerine ýetýärler, ýagny barion zarýadynyň saklanma kanuny, lepton zarýadynyň saklanma kanuny, jübütligiň saklanma kanuny, täsinligiň saklanma kanuny, şarymyň saklanma kanuny we ş.m.

Sada bölejikleriň spini we olaryň dürli zarýadlary, bölejikleriň içki aýrylmaz häsiýetleridir we kwant häsiýetnamalarydyr. Bolejigiň elektrik zarýady bölejigiň elektromagnit özaratäsir edip bilijilik derejesini aňladýar.

Elektronyň e^- zarýady elektrik zarýadynyň kwantydyr. Lepton zarýady leptonlaryň häsiýetlerini suratlandyrmak üçin girizilendir. Noldan tapawutly lepton zarýadyna diňe leptonlar eýedirler, beýleki ähli bölejikleriň lepton zarýadlary nola deňdir. Ähli leptonlaryň barion zarýadlary nola deňdir. Proton, neýtron we beýleki agyr bölejikler - barionlar, barion zarýadyna eýedir. Ähli barionlaryň lepton zarýadlary nola deňdir. Beýleki dürli giperonlaryň adaty däl häsiýetlerini suratlandyrmak üçin täsinlik, şarm we beýleki kwant sanlary girizildi.

Sada bölejikler ähli hallarda massa eýedirler. Şunlukda massa bölejigiň energiýasynyň ölçegi bolup, doly energiýa bilen şeýle baglanşyklydyr:

$$E = mc^2$$

m - dynçlyk massasy ($\mathcal{G} = 0$ bolanda), c - ýagtylygyň ýaýramak tizligi.

Dynçlyk massasy nola deň bolan bölejikler üçin (foton - γ , 6 sany neýtrino: ν_e , $\tilde{\nu}_e$, ν_μ , $\tilde{\nu}_\mu$, ν_τ , $\tilde{\nu}_\tau$, grawiton) bölejigiň energiýasy bölejigiň impulsy bilen aşakdaky ýaly balanşyklydyr:

$$E = cp$$

3. Sada bölejikleriň arasyndaky özaratäsiriň görnüşleri.

Häzirki wagtda sada bölejikleriň arasynda ýüze çykýan özaratäsirleriň 4 görnüşi bellidir: grawitasiýa, elektromagnit, güýçli, gowşak.

1. **Grawitasiýa özaratäsiri** ähli bölejikleriň arasynda ýüze çykýar. Bölejikleriň massalarynyň kiçiligine görä grawitasiýa özaratäsiri güýçli özaratäsirden 10^{39} esse gowşakdyr.

2. **Elektromagnit özaratäsiri** elektrik zarýadlanan bölejikleriň arasynda amala aşyrylýar we elektromagnit meýdanyň wirtual fotonlary bilen, zarýadlanan bölejikden beýleki zarýadlanan bölejige geçirilýär. Elektromagnit

özaratäsiri ölçeg birligi ýok $\frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137}$ hemişelik ululyk

bilen häsiýetlendirilýär. Elektromagnit özaratäsiriň özaratäsir wagty 10^{-21} s barabardyr. Elektromagnit özaratäsiri magnit momentleri bar, emma elektrik zarýadlary bolmadyk bölejikleriň arasynda hem döräp biler (meselem, neýtronlaryň arasynda).

Elektromagnit özaratäsiri örän belli we has gowy öwrenilen hadysadyr, ol gowşak özaratäsir bilen deňeşdireniňde has simmetrikdir we güýçli özaratäsir bilen deňeşdireniňde bolsa az simmetrikdir. Elektronlaryň, pozitronlaryň, fotonlaryň, myuonlaryň arasyndaky özaratäsirler elektromagnit özaratäsire mysal bolup biler:

$$e^- + e^+ \rightarrow e^- + e^+,$$

$$e^- + e^- \rightarrow e^- + e^-$$

$$e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma,$$

$$e^+ + e^+ \rightarrow e^+ + e^+$$

$$e^- + \gamma \rightarrow e^- + \gamma,$$

$$\gamma + e^+ \rightarrow \gamma + e^+$$

3. **Gowşak özaratäsir** ähli bölejikleriň arasynda diýen ýaly döreýär. Gowşak özaratäsir ölçeg birligi ýok $\frac{1}{\hbar c} = 10^{-11}$ hemişelik ululyk bilen häsýetlendirilýär we güýçli özaratäsirden 10^{11} esse gowşakdyr. Gowşak özaratäsir ýadrolaryň beta-dargamasynda, şeýle hem sada bölejikleriň dargamasynda hasda aýdyň ýüze çykýar. Gowşak özaratäsiri täsir radiusynyň ($R \sim 10^{-15} \text{ sm}$) we intensiwliginiň kiçiligi bilen, şeýle hem reaksiýa wagtynyň (10^{-13} s) ululygy bilen häsýetlenýär. Täsir radiusynyň kiçiligine görä gowşak özaratäsir esasan mikrodünýäde ýüze çykýar. Gowşak özaratäsir iň az simmetrik täsirdir we onda esasan esasy saklanma kanunlary ýerine ýetýär. Gowşak özaratäsiriň aýratynlygy, ol hem bu täsire neýtrinonyň gatnaşmagydyr, we täsinligiň saklanma kanunynyň ýerne ýetmeýänligidir. Gowşak özaratäsir esasan sada bölejikleriň has ýeňil bölejiklere öwrülmepleri bilen haýal dargamaklygynda ýüze çykýar. Gowşak özaratäsir sada bölejikleriň dargamasyny şertlendirýär. Bölejikleriň β -dargamasy hem gowşak özaratäsir bilen düşündirilýär. Gowşak özaratäsire aşakdaky reaksiýalar mysal bolup biler:

$$n \rightarrow p + e^{-} + \tilde{\nu}_e; \quad p \rightarrow n + e^{+} + \nu_e$$

$$\mu^{-} \rightarrow e^{-} + \tilde{\nu}_e + \nu_{\mu}; \quad \pi^{-} \rightarrow \mu^{-} + \tilde{\nu}_{\mu}$$

$$\mu^{+} \rightarrow e^{+} + \nu_e + \tilde{\nu}_{\mu}; \quad \pi^{+} \rightarrow \mu^{+} + \nu_{\mu}$$

4. **Güýçli özaratäsir** agyr bölejikleriň - adronlaryň (protonlaryň, neýtronlaryň, pionlaryň (π -mezonlaryň), giperonlaryň) arasynda döreýär. Ýadrolaryň barlygy we durnuklylygy güýçli özaratäsir bilen düşündirilýär. Ýeňil bölejikler (leptonlar) we fotonlar güýçli özaratäsire

gatnaşmaýa arlar. Güýçli özaratäsir örän ýiti täsirler, onuň özaratäsir radiusy $R \sim 10^{-13}$ sm, reaksiýa wagty 10^{-23} s

deňdir. Bu täsir ölçeg birligi ýok $\frac{g}{\hbar c} \approx 1 \div 15$ hemişelik

ulylyk bilen häsýetlendirilýär. **Ýadroda neýtron bilen protonyň arasyndaky güýçli özaratäsir wirtual π -mezonlar arkaly amala aşyrylýar.** Adronlarda güýçli özaratäsir kwaryklar tarapyndan döredilýän glýuonlar arkaly amala aşyrylýar.

Pionlar (π^- , π^0 , π^+ - mezonlar) durnuksyz bölejiklerdir, olar güýçli özaratäsire gatnaşýarlar, ýadro meýdanynyň kwantlarydyrlar, ýadroda protonlaryň we neýtronlaryň özaratäsirlerinde protonlar we neýtronlar tarapyndan göýberilýärler we ýuwudylýarlar. Pionlaryň massalarynyň ululygy protonyň we elektronyň massalarynyň arasyndaky aralyk massa, ýagny $273m_e$ deňdir (m_e – elektronyň massasy). Pionlaryň spini nola deňdir.

Mýuonlar (μ^- , μ^+ - leptonlar) hem durnuksyz bölejiklerdir we güýçli özaratäsire gatnaşmaýarlar.

Ýaşayyş wagty $\tau = 2,56 \cdot 10^{-8}$ s bolan pionlar (π^\pm - mezonlar) μ^\pm leptona we mýuon neýtrino (antineýtrino) dargaýarlar:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu; \quad \pi^- \rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu \quad (1)$$

Ýaşayyş wagty $\tau = 2,22 \cdot 10^{-6}$ s bolan mýuonlar (μ - leptonlar) aşakdaky reaksiýa boýunça dargaýarlar:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu; \quad \mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu \quad (2)$$

Bu reaksiýada ν_e we ν_μ deňşililikde elektron we mýuon neýtrinolar, $\tilde{\nu}_e$ we $\tilde{\nu}_\mu$ bolsa, deňşililikde elektron we mýuon antineýtrinolar.

Mýuon tarapyndan alnyp gidilýän kinetik energiýanyň ululygy diňe π we μ - bölejikleriň dynçlyk massalaryna baglydyr (neýtrinonyň dynçlyk massasy nola deňdir). Piony dynçlykda diýip hasap edip (1) reaksiýa üçin energiýanyň we impulsyň saklanma kanuny şeýle ýazylar:

$$m_\pi c^2 = m_\mu c^2 + T_\mu + E_\nu \quad (3)$$

$$|\vec{P}_\mu| = |\vec{P}_\nu| \quad (4)$$

Bu formulada

$$T_\mu = \sqrt{P_\mu^2 c^2 + m_\mu^2 c^4} - m_\mu c^2 - \text{mýuonyň}$$

kinetik energiýasy,

$$E_\nu = P_\nu c - \text{neýtrinonyň (antineýtrinonyň) energiýasy.}$$

$$\vec{P}_\mu, \vec{P}_\nu - \text{deňşililikde mýuonyň we neýtrinonyň} \\ \text{impulsary.}$$

T_μ we E_ν aňlatmalary nazara tutup (3) we (4) deňlemeleri çözüp, alarys:

$$T_\mu = \frac{(m_\pi - m_\mu)^2 c^2}{2m_\pi} \quad (5)$$

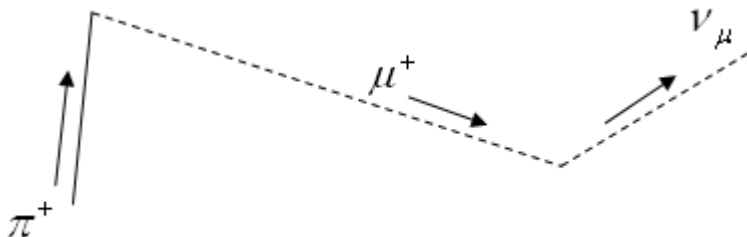
4. Ýadro emulsiýa usulynyň manysy. Zaryadly π - mezonlaryň dargamasynda döreýän μ - leptonlar atom ýadrolary bilen gowşak özaratäsir edişýärler. π - mezonlaryň dargamasynda mýuonlaryň emele gelyändigini bilip, bu tejribe işinde ýadro emulsiýasynyň kömegi bilen ýüze çykarylan $\pi - \mu$ dargamasy öwrenilýär. Nyşana tizlendirlen

protonlaryň desesi bilen atylanda fotoemulsiýada π - mezonlaryň yzlary emele gelýär.

Ýadro emulsiýa usuly düýpli amatlyklara eýedir, şoňa görä-de ony ýadro fizikasynda, aýratyn hem onuň has ýokary energiýaly çäklerinde giňden ulanýarlar. Ýadro emulsiýa usulyň kömegi bilen täze açyşlar we sada bölejikleriň möhüm häsýetleri barada maglumatlar alyndy. Mysal hökmünde zarýadlanan π - mezonlaryň açylyşyny, $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$

we $\pi^- \rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu$ dargamalary we başgalary görkezmek bolar.

Fotoemulsiýa usuly beýleki adaty usullardan özüniň has ýokary duýgurlygy we emulsiýanyň uly dykzlygy bilen baglanyşykly bolan, emulsiýanyň togtatmak (tormozlamak) ukybynyň ýokarylygy bilen tapawutlanýar. Usulyň manysy şundan ybaratdyr: zarýadly ýadro bölejigi emulsiýanyň içinden geçende, emulsiýanyň düzümine girýän maddanyň atomlaryny we molekulalaryny we şol sanda galloid kümşüň kristallaryny ýüze çykмага ukyply edip ionlaşdyrýar. Netijede ol energiýasyny kem-kemden ýitirýär. Ýüze çykarlandan soň zarýadly bölejigiň galdyran yzynyň ugrunda, metal kümşüň dänejiklerinden emele gelen gara yz döreýär. Bu yzy mikroskopda görmek bolýar. 1-nji suratda π^+ - mezonyň mýuona we neýtrina dargamasynyň zynjyry görkezilendir.



1-nji surat

Pion dargamasynda ähli μ - leptonlaryň birmeňzeş kinetik energiýany alyp gidýändiglerini bellemek gerek ((5) formula seret), şoňa görä-de mýuonlaryň fotoemulsiýada galdyran yzlarynyň uzynlyklary takmynan hemişelikdir. Yzyň ahyrynda uzynlyk birligine düşýän däneleriň dykzyzlygy artýar, sebäbi bölejigiň tizliginiň kemelmegi bilen onuň bromly kümüşň kristallary bilen özara täsiriniň ähtimallygy artýar.

μ^+ - položitel mýuonyň dargamasynda emele gelýän e^+ pozitron, fotoemulsiýada $\pi - \mu$ dargamasynyň yzlaryndaky ionlaşma dykzyzlygyndan has az ionlaşma dykzyzlygy bolan yzlary galdyrýar.

Fotoemulsiýada μ^+ - leptonlaryň R ylgaw ýolunyň uzynlygyny kesgitläp, R ylgaw ýolunyň E energiýa baglylyk egrisinden (2-nji surat) μ^+ - položitel mýuonlaryň T_μ kinetik energiýasynyň ululygyny tapmak bolar we soňra (5) formula boýunça $m_\pi - m_\mu$ massalaryň tapawudyny kesgitlemek bolar.

Işiň ýerine ýetirilişi

1. Işe başlamazdan öň MBP - 3 mikroskopyň ýazgysy bilen tanyşmaly.
2. Fotoemulsiýaly plastinkany, taraplary mikroskopyň iş stoljygyna ugurdaş bolar ýaly ýerleşdirmeli.
3. Fotoemulsiýada $\pi - \mu$ dargamanyň yzlaryny tapyň, onuň suratyny çekin we stolyň ölçeg çyzgyjynyň görkezmesi boýunça olaryň koordinatalaryny belläň. Şunlukda μ^+ -

mýuonlaryň yzlary emulsiýa gatlagynyň, şeýle hem okulýaryň ölçeg çyzgyjynyň çäklerinden çykmalý dälär.

4. μ^+ - mýuonyň ylgaw ýolunyň uzynlygyny aşakdaky formula boýunça kesgitlemeli:

$$R = \sqrt{l^2 + h^2}$$

bu ýerde l - yzyň mikron hasabyndaky boý (gorizontal) uzynlygy, h - yzyň mikron hasabyndaky galyňlygy (yzyň dik kölegesi).

μ^+ - mýuonyň yzynyň l boý (gorizontal) uzynlygyny kesgitlemek üçin okulýaryň sazlaýjysyny aýlap okulýaryň ölçeg çyzgyjynyň ugruny μ^+ - mýuonyň galdyran yzynyň uzynlygyny bilen gabat getirmeli we yzyň uzynlygynda ýerleşen kesimleriň sanyny bellemeli. Soňra bu sany okulýaryň ölçeg çyzgyjynyň kesimleriniň bahasyna köpeltmeli.

Yzyň h galyňlygy mikroskopyň mikroölçeýji nurbatjygynyň kömegi bilen ölçelýär. Ilki obýektiwi yzyň başlangyç nokadyna fokusirlmeli we bu ýagdaýda mikronurbatjygyň ölçeg çyzgyjyndaky bahany bellemeli. Edil şeýle hereketleri yzyň ahyrky nokady üçin hem gaýtalamaly. Ölçeg çyzgyjynyň görkezmeleriniň tapawudyny kesimleriň bahasyna köpeldip görnün z galyňlygy alarys. Netijede yzyň dik okuň ugruna görä umumy hakyky galyňlygy aşakdaky formula bilen kesgitlenär:

$$h = knz \quad (6)$$

bu ýerde k - çökme köpeldijisi, n - emulsiýanyň döwme görkezijisi ($n \approx 1,52$).

k çökme köpeldijisi emulsiýanyň başlangyç galyňlygynyň ($d_0 = 400$ mkr) ýüze çykarlandan soňky d galyňlygyna bolan gatnaşygy bilen kesgitlenýär:

$$k = \frac{d_0}{d} \quad (7)$$

d galyňlyk emulsiýanyň ýokarky we aşaky üstlerine mikroskopy gezekli-gezegine fokusirlemek bilen kesgitlenýär:

$$d = x(N_2 - N_1) \quad (8)$$

bu ýerde x - mikroölçeg nurbatjygynyň kesimleriniň bahasy, N_1 - yzyň emulsiýadaky ýokarky üstine mikroskop fokusirlenende (okulýarda yzyň inçe şekili alynmaly) mikroölçeg nurbatjygyň ölçeg çyzgyjynyň bahasy, N_2 - yzyň emulsiýadaky aşaky üstüne mikroskop fokusirlenende (okulýarda yzyň ýogyn şekili alynmaly) mikroölçeg nurbatjygyň ölçeg çyzgyjynyň bahasy. Onda çökme köpeldijisi şeýle kesgitlener:

$$k = \frac{d_0}{x(N_2 - N_1)} \quad (9)$$

Şeýlelikde, μ^+ - položitel mýuonlaryň ylgaw ýolunyň uzynlygy gutarnykly şeýle kesgitlener:

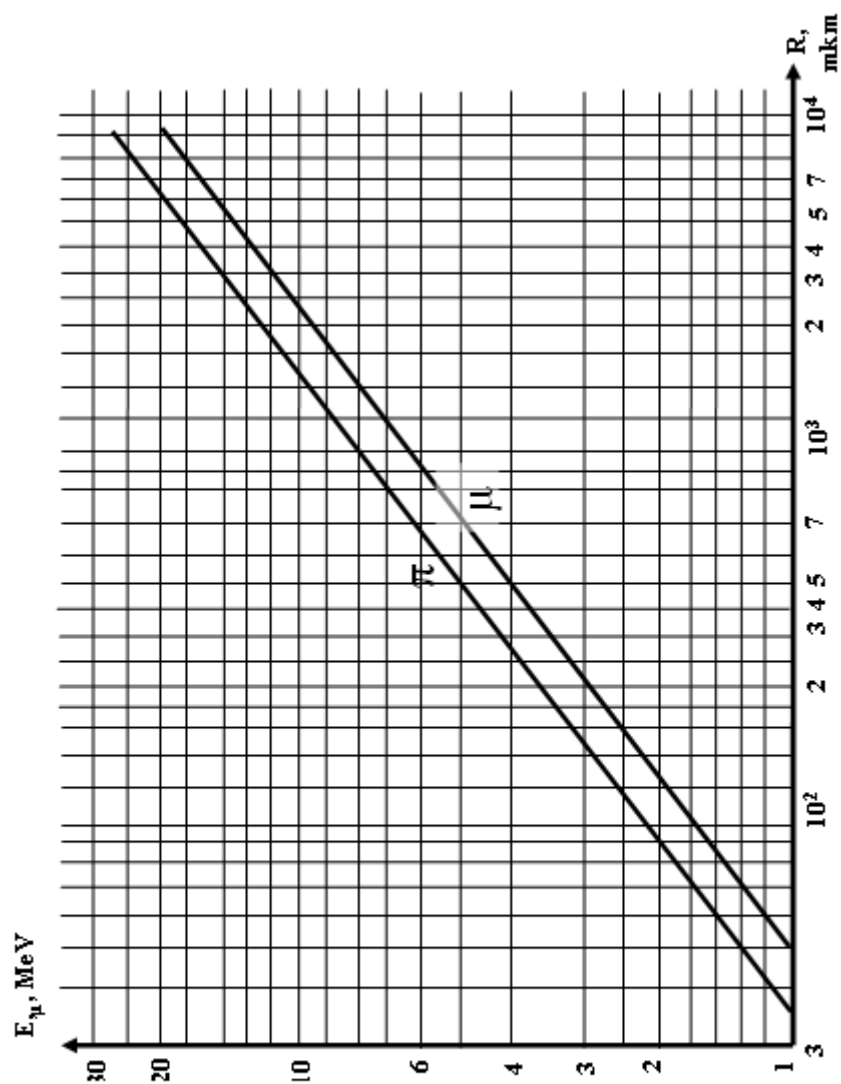
$$R = \sqrt{l^2 + k^2 n^2 z^2}$$

5. R ylgaw ýolunyň uzynlygyny bilip, Goşundy-3-de getirilen grafikden peýdalanyp, $\pi - \mu$ dargamasyndan emele gelýän μ - mýuonyň kinetik energiýasyny tapmaly.
6. (5) formula boýunça $\pi - \mu$ bölejikleriň massalarynyň $m_\pi - m_\mu$ tapawudyny kesgitlemeli.
7. Alnan netijeleriň ýalňyşlygyny kesgitlemeli.
8. Alnan ululyklary jedwele ýazmaly.

t/b	Yzyn- uzyn- lygy l , mkm	Gök- me köpel- dijisi k	Yzyn galyň- lygy z , mkm	μ^+ mýuo- nyň ylgaw ýolunyň uzyn- lygy R , mkm	μ^+ mýuo- nyň kinetik energi- ýasy T_μ , MeV	$m_\pi - m_\mu$ kg
1						
2						
3						

Barlag üçin soraglar:

1. Ýadro fizikasynda sada bölejikleri kesgitlemegiň haýsy usullary ulanylýar?
2. Sada bölejikleriň esasy häsýetlerini aýdyň.
3. Sada bölejikleriň umumy häsýetlerini sanaň.
4. Sada bölejikleriň haýsy görnüşlerini bilýärsiňiz?
5. π we μ bölejikler sada bölejikleriň haýsy görnüşine degişli?
6. Zarýadlanan bölejikleri tirlendirijileriň görnüşlerini sanaň.



2-nji surat

μ^+ - mýuonlaryň ylgaw ýolunyň uzynlygynyň mýuonyň E_μ
kinetik energiýasyna baglylygy

10 - nýj TEJRIBE IŞI.

GEÝGER – MÝULLERIŇ SANÁÝJYSYNY ÖWRENMEK

Gerek abzallar we enjamlar:

1. Elektrik toguny göneldiji УИП-1.
2. Geýger-Mýulleriň sanaýjysy.
3. Gaýtadan sanaýjy abzal ПСО2-4 (ýa-da ossillograf).
4. Radioaktiw preparat.

Işiň maksady:

Gazyň zarýadsyzlanmagyna esaslanyp işleýän Geýger-Mýulleriň sanaýjysyny öwrenmek we onuň sanaw häsiýetnamasyny kesgitlemek.

Meýilnama:

1. Ionlaşdyryjy bölejikler.
2. Ionlaşdyryjy bölejikleri kesgitlemek we sanamak.
3. Gaz bilen doldurylan detektorlaryň işleýiş aýratynlyklary.
4. Zarýadsyzlanmanyň söndürilişi.
5. Özi sönýän sanaýjylar.
6. Geýgeriň-Mýulleriň sanayjysynyň ulanylýan ýerleri.
7. Geýger-Mýulleriň sanaýjysynyň gurluşy.
8. Geýger-Mýulleriň sanaýjysynyň sanaw häsiýetnamasy.

1. Ionlaşdyryjy bölejikler. Ýeterlik enrgiýaly bölejikler atomalar we molekulalar bilen özaratäsir edişende (urguda)

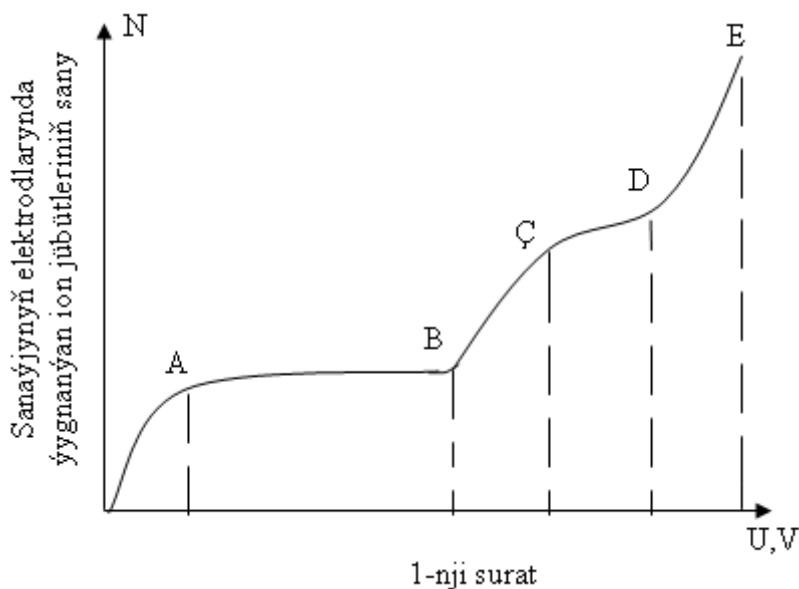
olaryň düzüminden elektronlary çykaryp atomlary we molekulalary ionlara öwürýärler. Şeýle hadysa atomlaryň we molekulalaryň **ionlaşmasy**, ony emele getirýän bölejiklere bolsa **ionlaşdyryjy bölejikler** diýilýär. Ionlaşmanyň bolmagy üçin ionlaşdyryjy bölejikleriň energiýasy atomlaryň we molekulalaryň ionlaşmagy üçin gerek bolan energiýasyna (4 - 25 eW) deň ýa-da ondan uly bolmaly. Şeýle energiýaly bölejikler kosmosdan gelýän şöhleleriň düzüminde köp (olaryň ortaça energiýasy 10^{10} eW, iň uly (maksimal) energiýasy 10^{20} eW deň). Radioaktiw şöhleler hem ionlaşdyryjy bölejiklerdir. α - bölejikleriň energiýalary 4 - 9 MeW, β - bölejikleriňki – 0,1 - 1,05 MeW we γ - bölejikleriňki bolsa 10 keW – 5 MeW aralygynda bolýarlar. Kosmosdan gelýän şöhleler we radioaktiw şöhleler tebigy ionlaşdyryjylardyr. Energiýasy 10^{15} eW bolan Ionlaşdyryjy bölejikleri emeli usul bilen tizlendirijilerde hem döredýärler.

2. Ionlaşdyryjy bölejikleri kesgitlemek we sanamak. Ionlaşdyryjy bölejikler maddanyň içinden geçende ep-esli “yz” galdyryýarlar. Şol “yzy”, zarýadly bölejikleri – elektronlary we ionlary – kesgitlemek hem ionlaşdyryjy bölejikleri kesgitlemekdir.

Ionlaşdyryjy bölejikleri kesgitlemek üçin hyzmat edýän abzallara **detektorlar** diýilýärler. Olar, detektora ionlaşdyryjy zarýadlanan bölejik düşende elektrik togunyň impulsyny döredýän **sanaýjylara** ýa-da **elektron detektorlaryna** we bölejigiň yzyny kesgitlemäge mümkinçilik berýän **trek detektorlaryna** bölünýärler. Soňra, tehnikanyň ösmegi bilen **birleşdirilen** (kombinirlenen) **detektorlar** hem döredildi. Trek detektorlaryna iň irki, 1912-nji ýylda döredilen Wilsoneyň gutusy we başgalar degişlidirler. Ionlaşma gutylary, proporsional sanaýjylar we Geýger-Mýulleriň sanaýjylary-bular ýadro şöhlelenmeleri aýan etmek üçin ulanylýan has irki detektorlardyr. Olaryň her haýsysynyň gaz bilen doldurylan gutylary bardyr, soňa görä-de olara, **gaz bilen doldurylan**

detektorlar hem diýilýär. Bulardan başga-da, ssintillýasiýaly, Çerenkow we ýarymgeçirijili sanaýjylar hem bardylar.

3. Gaz bilen doldurylan detektorlaryň işleýiş aýratynlyklary. Bu detektorlaryň işleýiş aýratynlyklaryna düşünmek üçin elektrodarda ýygnanýan ion jübütleriniň sanynyň naprýaženiýa baglylyk grafigine seredeliň (1-nji surat):



a) Gaz bilen doldurylan ionlaşdyryjy detektor içinde iki sany elektrody bolan ýapyk gurluşdyr. Ýadro bölejiginiň täsiri bilen ionlaşma netijesinde gazda, sany şöhlenemäniň görnüşine we energiýasyna, gazyň jynsyna we basyşyna bagly bolan elektron-ion jübütleri döreýärler. Bölejek tarapyndan emele gelen elektronlar we položitel ionlar, elektrik meýdanynda tok emele getirip, degişli elektrodlara tarap hereket edýärler. Naprýaženiýanyň artmagy bilen, ilki başda tok çyzykly ulalýar. Şunlukda biri-biri bilen bäsleşýän iki

ýagdaý döreýär: elektrodlarda ionlaryň we elektronlaryň ýygnaýma ýagdaýy we gaz göwrümünde ionlaryň we elektronlaryň rekombinasiýa ýagdaýy. Kiçi naprýaženiýalarda emele gelen ionlaryň hemmesi elektrodlara etip bilmeýärler. Olaryň käbir bölegi gaýtadan birleşýärler, ýagny elektronlar bilen birleşip (**rekombinasiýa**), ýene bitarap molekulalary döredýärler. Elektrodlara goýulan U naprýaženiýanyň artmagy bilen ionlaryň we elektronlaryň hereket tizlikleri artýar, rekombinasiýanyň ähtimallygy kemelýär we elektrodlarda ýygnaýan zarýadlaryň sany artýar (1-nji surat, OA-bölek).

b) Naprýaženiýany ýene-de artdysak emele gelýän ionlaryň we elektronlaryň ählisi diýen ýaly elektrodlarda ýygnaýarlar. Bu ýagdaýda naprýaženiýanyň ulalmagy toguň ulalmagyna getirmeýär (doýma ýagdaý), ýagny elektrodlarda ýygnaýan zarýadlaryň ululygy U naprýaženiýa bagly däl bolýar we ol diňe başlangyç (ilkinji) ionlaşmanyň netijesinde emele gelen elektron-ion jübütleriniň r sanyna bagly bolýar. Başlangyç elektron-ion jübütleriniň sany bolsa bölejigiň doly energiýasyna proporsionaldyr. Sanaýjynyň bu iş ýagdaýyna **sanaýjynyň ionlaşma guty hökmünde işleýän ýagdaýy** (1-nji surat, AB-bölek) diýilýär. Bu AB bölekde elektrodlarda ýygnaýan zarýadlaryň ululygy, ionlaşma prosessi netijesinde emele gelen elektronlaryň jemi zarýadyna deňdir.

ç) Ionlar we elektronlar elektrik meýdanynda hereket edenlerinde gazyň bitarap molekulalary bilen çaknyşma sezewar bolýarlar. Naprýaženiýanyň ýene-de artdyrylmasynda

ilkinji ionlaşmada dörän elektronlaryň $eU = \frac{mv^2}{2}$ kinetik

energiýasy şeýle bir artýar, ýagny olar hem öz gezeginde ionlaşdyrma (urgy ionlaşmasy) ukyply bolýarlar. Gazyň molekulalary elektronlar bilen çaknyşma netijesinde oýandyrylan hala geçýärler we fotonlary şöhlelendirip esasy hala geçýärler. Bu fotonlar katodyň üstüne düşüp, ondan fotoeffekt hadysasy netijesinde elektronlary goparýarlar.

Şeýlelikde sanaýjynyň sapagyna (anodyna) her bir ilkinji elektronyň ornuna elektronlaryň sürüsi gelýär. Sanaýjynyň sapagyna gelýän elektronlaryň sanynyň ilkinji elektronlaryň sanyna bolan gatnaşygyna **gaz güýjenmesiniň k köpeldijisi** diýilýär. $k < 10^3$ bahalarynda ol durnukly bolýar. Şeýlelikde, sapaga (anoda) gelýän elektronlaryň mukdary ilkinji elektronlaryň sanyna we hasaba alynýan bölejikleriň energiýasyna proporsional bolýar. Şu ýagdaýda işleýän sanaýja **proporsional sanaýjy** (1-nji surat, BÇ - bölek). diýilýär. Proporsional sanaýjylar bölejikleriň ähli görnüşlerini (α - bolejikleri, elektronlary, atom ýadrolarynyň böleklerini we başgalary) kesgitlemek üçin ulanylýarlar.

d) Elektrodlardaky naprýaženiýany ýene-de artdyrsaň, onda sapaga gelýän elektronlaryň sany bilen ilkinji elektronlaryň sanynyň arasynda baglylyk bozulyp başlaýar we impulsaryň sany çaltlyk bilen artýar. Sanaýjynyň bu iş ýagdaýyna **sanaýjynyň «çäklendirilen proporsionallykda» işleýän ýagdaýy** (1-nji surat, ÇD-bölek) diýilýär.

e) Sanaýja ýeterlik uly naprýaženiýe goýulanda ilkinji položitel ionlaryň sany has artýar we olar katoda urulyp, hökman täze elektronlary döredýärler, ýagny täze elektron-ion toplumynyň üznüksiz akymyny döredýärler. Başgaça aýdanymyzda, zarýadsyzlanmaklyk özbaşdak bolýar. Özbaşdak zarýadsyzlanmak ýagdaýynda işleýän detektorlara **Geýger-Mülleriň sanaýjysy** diýilýär (1-nji surat, DE-bölek).

Bu ýagdaýda sapaga (anoda) gelýän elektronlaryň sany ilkinji elektronlaryň sanyna, şonuň bilen birlikde sanaýja düşýän bölejigiň energiýasyna-da bagly bolmaýar. Ol diňe hasaplaýja goýulan naprýaženiýanyň ululygyna baglydyr. Diýmek, Geýger-Mülleriň sanaýjysynyň kömegi bilen kesgitlenilýän şöhlenenmäniň energetik düzüminiň derňewini geçirip bolmaz.

k) Eger naprýaženiýany ýene-de artdyrsak, onda sanaýja daşardan bölejek gelýärmí ýa-da gelmeýärmí, tapawudy ýok,

barybir zarýadsyzlanma dowam edip durýar we sanaýjy sanamaýar. Sanaýjynyň bu iş ýagdaýyna **sanaýjynyň üznüksiz zarýadsyzlanma bölegi** (E nokatdan soň) diýilýär.

4. Zarýadsyzlanmanyň söndürilişi. Ýönekeý gazlar bilen doldurylan sanaýjylarda položitel ionlar katoda çenli aralygy geçip metaldan (katoddan) elektronlary goparyýarlar we netijede ionlar neýtral bolýarlar. Bu dörän goşmaça elektronlar ýene-de zarýadsyzlanmany döretmekleri mümkin. Eger-de, sanaýjyda dörän bu özbaşdak zarýadsyzlanma dowam edip dursa, onda sanaýja daşardan bölejik gelýärmi ýa-da gelmeýärmi, tapawudy ýok, barybir zarýadsyzlanma dowam edip durýar we sanaýjy sanamaýar. Ony sanatmak, işletmek üçin bir bölejik düşendäki dörän özbaşdak zarýadsyzlanmany söndürmeli-de, indiki düşjek bölejigi kesgitlemäge taýýar etmeli. Şoňa görä-de, bu goşmaça zarýadsyzlanmanyň döremekliginiň önüni almak üçin, eger döräýse-de, ony söndürmek zerurlygy ýüze çykýar.

Sanaýjydaky özbaşdak zarýadsyzlanmany söndürmeklik iki hili usul bilen amala aşyrylýar: birinjisi, zarýadsyzlanmanyň zynjyryna uly $R = 10^8 - 10^9 \text{ Om}$ garşylygy (2-nji surat) birikdirmek bilen (özi sönmeýän, söndürilýän sanaýjy) amala aşyrylýar. R garşylygyň barlygy sebäpli zarýadsyzlanma wagtynda položitel ionlar katoda ýetip neýtrallaşýança A anodda pes naprýaženiýa saklanýar we sanaýjyda 10^{-4} s soň zarýadsyzlanma sönýär. Bu zynjyryň girişiniň wagt hemişeliginiň položitel ionlaryň ýygnanma wagtyndan uly bolýanlygy sebäpli bolýar. Ikinjisi, sanaýjyda spirtiň (ýa-da başga köp atomly gazyň) buglarynyň az mukdary garylan inert gazyndan we galoidlerden ybarat gaz garyndysyny ulanmak bilen (özi sönýän sanaýjy).

5. Özi sönýän sanaýjylar. Häzirki wagtda özi sönmeýän sanaýjylar seýrek ulanylýar. Sanaýjyda zarýadsyzlanmany söndürmek üçin, sanaýjynyň içinden ionlaşdyryjy bölejik geçenden soň zarýadsyzlanmany saklaýan sebäpleri (katoddan fotoelektronlaryň goparylmagyny; katodda uly energiýaly

položitel ionlaryň bitaraplaşmagyny) ýok etmek gerek. Kadaly işleýän sanaýjyda birinji harasaňda (lawinada) zarýadsyzlanma sönmeli.

Zarýadsyzlanmany çalt söndürmegiň has giň ýaýran usuly, sanaýjydaky esasy gazyň içine, zarýadsyzlanmany söndürmäge ukyply başga gazy goşmakdyr. Şeýle hili goşmaça gazly sanaýjylara **özi söňýän sanaýjylar** diýilýär. Meselem, inert gazlary bilen doldurylan sanaýjylara, pes ionlaşma potonsially we elektronlaryň ýelmeşmek koeffisiýentleri kiçi bolan organiki, köpatomly gazlary goşýarlar. Bu maksat üçin spirtiň buglaryny, etilen ýa-da galogenleri (hlor, brom, ýod) ulanýarlar. Köpatomly gazlaryň molekulalary zarýadsyzlanma wagtynda döreýän fotonlary ýuwutmaga ukyplydyrlar.

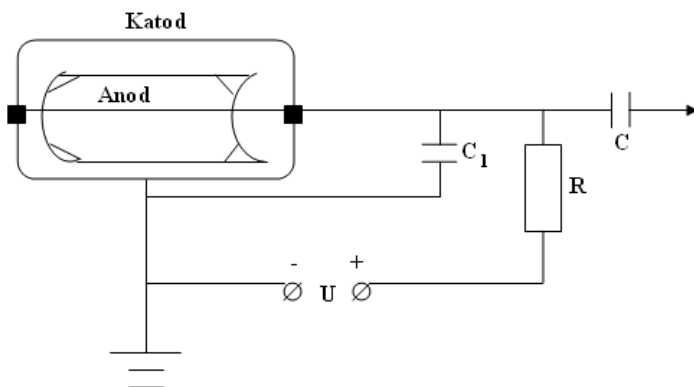
6. Geýger - Mýulleriň sanayjsynyň ulanylýan ýerleri. Geýger-Mýulleriň sanaýjylary dürli hili radioaktiw we ionlaşdyryjy söhlelenmeleri: α - we β - bölejikleri, gamma kwantlary, ýagtylyk we rentgen kwantlaryny, kosmiki şöhlelenmäniň bölejiklerini we s.m., aýan etmek we derňemek üçin ulanylýan içi gaz bilen doldurylan detektorlaryň görnüşine degişli gurluşdyr.

Ikilenji ionlaşdyryjy bölejikler - serpiggen protonlar, fotoýa-da kompton-elektronlar, elektron-pozitron jübütler boýunça Geýger-Mýulleriň sanaýjylary neýtronlary we γ - kwantlary bellige alyp bilýär. Ýokary ygtybarlygy we ýasalyşynyň ýönekeýligine görä sanaýjylar radioölçeg tehnikaşynda giňden ulanylýarlar. Sanaýjylaryň esasy üstünligi, ol hem onuň ýokary duýgurlygydyr: sanaýjydan geçýän işlendik ionlaşdyryjy bölejik, eger ol zarýadsyzlanma döretmäge ýeterlik bolýan, iň bolmanda bir jübüt ionlary döredip bilýän bolsa, onda ol bölejik sanaýjy tarapyndan bellige alynýar.

Sanaýjydan alynýan impulslaryň amplitudasy adatça ululygynyň tertibi boýunça 1W deňdir. Sanaýjylary şöhlelenmäniň amplituda derňewleri üçin ulanyp bolmaýar. Sebäbi sanaýjynyň çykyşyndaky impulslaryň amplitudasy, bu

impulsy döreden başlangyç ionlaşma bagly däldir. Ssintillýasiýa we beýleki detektorlarda bu beýle däl, ýagny olarda, çykydaky signal, bölejigiň detektordaky ýitiren energiýasynyň ululygyna baglydyr.

7. Geýger-Mýulleriň sanaýjysynyň gurluşy. Köplenç bu sanaýjylarda koaksial (bir-biriniň içinde) ýerleşen silindr görnüşli elektrodlar ulanylýarlar: daşky silindr (adatyça sanaýjynyň daşky diwary) katod bolup hyrmat edýär (2-nji surat). Daşky silindriň (katodyň) içki oky boýunça, diametri $\sim 0,1\text{mm}$ bolan wolfram simi anodyň weripesini ýerine ýetirýär. Geýger-Mýulleriň sanaýjysynda elektrodlar $100-200\text{mm}$ simap sütünli basyşly inert gazy bilen doldurylan (geliý, argon, we ş.m.) ýapyk gapda ýerleşdirilen. Sanaýjynyň elektrik zynjyryna birikdirilişi 2-nji suratda görkezlen.

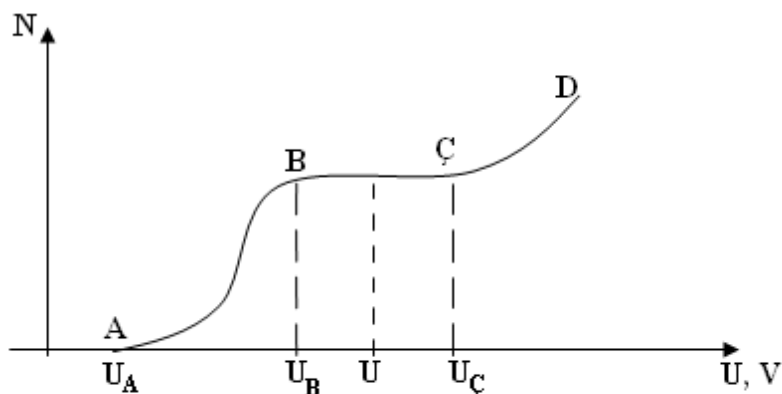


2-nji surat

Sanaýjynyň A ýygnaýjy elektrody (anody) bilen K katodyň aralygyna ýokary woltly tok çeşmesinden (УПН-1) birnäçe ýüz wolt U naprýaženiýe berilýär. Bu shemanyň amatly tarapy, ol hem katodyň potensialynyň, ýeriň potensialyna deň ýagdaýynda saklanýanlygydyr. Ýygnaýjy elektrod (anod) ýere görä uly položitel potensiala eýedir. C

kondensator sanaýjynyň ýokary woltly iýmitlendiriş çeşmesi bilen elektron shemanyň girişiniň arasynda goýulýar. Iýmitlendiriş çeşmesi bilen yzygider birikdirilen R garşylyk A anody iýmitlendiriş çeşmesinden aýyrýar.

8. Geýger-Mýulleriň sanaýjysynyň sanaw häsiýetnamasy. Gazyň zarýadsyzlanmagyna esaslanyp işleýän sanaýjynyň esasy häsiýetnamasy bolup onuň sanaw häsiýetnamasy hyzmat edýär. Sanaýja düşýän bölejikleriň sanynyň üýtgeşsiz ýagdaýynda sanaýjynyň wagt birliginde berýän impulslarynyň sanynyň (sanaw tizliginiň) oňa goýlan naprýaženiýa baglylygyna sanaýjynyň **sanaw häsiýetnamasy** diýilýär (3-nji surat).



3-nji surat

Impulslary kesgitlemeklik U_A “otlamak” potensialy diýip atlandyrylýan käbir naprýaženiýada mümkin bolup başlaýandygyny belläp geçmek gerek. Sanaýjyda U naprýaženiýe artanda kesgitlemäge ýeterlik amplitudalary bolan impulslaryň sany artýar. Häsiýetnamanyň bu degişli bölegi AB bölek bilen şekillendirilen. AB bölekde impulslaryň sanynyň artmaklygy sanaýjynyň “çäklendirilen proporsionallykda” işleýändigini bilen düşündirilýär, ýagny

sanaýjyda zarýadsyzlanmanyň döremekligi ilki başda dörän ion jübütleriniň sanyna bagly bolýar.

Käbir naprýaženiýadan ($U_B < U < U_C$) başlap sanawyň tizligi goýlan naprýaženiýa bagly bolmaýar, sebäbi bu ýerde her bir ionlaşdyryjy böleklik, bellige alar ýaly ýeterlik bolan impulsy döredip bilýär (zarýadsyzlanmanyň bir aktyny döretmek üçin bir jübüt ionlar ýrterlikdir). Bu bölekde sanaw tizligi sanaýjynyň işçi göwrümünde bolup geýýan ionlaşma aktlarynyň sany bilen kesgitlenýär. Şoňa görä-de, sanawyň tizliginiň üýtgemän galýan bölegindäki naprýaženiýanyň çäklerine (BÇ bölek) sanaýjynyň "üsti" diýilýär. Sanaýjynyň işçi naprýaženiýasy hökmünde "üstüň" ortasyna degişli bolan U_i naprýaženiýanyň bahasyny alýarlar. "Üst" näçe giň we onuň ýapgytlygy näçe kiçi boldugyça, sanaýjynyň işçi häsiýetnamalary şonça-da gowydyr.

Şunlukda, impulslaryň sany tok çeşmesiniň naprýaženiýasyna bagly bolmaýar. Şoňa görä-de, her bir sanaýjy üçin işçi naprýaženiýasyny saýlap almak üçin hasaplaýjynyň sanaw häsiýetnamasyny almak gerek.

Naprýaženiýe ýene-de artdyrylanda ($U > U_C$), sanaýjynyň üznüksiz zarýad-syzlanmak ýagdaýyna geýýändigine görä, sanawyň tizligi çalt artýar (ÇD bölek). Bu çäkde bölejigi kesgitlemek mümkin däl.

Alnan sanaw häsiýetnamasyndan işçi naprýaženiýasynyň ululygy, "üstüň" uzynlygy we ýapgytlygy baradaky maglumlary almak bolýar.

Işçi naprýaženiýe, "üstüň" uzynlygy we ýapgytlygy sanaýjynyň içindäki gazyň tebigatyna, gazyň basyşyna we sanaýjynyň gurluşyna (katodyň diametrine, anodyň sapagynyň galyňlygyna) baglydyr. Gazyň basyşy artanda işçi naprýaženiýa, düzgün boluşy ýaly, artýar. Galogen sanaýjylarynda işçi naprýaženiýa 300–400W, galogen goşundysy bolmadyk sanaýjylarda 800W we ondan hem

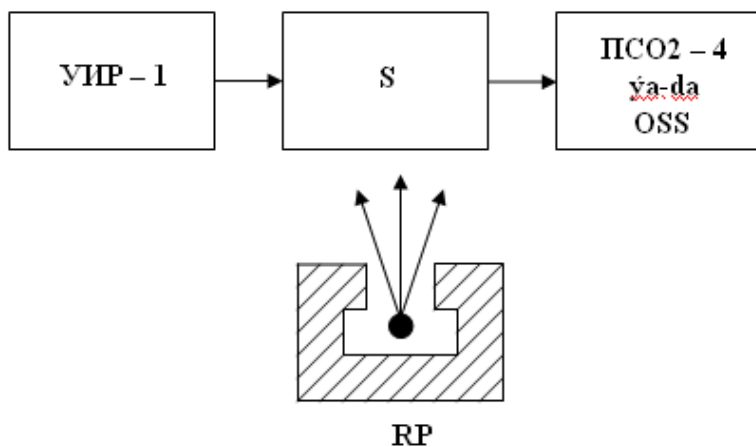
ýokary bolýar. “Üstün” ýapgyt bolmaklygy ýalan impulsalary döredýän ikilenç elektronlaryň barlygyndandyr we naprýaženiýanyň artmagy bilen sanaýjynyň göwrüminiň düýgurlygynyň üýtgemegidir.

Sanaýjynyň ýene-de bir häsiýetnamalarynyň biri, ol hem tejribehanada hemişe bar bolan fondyr. Sanaýjynyň fony - bu radioaktiw şöhlelenmesi ýok mahalynda sanawyň ortaça tizligidir. Adatça fonyň esasy bölegini kosmiki şöhlelenme düzýär.

Isde ulanylýan gurluş

Tejribäni geçirmek üçin 4-nji suratdaky shemany gurnamaly. Bu suratda:

YHP-1- elektrik toguny göneldiji, S - Geýger-Mýulleriň sanaýjysy, ПСО2 – 4 – gaýtadan sanaýjy abzal, OSS – ossillograf, RP- radioaktiw preparat. Tejribede ПСО2 – 4 – gaýtadan sanaýjy abzalyň deregine OSS – ossillografy ulansaň hem bolýar.



4-nji surat

Gurlusy ise taýýarlamak we isletmek.

Geýgeriň–Mýulleriň sanaýjysyna hemişelik elektrik togunyň dürli ululykdaky naprýaženiýalaryny bermek üçin УИП-1 elektrik toguny göneldiji ulanylýar. Onuň 0-400 V çykyşyndan alynýan naprýaženiýanyň ululygy Π_1 aýryp-utgaşdyryjynyň we R_1 potensiometriň kömegi bilen 0 - 400V aralygynda üýtgedilýär (5-nji surat). Ondan uly naprýaženiýalar 20 - 600V çykyşdan alynýar we Π_3 aýryp-utgaşdyryjynyň we R_2 potensiometriň kömegi bilen üýtgedilýär. Π_2 aýryp-utgaşdyryjynyň çepe agdarylan ýagdaýynda V woltmetr 0 – 400 W çykyşdaky naprýaženiýany, saga agdarylanda bolsa (“Anod” birleşdirilende) 20 – 600 W çykyşdaky naprýaženiýany görkezýär.

Geýgeriň–Mýulleriň sanaýjysyndan çykýan impulsalary sanamagy ПСО2-4 gaýtadan sanaýjy ýerine ýetirýär. Onuň kömegi bilen dürli : 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; 100; 300; 1000 s, wagt aralyklarynda Geýgeriň–Mýulleriň sanaýjysyndan geçýän bölejikleriň döredýän elektrik togunyň impulsalarynyň sanyny kesgitlemek bolýar.

**ÜNS BERIŇ: Gurluşy işe taýýarlamak mugallymyň
gözegçiliginde amala aşyrylýar.**

1. VIII -1 göneldijiniň 0 – 400V çykyşyndaky öýjiklerine sanaýjynyň çep tarapyndan çykýan simiň uçlaryny, alamatlaryny ýalňyşman birleşdirmeli.

2. Π_1 aýryp-utgaşdyryjynyň sapyny 200 - 400V tarapa aşak agdarmaly.

3. Π_2 aýryp-utgaşdyryjynyň sapyny çep tarapa agdarmaly. Şonda woltmetr 0 – 400V çykyşdaky naprýaženiýanyň bahasyny görkezer.

4. **ÜNS BERIŇ: Diňe mugallymyň rugsat bermegi bilen VIII -1 göneldijini tok çeşmesine (sete) birleşdirmeli** we “Сеть” diýen ýazgyly utgaşdyryjynyň sapyny ýokarlygyna agdarmaly.

5. R_1 potensiometriň sapyny towlap elektrik togunyň çeşmesiniň 0 - 400V çykyşyndaky naprýaženiýany woltmetr boýunça 400 wolta ýetirmeli.

6. ПСО2-4 gaýtadan sanaýjyny elektrik toguna birleşdirmeli we abzalyň “Сеть” ýazgyly gyzyly düwmejigini basmaly. Abzal elektrik toguna birleşende ýaşyl çyrajyk ýanar. Abzalyň ekeranynda sanlar ýagtylanyp görünär. Gyzyly düwmejigiň çep tarapyndaky dört düwmejk we T ýazylgy düwmejik basylmadyk, ýüzüne N ýazylgy düwmejik bolsa basylan ýagdaýda bolmaly. T ýazylgy düwmejigiň sag tarapyndaky 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; 100; 300; 1000s sanly düwmejikleriň haýsam bolsa biriniň, mysal üçin 30 ýazgylsynyň basylan ýagdaýynda abzalyň sanawy 30 sekuntlap (başga biriniň basylan ýagdaýynda şonuň ýokorsundakysyna deň sekuntlap) dowam eder.

7. Gaýtadan sanaýjynyň “Стон”, “Сброс” hem-de “Пыск” düwmejiklerine yzygiderlikde bassaň ol Geýgeriň-Mýulleriň sanaýjysyndan geçýän bölejikleri kesgitläp we sanap başlar. Bellenen wagt, meselem, 30 sekunt, geçenden soň abzal awtomatik ýagdaýda öňki sanawyň netijesini ekerandan aýryp

täzeden sanamaga başlar we ş.m. “Вывод” ýazgyly düwmejigiň basylan, “Однократно” ýagdaýynda, sanaw bellenen wagtda kesiler. Abzala soňra sanatjak bolsaň, “Стоп”, “Сброс”, “Пуск” düwmejiklerine yzly-yzyndan basmaly.

УИП -1 elektrik akymynyň çeşmesiniň 20 – 600V çykyşyndan elektrik toguny almak üçin gurluşy elektrik togundan (setden) aýyrmaly.

8. УИП -1 göneldijiniň 20 - 600V çykyşyndaky öýjiklerine sanaýjynyň çep tarapyndan çykýan simiň uçlaryny, alamatlaryny ýalňyşman birleşdirmeli.

9. Π_2 aýryp-utgaşdyryjynyň sapyny sag tarapyna agdarmaly. Şonda woltmetr 20 – 600V çykyşdaky naprýaženiýanyň bahasyny görkezer.

10. УИП -1 göneldijini we ПСО2-4 gaýtadan sanaýjyny elektrik toguna (sete) birleşdirmeli we “Сеть” diýen ýazgyly utgaşdyryjynyň sapyny ýokarlygyna agdarmaly. Abzal elektrik toguna birleşende ýaşyl çyrajyk ýanar.

11. R_2 potensiometriň sanyny towlap sanaýja berilýän naprýaženiýanyň bahasyny üýtgetmek bolar.

Isiň ýerini ýetirilişi

1-nji gönükme.

Sanaýjynyň işläp başlaýan naprýaženiýasyny kesgitlemek.

1. Radioaktiw preparaty gurşundan ýasalan guta ýerleşdirmeli.

2. Ilki bilen sanaýjynyň nähili naprýaženiýede sanap başlaýandygyny kesgitlemeli. Onuň üçin sanaýjyny УИП -1 göneldijiniň 0 – 400V çykyşyna birleşdirmeli we sanaýja 260 wolt naprýaženiýe bermeli

3. ПСО2-4 gaýtadan sanaýjynyň “Сброс” we “Пуск” düwmejiklerine biri-biriniň yzyndan basmaly we naprýaženiýany tä gaýtadan санаýжы sanap başлаýança

ýuwaşjadan artdyrmaly. Abzal sanap başlanda gaýtadan sanaýjynyň duýgurlygynyň çägene degişli naprýaženiýanyň U_0 bahasyny УИП-1- göneldijiniň woitmetri boýunça kesgitlemeli (U_0 naprýaženiýa “otlamak naprýaženiýasy” hem diýilýär).

2-nji gönükme.

Sanaýjynyň sanaw häsiýetnamasyny almak.

1. Geýger-Mýulleriň sanaýjysyna berilýan naprýaženiýany, 1-nji gönükmede kesgitlenen U_0 naprýaženiýadan 20W köp bermeli, ýagny her 20 woltdan, ПСО2-4 gaýtadan sanaýjydan alynan impulsalaryň 100-e köpeldilen n sanyny 400 wolta çenli kesgitlemeli. Ölçegleri naprýaženiýanyň her bir bahasynda $t = 1$ minudyň dowamynda geçirmeli.
2. Soňra УИП -1 göneldijiniň 20-600V çykyşyna geçmeli we 450 woltdan başlap tä, 600 wolta çenli her 50 woltdan ölçegleri geçirmeli.
3. ПСО2-4 gaýtadan sanaýjydan alynan impulsalaryň n sanlaryny we impulsalaryň hasaplanyp tapylyan bir minutdaky N sanlaryny 1-nji jedwele geçirmeli.
4. Alnan netijeler boýunça $N = f(u)$ baglanyşygyň grafigini gurmaly. Bu grafikden “üstün” uzynlygyny we “üstün” ortasyna degişli bolan U_i işçi naprýaženiýany kesgitlemeli.
5. Gutydan radioaktiw preparaty aýyrmaly we sanaýja kesgitlenen U_i işçi naprýaženiýany bermeli we N_{fon} kesgitlemeli.
6. Alnan ölçegleriň ýalňyşlygyny kesgitlemeli.

1-nji jedwel

U (V)	n	t (min)	t=1 minutdaky bölejikleriň sany, N
260			
280			
300			
320			
...			
400			
450			
500			
550			
600			

Radioaktiv maddalar bilen islenende howpsuzlyk düzgünleri:

1. Ýedi sagatlyk iş gününüň dowamynda adamyň alýan rentgen we γ şöhlelenmesiniň möçberi (dozasy) 0,017 rentgenden ($1 \text{ rentgen} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Kl/kg}$ – kadaly şertlerde 1 kg gury howada elektronlaryň döredýän ionlarynyň zarýady) köp bolmaly däl. Şöhlelenmäniň beýleki görnüşleriniň biologiki täsirini kesgitlemek üçin rentgeniň biologiki ekwiwalenti (r.b.e.) birligi düşünjesi girizilýär:

1 r.b.e. bedende 1 rentgen ýa-da γ şöhlelenmä deňdereje bolan täsir döredýär.

2. γ şöhlelenmäniň çeşmeleri has howplydyrlar. Şonuň üçin γ - şöhlelenmeli maddalar saklanýan gaplary iş wagtynda gürşun gutylaryň içinde ýerleşdirýärler. Adatça tejribehanalarda aktiwligi mikrokýuri töweregi bolan çeşmeler peýdalanylýar. Emma bu ýagdaýda oňa ýalaňaç elini degirmek bolmaýar.

3. Eger-de, eliňe radioaktiwli hapa degse eliňi sabyňly ýyly suw bilen ýuwmaly.

Barlag üçin soraglar:

1. Atomlary we molekulalary ionlaşdyrmaga ukyply bölejikleri sanaň.
2. Ionlaşma detektorynyň işleýşini düşündiriň.
3. Sanaýjynyň elektrodларыna ýygnanýan zarýadyň ululygynyň goýulan naprýaženiýa baglylygyny düşündiriň.
4. Gaz bilen doldurylan sanaýjylaryň görnüşlerini sanaň.
5. Geýger-Mülleriniň sanaýjýjysy haýsy bölejikleri kesgitleýär?
6. Elektron-ion toplumynyň üznüksiz akymynyň söndürilişi nähilli bolup geçýär?

11 - nji TEJRIBE IŞI

**KOSMOS ŞÖHLELERINIŇ BURÇ BOÝUNÇA
PAÝLANYŞYNY ÖWRENMEK**

Gerek abzallar we enjamlar:

1. Iki sany Geýger-Mýulleriniň sanaýjysyndan ybarat kosmiki şöhleleriň “teleskopy”.

2. Gabat gelme shemaly CCA gurluş.
3. Göneldiji VIII-1.
4. Ossilograf C1-68.
5. Birleşdiriji simler.

Işin maksady:

Kosmos şöhleleriniň intensiwliginiň Ýeriň üstüne düşme burçuna baglylygyny kesgitlemek.

Meýilnama:

1. Kosmiki şöhleleriň açylyşy we görnüşleri. Kosmiki şöhleleriň düzümi.
2. Kosmiki şöhleleriň energetik spektri.
3. Günden gelyän kosmiki şöhleler.
4. Kosmiki şöhleleriň çeşmeleri.
5. Ikilenji kosmiki şöhleler.

1. Kosmiki şöhleleriň açylyşy we görnüşleri. Kosmiki şöhleleriň düzümi.

Daşy gorag gatlagy bilen (gurşun bilen) öztülen elektroskopyň wagtyň geçmegi bilen öz zarýadyny ýitirýändigini gözegçilik etmek bolýar. Elektroskopyň zarýadsyzlanmagynyň sebäbi ýer gatlagynyň radioaktiwliginiň atmosferanyň ýere galtaşýan gatlagyny ionlaşdyrmagy netijesinde bolýar diýip çak etmek bolar. Bu çaklamany barlamak üçin 1910 – 1913-njy ýyllarda B.Gess howa şarlarynyň kömegi bilen elektroskopy 4800 metre galdyrdy. Bu beýiklikde elektroskopyň içindäki howanyň ionlaşmasy, deňiz derejesi bilen deňeşdirniňde 4 esse köp boldy. Alnan maglumatlar boýunça, B.Gess, ýer atomsferasynyň araçäğine, Älem giňişliginden örän uly geçijilik ukyby bolan şöhledenme düşýär diýen netijä gelýär.

Soňky geçirilen tejribeler bu şöhlenmäniň kosmosdan gelyändigini görkezdi. Kosmosdan gelip Ýere düşýän şöhlenmä **kosmiki şöhleler** diýilýär. Kosmiki şöhleleriň akymynyň intensiwligi deňiz derejesinden 20 km beýiklige çenli artýar we ondan ýokary beýikliklerde kemelýär.

Kosmiki şöhleler ilkinji we ikilenji şöhlelere bölünýärler. Kosmosdan Ýere düşýän şöhlelere **ilkinji kosmiki şöhleler** diýilýär. Ilkinji kosmiki şöhleler ýer atmosferasynyň galyň gatlagyny (1000 gram/sm^2 töweregi) geçende howanyň atom ýadrolary bilen özara täsir edişýär we netijede täze (ikilenji) bölejikler – dürli görnüşli mezonlar döreýär. Bu emele gelen şöhlenmä **ikilenji kosmiki şöhleler** diýilýär. Bu mezonlar bolsa elektronlara, pozitronlara we dürli energiýaly fotonlara dargaýarlar. Şoňa görä-de, düzümi boýunça ikilenji kosmiki şöhleler ilkinji kosmiki şöhlelere meňzeş dälendir.

Ilkinji kosmiki şöhleleriň 92% - i protonlardan, 6,6% - i α - bölejiklerden we 0,8% - i has agyr ýadrolardan (esasan C, N, O) ybaratdyr. Agyr ýadrolar ikilenji kosmiki şöhlelere degişli dälendirler, sebäbi agyr ýadrolaryň zaryadlary atmosfera gazynyň ýadrolarynyň zaryadyndan uludyr.

Protonlar we ýadrolar bilen bir hatarda kosmiki şöhleleriň düzüminde az mukdarda elektronlar we pozitronlar (1% töweregi) we γ - kwantlar (0,01% töweregi) hem bardyrlar. Kosmiki şöhlelerde “özän agyr” we “has agyr” ($Z \geq 20$) ýadrolaryň mukdary Älemdäki bu ýadrolaryň ortaça mukdaryndan has köpdür. Aýratynda kosmiki şöhleleriň düzüminde Li, Be, B ýaly ýeňil ýadrolar has-da köpdür. Bu eňil ýadrolar kosmiki şöhleleriň düzümindäki agyr ýadrolaryň ýyldyzara gazlaryň ýadrolary bilen çaknyşmalarynda döreýär.

2. Kosmiki şöhleleriň energetik spektri. Kosmiki şöhleleriň çeşmelerini kesgitlemek üçin olaryň energetik spektrini öwrenmeklik uly ähmiýete eýedir. Kosmiki şöhleleriň energiýalar boýunça paýlanyşy **energetik spektr** bilen häsiýetlendirilýär. Energetik spektr iki görnüşde bolup bilýär:

integral we differensial görnüşde. **Integral energetik spektr** ($I(\varepsilon)$) diýip, kinetik energiýasy ε - den uly bolan kosmiki bölejikleriň akymyna aýdylýar. Absolýut ululygynda alynan, integral energetik spektrden energiýa boýunça alynan $\frac{dI}{d\varepsilon}$

önüme **differensial energetik** spektr diýilýär.

Energiýaňyň $10-10^6$ GeW aralygynda Galaktikadan gelýän kosmiki bölejikleriň integral energetik spektri aşakdaky derejeli funksiýa bilen beýan edilýär:

$$I(\varepsilon) \sim \frac{1}{\varepsilon^\gamma} \sim \frac{1}{\varepsilon^{1,7}}$$

Energiýasy $\varepsilon \geq 10^6$ GeW bolan kosmiki bölejikler örän azdyr, şoňa görä-de, olary sanaýjylaryň ýa-da fotoemulsiýa usuly bilen belgilemek mümkin däl. Meselem, 1m^2 meýdana energiýasy $\varepsilon > 10^7$ GeW bolan bölejik bir ýylda, ortaça bir gerek düşýär. Energiýasy 10^{20} eW = 10^{11} GeW = 12 Joul bolan bölejikler hem bellige alyndy. Şeýle bölejigiň energiýasy 1kg massaly ýüki 1m beýlikligi galdyrmaga ýeter. Emma, şeýle energiýaly kosmiki bölejikler örän azdyr – bir ýylyň dowamynda 10km^2 meýdana, energiýasy 10^{20} GeW bolan bölejigiň ortaça bir sanysy düşýär.

$\varepsilon \leq 2\text{Gev}$ energiýada kosmiki şöhleleriň energiýasy wagta görä birsydyrgyn üýtgemeyär, sebäbi olar Gün ýelleri diýip atlandyrylýan, gün plazmasynyň tokgalary tarapyndan äkidilýän magnit meýdanynyň täsirine güýçli sezewar bolýarlar. Bu kosmiki şöhleler atmosferanyň ýokarky gatlaklaryndaky howanyň kadaly ionlaşma derejesini has-da artdyrýar. Bu bolsa atmosferanyň ýokarky howa gatlagyny Galaktikadan gelýän radiogalmagallar üçin geçirmeýji edýär. Şeýle hem bu kosmiki şöhleler polýar solakda gysga tolkunda işleýän radio aragatnaşygynyň kesilmegine hem getirip bilýär.

Görüşümüz ýaly kosmiki şöhlelerdäki bölejikler, hat-da, milliard kelwine çenli gyzdrylan adaty maddanyň bölejikleriniň eýe bolýan energiýalaryndan hem has uly bolan kinetik energiýa eýedirler. Kosmiki şöhlelerdäki has çalt hereket edýän bölejikleriň energiýasy ($10^{20} eW = 10^{11} GeW$), häzirki zaman tizlendirijilerinde tizlendirilýän bölejikleriň energiýasyndan hem has uludyr. Deňşdirmek üçin görkezeliň, ýagny 2005-nji ýylda işe girizilen LHC aşa tizlendirijide (ЦЕПН, Jenewa, Şweýsariýa) bölejikleriň energiýasyny diňe $1,4 \cdot 10^{13} eW$ energiýa çenli artdyrmaklyk başartdy.

Umuman, kosmiki şöhleleri energiýalary ortaça 10 GeW bolan protonlardan we alfa bölejiklerden, we beýleki bölejiklerden ybaratdyrlar.

3. Günden gelyän kosmiki şöhleler. Ilkinji kosmiki şöhleleriň köp bölegi Ýere töweregimizdäki galaktiki giňişlikden gelyär. Emma, energiýasy pes ($\varepsilon < 1 GeW$) bolan kosmiki şöhleleriň bir bölegi Ýere Günden gelyär.

Günden gelyän kosmiki şöhleleri Galaktikadan glyän kosmiki şöhlelerden tapawutlandyrmak aňsat:

1. Günden gelyän kosmiki şöhleler Ýere käwagtlar - ylaýtada Günde güýçli hromosferiki ýarylyşlar bolanda gelyärler. Günüň aktiwliginiň maksimum bolýan ýyllarynda energiýasy $\varepsilon \geq 10^7 eW$ bolan bölejikleriň bir ýylda ~ 10 gezek, aktiwligiň minimum ýyllarynda – bir ýylda bir gezek Ýere düşýänligi bellige alyndy.

2. Bu şöhleler Ýere gündiz köp düşýärler, gije bolsa düşmeýärler.

3. Bu şöhleler düzümi boýunça galaktiki şöhlelerden tapawutlanýarlar. Günden gelyän kosmiki şöhleleriň düzüminde Li, Be, B ýaly ýeňil, şeýle hem agyr elementleriň ýadrolary düybünden ýok. Bu şöhleleriň himiki düzümi Günüň atmosferasynyň düzümine meňzeş.

Günden gelyän kosmiki şöhleleriň integral spektriniň derejesi 2-den 7-ä çenli üýtgeýär (galaktiki kosmiki şöhleleriňki $\gamma=1,7$). Günden gelyän kosmiki şöhleleriň energiýasynyň ýokarky çägi kesgitlenen däl. Bu şöhleleriň aşaky çägi onlarça keW-a deňdir.

4. Kosmiki şöhleleriň çeşmeleri. Kosmiki şöhleleriň döreýşi baradaky soragyň gutarnykly jogabynyň ýokdugyna seretmezden bu soraga seredip geçeliň. Gün energiýasy ýüzlerçe megaelektronwolt bolan bölejikleri goýberýär. Gündäki ýarylyşlar wagtynda planetara giňişlige ionlaşan gazlaryň köp massasy zyňylýar we netijede, az sanly hem bolsa, energiýalary 10-20 Gew bolan bölejikler döreýärler. Gije we gündiziň islendik wagtynda kosmiki şöhleleriň intensiwligi hemişelikdir we bu şöhleleriň ýaýrama ugurlary izotropdyr. Kosmiki şöhleleriň esasy bölegini energiýasy 10 Gew bolan bölejikler düzýär. Eger şeýle bölejikler Günden gelyän bolsalar, onda olar Ýere Gün tarapdan gelerdiler, netijede olar, gije däl-de, diňe gündiz bellige alynardy.

Kosmiki şöhleleriň çeşmeleri ýyldyzlar diýip hem çaklamak bolar. Eger bu ýyldyzlar adaty, kadaly ýyldyzlar bolsalar, onda hasaplamalaryň görkezişine görä, şeýle çeşmeler Galaktikada kosmiki şöhleleriň zerur energiýasyny döredip bilmezler.

Şoňa görä-de, **kosmiki şöhleleriň esasy bölegi aşatäze ýyldyzlaryň ýarylyşlarynda döreýärler diýip çaklamaklyk dogrudyr.**

Bu energiýanyň köp bölegi kosmiki şöhleler bilen alynyp gidilýär. Aşatäze ýyldyzlaryň ýarylyşlary Galaktikada kosmiki şöhleleriň energiýasynyň ýeterlik dykzlygyny döretmäge ukyplydyr. Biziň Galaktikamyzda aşatäze ýyldyzlaryň ýarylyşlary, takmynan, ýüz ýylda bir gezek bolup geçýär

5. Ikilenji kosmiki şöhleler. Kosmiki şöhleleriň ýokary energiýaly protonlary we beýleki ýadrolary Ýeriň atmosferasyna düşüp howanyň atom ýadrolary (esasan azodyň

we kislorodyň) bilen çaknyşýarlar we olar bilen özaratäsir edişýärler. Netijede, ýadrolaryň dargamasy bolup geçýar we durnuksyz sada bölejikler emele gelýärler.

Mukdar taýdan maddada bölejigiň geçişini, onuň gurşawyň ýadrosy bilen özaratäsir edişýänça geçen λ orta ylgawy bilen häsiýetlendirmek amatlydyr.

λ **orta ylgawy**, meýdany 1sm^2 we beýikligi bölejigiň özaratäsire çenli geçen ýolunyň uzynlygyna deň bolan maddanyň sütünindäki maddanyň gramm hasabyndaky mukdary bilen aňladylýar. Umuman, bölejigiň maddada geçýän ýoluny şeýle massa birliklerinde aňlatmaklyk amatlydyr. Bölejigiň dessesi maddada x ýoly geçende intensiwligiň peselmegi, aşakdaky formula bilen aňladylýar:

$$I = I_0 e^{-\frac{x}{\lambda}}$$

Kosmos şöhleleriniň I intensiwligi diýip, birlik jisim burçundan gelip wagt birliginde olaryň hereket ugruna perpendikulýar goýlan meýdan birliginden geçýän bölejikleriň sanyna aýdylýar ($\frac{\text{bolejik}}{(\text{sm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr})}$). Şeýlelikde, bu birliklerde ýer

atmosferasynyň galyňlygy takmynan $1000 \frac{\text{gram}}{\text{sm}^2}$ deňdir.

Protonlar üçin atmosferada ýadro özaratäsirine çenli orta ylgaw ýoly $\lambda = 70 \text{gram} / \text{sm}^2$ deň, ýagny atmosferanyň galyňlygynyň $\sim \frac{1}{14}$ bölegine deň. Netijede, bu aralykda proton, ýeriň üstüne ýetýänçe birnäçe gezek howanyň ýadrolary bilen özaratäsir edişmäge ýetişýär. Şoňa görä-de, ilkinji kosmiki şöhleleriň deňiz derejesine ýetmek ähtimallygy örän azdyr.

α - bölejikler üçin $\lambda = 25 \frac{\text{gram}}{\text{sm}^2}$, has agyr ýadrolar üçin

λ has kiçi. Bu ýerden görnüşine görä bölejigiň ýeriň üstüne düşmek ähtimallygy örän kiçi.

Ilkinji kosmiki şöhleleriň howanyň atomlarynyň özaratäsirleri netijesinde sada bölejikleriň ählisi diýen ýaly döreýärler, olaryň içinde has esasyly, zarýadly, şeýle hem neýtral π - mezonlardyr. Nuklonlar we dargamaga ýetişmedik π^\pm - mezonlar ikilenji kosmiki şöhleleriň ýadro-aktiw düzüjisini emele getirýärler. Olar energiýalary $\varepsilon \sim 10^9 \text{ eW}$ ululyga çenli kiçelýänçe, edil ilkinji bölejiklere meňzeşlikde, howanyň atom ýadrolary bilen özaratäsir edişip, bölejikleriň täze toplumlaryny (kaskadlaryny) (proton-antiproton jübütleri we durnuksyz bölejikler, K-mezonlar, giperonlar we beýlekiler) emele getirýärler. Deňiz derejesinde bu ýadro-aktiw bölejikleriň 1% - den hem az bölegi galýar.

Haýal dargaýan (ortaça $2,6 \cdot 10^{-8} \text{ s}$ wagtda) zarýadly pionlar howanyň atom ýadrolary bilen özaratäsir edişip ýetişýärler we edil ilkinji bölejikler ýaly ýadro prosesslerini döredip bilýärler. Zarýadly pionlaryň beýleki bölegi, özaratäsir edişip

ýetişmän, mýuonlara (μ^\pm) we neýtrino dargaýarlar. Neýtrino, örän gowşak özaratäsir edişýän bölejik hökmünde, diňe atmosferanyň içinden geçip gitmän, bütin ýer şarynyň içinden hem geçip gidýär. Zarýadly mýuonlar (μ^\pm) aşakdaky shema boýunça dargaýarlar:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu$$

Mýuonlaryň ýaşayyş wagty $2,2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ deň. Bu wagtyň dowamynda mýuonlaryň diňe uly bolmadyk bölegi dargap

bilýär. Şoňa görä-de, olar atmosferadan aňsatlyk bilen geçýärler we deňiz derejesine ýetip, ýeriň çuň gatlaklaryna aralaşyp bilýärler. Deňiz derejesinde kosmiki şöhleleriň köp bölegini mýuonlar düzýärler.

Indi, neýtral π^0 pionyň hereketine seredeliň. Onuň orta ýaşayyş wagty örän gysga ($1,8 \cdot 10^{-6} s$). Şoňa görä-de, ol öz dörän yerinden örän kiçi aralyga çenli geçip bilýär we, düzgün boluş ýaly, howanyň atom ýadrolary bilen özaratäsir edişmäge yetişmän, uly energiýaly iki sany fotona dargaýar:

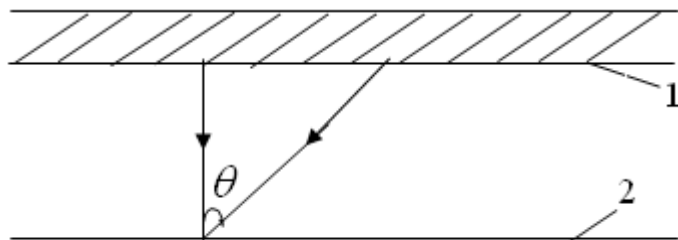
$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$

Atmosferanyň aşaky gatlaklaryna gelýän kosmiki şöhleleri **ýumşak we gaty düzüjilere** bölmek kabul edilendir.

Ýumşak düzüji maddada tarapyndan güýçli ýuwudylýan elektronlardan, pozitronlardan we γ - kwantlardan ybaratdyr. Ýumşak düzüjiniň bölejikleriniň ýuwudylmagy maddanyň atom ýadrolarynyň Z tertip belgisine düýpli baglydyr. Ýumşak düzüjiniň bölejikleri 10 sm galyňlykdaky gurşun bilen doly ýuwudylýar.

Gaty düzüji μ mýuonlardan ybaratdyr, olar dürli hilli Z ýadro belgili maddalar tarapyndan gowşak ýuwudylýarlar.

Bu iki düzüjiniň bölejikleriniň geçijilik ukybynyň uly tapawudy şundan ybaratdyr: ýumşak düzüjiniň elektronlary we pozitronlary madda bilen özaratäsir edişende öz energiýalarynyň köp bölegine şöhlenenmä sarp edýärler, μ -mýuonlar bolsa şöhlenenmä az energiýa sarp edýärler.



1-nji surat

1-nji suratda: 1-mýuonlaryň döreyän howa gatlagy. 2-deňiz derejesi.

μ -mýuonlar atmosferanyň ähli gatlagyny geçýärler ($\sim 1000 \text{ gram/sm}^2$). Şunlukda olaryň bir bölegi atmosfera howasy tarapyndan ýuwudylýarlar, bir bölegi bolsa dargaýarlar. Wertikal (dik) ugra görä θ burç bilen gelyän we deňiz derejesine düşýän mýuonlar, wertikal ugur boýunça gelyän mýuonlara görä atmosferada $\frac{1}{\cos \theta}$ esse köp ýol deçýärler (1-nji surat).

Şoňa görä-de, θ burç boýunça gelyän mýuonlaryň dargamak ähtimallygy uludyr. θ burçy artdygyça μ -mýuonyň geçýän howa gatlagy hem artýar. Bu bolsa ionlaşma ýitgileriniň hasabyna ýuwudylmagy artdyrýar. Şeýlelikde, bu iki faktorlar θ zenit burçynyň artmagy bilen μ -mýuonlaryň intensiwliginiň kemelmegine getirýär.

Deňiz derejesinde kosmiki şöhleleriň burç böýünça paýlanyşyny derňemelik, olaryň intensiwliginiň şöhleleriň düşýän ugruna baglydygyny görkezýär, ýagny wertikal (dik) ugur boýunça düşýän şöhleleriň intensiwligi, gorizental ugur boýunça düşýän şöhleleriňkiden uludyr. Bu şeýle hem bolmaly, ýagny Ýere dik düşýän bölejikler atmosferanyň kiçi galyňlykly gatlagyny geçýärler.

Kosmiki şöhleleriň intensiwliginiň burç boýunça paýlanyşyny beýan edýän formulany nazary usul bilen tapmak başartmady. Şoňa görä-de, hasaplamalar üçin empirik (tejribe) formula ulanylýar:

$$I(\theta) = I(0^0) \cos^2 \theta \quad (1)$$

bu ýerde, $I(\theta)$ - wertikal ugra θ burç boýunça düşýän kosmiki şöhläniň intensiwligi; $I(0^0)$ - ýere wertikal (dik) ($\theta = 0^0$) düşýän kosmiki şöhläniň intensiwligi.

Işde ulanylýan gurluş.

Berlen ugur boýunça kosmiki şöhleleriň intensiwligini ölçemek üçin kosmiki şöhleleriň “teleskopy” diýilýän gurluş ulanylýar. Ol gabat gelme shemasyna birikdirilen we bir tekizlikde ýatýan iki sany Geýger-Mýulleriň sanaýjysyndan ybaratdyr (2-nji surat). Gabat gelme shemasy diýip, “teleskopyň” iki sanaýjysynda hem yzygiderlikde zarýadsyzlanmalary döredýän bölejikleri bellige almaga mümkinçilik berýän elektron gurluşa aýdylýar (gabat gelme shemasynyň işleýiş prinsipi 12-nji tejribe işinde getirilendir). Sanaýjylaryň sanyna baglylykda gabat gelme shemalary ikileýin, üçleýin we s.m. bolup bilýärler. Biziň tejribe işimizde ikileýin gabat gelme shemasy ulanylýar.

Eger, “teleskopyň” sanayjylary ýerleşen tekizlik wertikal ugra gözä θ burç bilen goýulan bolsa, onda gabat gelme shemasy diňe wertikal ugra θ burç bilen hereket edýän kosmiki bölejikleri bellige alar.

Tejribe geçirilýän desganyň shemasy 3-nji suratda görkezilen: S-Geýger-Mýulleriň sanaýjylaryndan ybarat bolan kosmiki şöhleleriň “teleskopy”; УИП-1- sanaýjylary iýmitlendirýän göneldiji; CCA-gabat gelme shemaly gurluş; OSS- ossillograf.

Isiň ýerine ýetirilisi

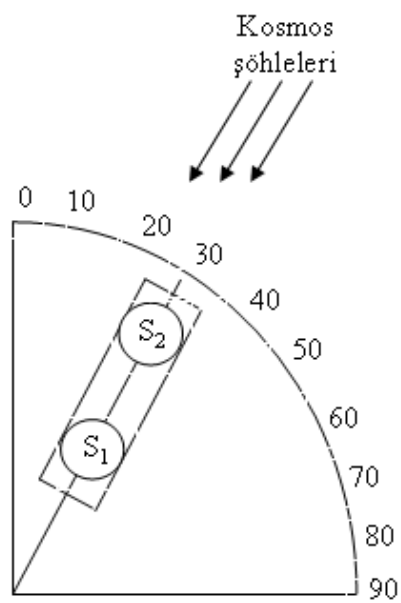
ÜNS BERİN: Işın elektrik shemasy düzülgi, ony üýtgetmeli däl. Işde 400W ýokary naprýaženiýe ulanylýanlygy üçin elektrik howpsuzlyk düzgünini gyşarnyksyz berjaý etmeli.

Işe başlamazdan öňürti mugallym gurluşy barlap ölçeglere başlamaga rugsat berýär.

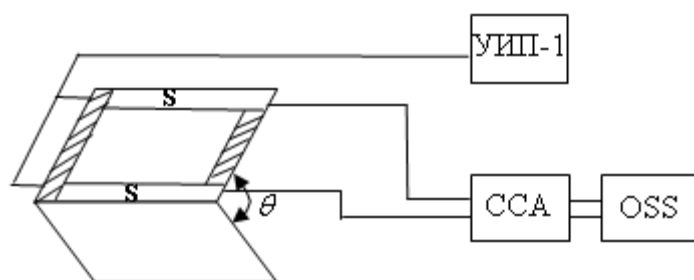
Işın esasy maksady (1) formulany barlamaklykdyr. (1) formuladan görnüşi ýaly bu funksiýanyň grafigi göni çyzyk bolar. Bu bolsa barlagy ep-esli aňsatlaşdyrýar.

Tejribäni ilki bilen wertikal ugur $\theta = 0^0$ burç boýunça düşýän kosmiki şöhleleriň I intensiwligini ölçemekden başlamaly. Intensiwli $I = \frac{N}{t}$ formula boýunça hasaplamaly,

bu ýerde N – ölçeg geçirilýän pursatdaky uly impulsalaryň sany, ýagny gabat gelme shemasyna birikdirilen ossillograyň ekranynda görüňýän uly gerimli (amplitudaly) impulsalaryň sany.



2-nji surat



3-nji surat

Kiçi gerimli impulsalary sanamaly däl, sebäbi kiçi gerimli impulsar bölejigiň bir sanaýjydan geçendigini aňladýar. Eger bölejik sanaýjylaryň ikisinden hem şol bir wagtda geçse ossillografyň ekranynda uly gerimli impuls görüner. Tejribede diňe uly gerimli N impulsary hasaba almak zerurdyr.

θ burçunyň her bir bahasy üçin $t = 10$ minudyň dowamynda impulsalaryň N sanyny kesgitlemeli.

Tejribede hökman $\theta = 90^\circ$ burçdaky intensiwligi ölçemek gerek. Sebäbi, bu burçdaky baha ölçeg abzalynyň fonuny kesgitleýär, ýagny $I(90^\circ) = I_{fon}$. Bu fony ähli netijeleriň

bahalaryndan aýyrmaly.

Sonra ölçegi 30° , 45° , 60° burçlarda geçirmeli. Köp sanly burçlarda ölçemeklik maksada laýyk dälidir. Ölçeg burçlarynyň sanyny köpeltmeklik netijeleriň ygtybarlygyna köp bir täsir etmeýär. Her bir burçda ölçegleri iki gezek geçirmeli we netijeleriň orta bahasyny almaly. Netijeleri 1-nji jedwele ýazmaly. Soňra alnan netijeler boýunça ordinata okunda

$$\frac{I(\theta)}{I(0^\circ)}, \text{ absissa okunda bolsa } \cos^2 \theta - \text{y goýup } \frac{I(\theta)}{I(0^\circ)} = \cos^2 \theta$$

funksiýanyň grafigini gurmaly.

Ölçegleriň netijelerine täsir edip biläýjek zatlar: a) ölçeg abzalynyň wagta görä häsiýetnamasynyň üýtgemegi. Bu täsiri azaltmak üçin işiň başynda we soňunda geçirilen ölçegleriň netijelerinden ortaça baha almaly; b) kosmos şöhleleriniň intensiwliginiň wagta görä üýtgemegi. Bu täsiri azaltmak üçin dürli wagtlarda (sagatlarda, günlerde, hepdelerde we ş.m.) alnan netijelerden orta baha almaly.

1-nji jedwel

θ	$N_1(\theta)$	$N_2(\theta)$	$N_{orta}(\theta)$	$I(\theta)_{oru} = \frac{N(\theta)_{oru}}{t}$	$I(\theta) = I(\theta)_{oru} - I_{jon}$	$\frac{I(\theta)}{I(0^0)}$	$\cos \theta$	$\cos^2 \theta$
0^0								
30^0								
45^0								
60^0								
90^0								

Barlag üçin soraglar:

1. Bölejigiň geçirijilik ukuby nämä bagly?
2. Ikilenç kosmos şöhleleri ilkinjilerinden nähili tapawutlanýar?
3. Geýgeriň-Mýulleriň sanajysynda elektrik togunyň impulsynyň dowamlylygy takmynan näçeräk?
4. Sanaýjyda erkin elektronlar nähili ýüze çykýarlar?
5. Biziň giňişligimizde (Aşgabat ş.) we ekwatorda atmosferanyň araçäginde kosmiki şöhleleriň burç boýunça paýlanyşy nähilli (soraga hil taýdan jogap bermeli)?

12 –nji TEJRIBE IŞI

FOTONYŇ ELEKTRON - POZITRON DARGAMASYNY ÖWRENMEK

Gerek abzallar we enjamlar:

1. Gabat gelme shemaly CCA gurluş.
2. Göneldiji YIII-1.
3. Ossillograf C1-68.
4. Gurşun plastinasy.
5. Sagat.

Işiň maksady:

Kosmiki şöhleleriň düzümindäki uly energiýaly fotonlaryň elektron-pozitron jübütine dargamasyna gözegçilik etmek.

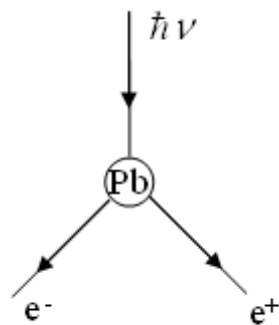
Meýilnama:

1. Fotonyň elektron-pozitron (e^-e^+) jübütine öwrülmesi.
2. Tormozly şöhlelenme.
3. Harasaň (lawina) prosessiniň döreýşi.
4. Gabat gelme shemasynyň işleýiş prinsipi.

1. Fotonyň elektron-pozitron (e^-e^+) jübütine öwrülmesi. Diragyň nazaryýetine görä, elektronyň we pozitronyň annigilýasiýasy netijesinde fotonlaryň emele gelmegi bilen bir hatarda ters proses, ýagny fotonlaryň elektron-pozitron jübütlerini emele getirmek prosessi hem bolmalydyr.

Fotonlaryň elektron-pozitron jübütlerini emele getiriş prosessini ilkinji gezek 1933-nji ýylda, magnit meýdanynda ýerleşdirilen Wilsoneyň gutysynyň (kamerasyň) kömegi bilen I. we F.Jolio-Kýuri gözegçilik etdiler.

γ - kwantlaryň energiýalary $h\nu \geq 2m_0c^2 = 1,02\text{MeV}$ bolanda, γ - kwantlaryň elektron – pozitron jübütlerini emele getirmek bilen ýuwudylmasy bolup geçýär, ýagny e^-e^+ jübütiniň döremekligi üçin fotonyň energiýasy elektronyň dynçlyk energiýasynyň ikeldilen bahasyna deň ýa-da uly bolmalydyr. γ - kwantlar tarapyndan e^-e^+ jübütiniň döremekligi, esasan, atom ýadrolarynyň kulon meýdanynda bolup geçýär. Mysal üçin, γ - kwantyň e^-e^+ jübüti döretmegi gurşunyň ýadrosynyň kulon meýdanynda geçip biler (1-nji surat). γ - kwantlaryň energiýasy bu iki bölejikleri döretmek we olara kinetik energiýany bermek üçin harçlanýar. Boş, howasyz giňişlikde (wakuumda) elektron-pozitron jübütleriniň emele gelmeýänligini energiýanyň we impulsyň saklanma kanuny boýunça subut etmek bolar. Bu prosess diňe γ - kwantyň madda bilen özaratäsirinde üýze çykyp bilýär.



1-nji surat

γ - kwanty tarapyndan jübütleriň emele gelmek prosessi netijesinde energiýa we impuls üç sany bölejikleriň: elektronyň, pozitronyň we haýsy-da bolsa, üçnji bölejigiň - jübütiň emele gelen meýdanynyň ýadrosynyň ýa-da elektronyň arasynda paýlanmalydyrlar. Emma, elektronyň meýdanynda jübütleriň emele gelmek ähtimallygy örän azdyr. Ýadronyň meýdanynda

jübütleri emele getirmek üçin $2m_0c^2$ energiýany sarp etmek zerurdyr.

Energiýanyň we impulsyň saklanma kanuna görä bir fotonyň özi bölejik-antibölejik jübütine öwrülip bilmeyär.

Ýeterlik uly energiýalarda ($\geq 100MeV$ bolanda eňil maddada we $\geq 10MeV$ bolanda agyr maddada) jübütleriň emele gelmegi fotonlaryň madda bilen özaratäsiriniň esasy prosessi bolýar. Kiçi energiýalarda elektronlar tarapyndan fotonlaryň kompton pytramasy, has kiçi energiýalarda - fotoeffekt hadysasy agdyklyk edýär.

Fotonyň Z atom belgili maddada e^-e^+ jübütini emele getirmek ähtimallygy Z^2 - a proporsionaldyr. Eger galyňlygy uzynlygyň X_0 radiasiýa birliklerinde aňlatsak, dürli maddalar üçin bu ähtimallyk bir meňzeşdir. Uly energiýaly fotonlar üçin maddada ýuwudylyman geçilýän ýoluň uzynlygy $l = X_0 \approx \frac{1}{e}$ ululyga deňdir ($e = 2,72$ - natural logarifmiň esasy). X_0 - yň ululygy 1-nji jedwelde getirilendir.

1-nji jedwel

Madda	Uzynlygyň radiasion birligi X_0 , sm	
	$\frac{gram}{sm^2}$	sm
Howa	36,66	30420 (20°C, 1 atm)
Al	24,01	8,9
Fe	12,84	1,76
Pb	6,37	0,56

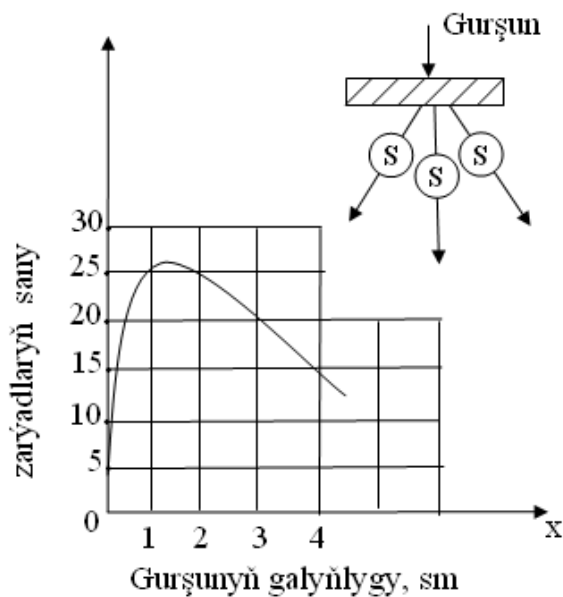
Foton özüniň ähli energiýasyny döreyän jübütlere berýär we ýaşamagyny bes edýär. Kulon meýdanyny döredýän ýadro bolsa massasynyň ululygyna görä fotonyň energiýasynyň örän az bölegini alýar.

2. Tormozly şöhlelenme. Indi, fotonyň döreden e^-e^+ jübütiniň maddada özüni alyp baryşyna seredeliň. Bu jübütler hereket edýän ugrunyň бүтін uzynlygynda maddanyň elektronlary bilen özaratäsir edişip olary ionlaşdyrýarlar we olara öz energiýalarynyň bir bölegini harçlaýarlar. Eger-de, e^-e^+ jübütleriň energiýasy ionizasiýa sarp edilýän energiýadan has uly bolsa, onda energiýanyň galan bölegi foton görnüşinde şöhlelenýär. Bu prosess atom ýadrolarynyň elektrik meýdanlarynda bölejikleriň pytramasynda ýa-da tormozlanmasynda bolup geçýär. Şoňa görä-de, bu şöhlelenmä **tormozly şöhlelenme** diýilýär. Bu prosessiň kwant nazaryýeti 1934-nji ýylda H.Bete we W. Gaýtler tarapyndan döredildi. Bu şöhlelenmäniň intensiwligi bölejigiň tizlenmesiniň kwadratyna proporsionaldyr. Tizlenme bolsa m massa ters proporsionaldyr, şeýlelikde, intensiwlik m^2 - a proporsionaldyr. Şoňa görä-de, tormozly şöhlelenme iň eňil zaryadlanan bölejikler - elektronlar we pozitronlar üçin hasiýetli prosessdir. Z atom belgili maddada tormozly şöhlelenmäniň intensiwligi Z^2 proporsionaldyr.

Elektronlaryň ýa-da pozitronlaryň şöhlelenmesi netijesinde döreyän fotonlar, özlerini döreden elektronlaryň ýa-da pozitronlaryň energiýalarynyň köp bölegini alyp bilýärler. Tormozly şöhlelenme aktynda şeýle fotonlaryň döreme ähtimallygy uludyr. Ortaça tormozly şöhlelenme sebäpli şeýle bölejikleriň energiýasy $l = X_0$ uzynlykda

e^- -esse azalýar. Energiýa kritiki energiýa diýip atlandyrylýan E_0 ululyga çenli kiçelende, radiasion ýitgiler ionlaşma ýitgileri bilen deňleşýär.

3. Harasaň (lawina) prosessiniň döreýşi. Elektronlaryň we pozitronlaryň fotonlary goýbermekligi we fotonlaryň e^-e^+ jübütini emele getirmekligi harasaň (lawina) prosessiniň döremekligine getirýär. **Harasaň prosessi**, bu yzygiderli gaýtalanýan tormozly şöhlenenme aktlarynda we jübütleriň döreme prosesslerinde, energiýalarynyň peselmesiniň hasabyna bölejikleriň sanynyň artmagydyr. Şeýlelikde, elektromagnit prosessleriniň esasynda döreýän we elektronlardan, pozitronlardan we



2-nji surat

fotonlardan ybarat bolan kaskadly (basgançakly) çagbalar döreýär. Bu bölejikler kosmiki şöhleleriň ýumşak düzüjisini düzýärler. Takmynan, elektronyň ýa-da pozitronyň fotony we

fotonyň e^-e^+ jübütlerini emele getirmekligi $l \approx X_0$ ululykdaky ýolda bolup geçýär.

Eger zaryadlanan bölejikleriň energiýasy harasaňda E_0 kritiki ululykdan kiçi bolanda, bölejikler indi energiýasyny tä togtaýançalar diňe gurşawy ionlaşdyrmaga sarp edýärler. Şunlukda pozitronlar maddanyň elektronlary bilen annigillenýärler.

1933-nji ýylda B.Rossi 2-nji suratda görkezilen gurluşyň kömegi bilen gurşunda harasaňyň emele gelişini ýüze çykardy. Bu suratda gurşun plastinasy we gabat gelme shemasynda ulanylýan S sanaýjylar görkezilen. B.Rossi sanaýjylardaky döreýän zapýadlaryň gabat gelme sanynyň, bu sanaýjylaryň üstünde ýerleşdirilen gurşunyň galyňlygyna baglylygyny öwrendi. 1-nji suratda onuň alan netijeleriniň egrisi (“Rossiniň egrisi”) getirilen. Suratdan görüşimiz ýaly, bellige alnan harasaňlaryň sany gurşunyň 1,5 - 2sm galyňlygyna çenli artýar, soň bolsa peselýär.

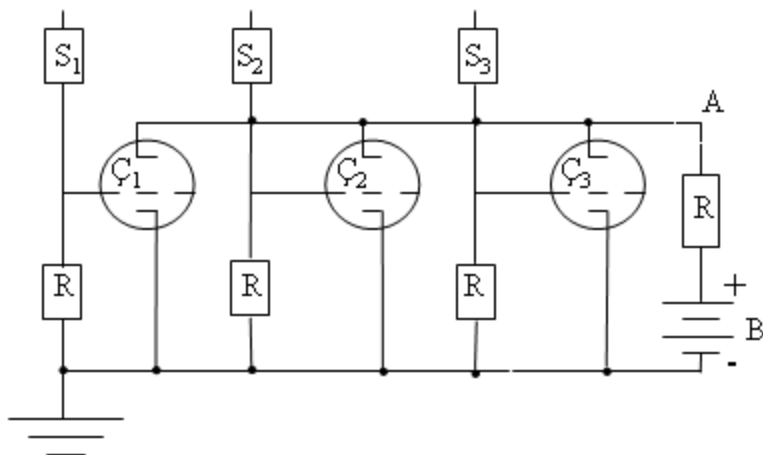
Ýokarda aýdylanlardan ugur alyp “Rossiniň egrisini” aňsat düşündirip bolar. Gurşunda kritiki energiýa $E_0^{Pb} \approx 7MeW$, howada $E_0^{howa} \approx 75MeW$ deň. Şoňa görä-de, howada köpelip bilmedik $E_0^{howa} > E_0^{Pb}$ energiýaly bölejikler, gurşunda kaskadly harasaňy döredýärler.

e^-e^+ jübütleriň we tormozly şöhlelenmäniň emele gelmegi – kwant prosessleridir.

γ - kwantyň özaratäsir edişýän meýdany näçe güýçli boldugyça, bu jübütleriň emele gelmek ähtimallygy uludyr. Bu prosessiň effektiw kesigi maddanyň ýadrosynyň Z zaryadynyň artmagy bilen artýar, ýagny

$$\sigma_{jübüt} \sim Z^2 \ln \frac{h\nu}{m_0 c^2}$$

4. Gabat gelme shemasynyň işleýiş prinsipi. Rossi tarapyndan hödürlenen elektron çyralarynda gurnalan **gabat gelme shemasy** diýip atlandyrylýan gurluşyň işleýişine seredeliň. Gabat gelme shemasy kosmiki şöhleleri aýan etmekde giňden ulanylýar. Gabat gelme shemasy $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \dots$ elektron çyralary bilen birleşdirilen,



3-nji surat

bir göniniň üstünde ýerleşen S_1, S_2, S_3, \dots iki ýa-da köp sanly Geýger-Mýulleriň sanaýjylaryndan ybaratdyr (3-nji surat). Heniz sanaýjylarda zarýadsyzlanma geçmeýän mahalynda, çyralary iýmitlendirýän B tok çeşmesiniň položitel polýusyndan gelyän tok, R garşylygyň we elektron çyralaryň üstünden geçip ýere akýar.

Eger R garşylyk örän uly bolsa, onda bu garşylykda naprýaženiýanyň uly peselmesi bolup geçýär, şeýlelikde A nokadyň potensialy ýeriň potensialyna golaý bolýar. Eger bir sanaýja ionlaşdyryjy bölejik düşse, ol sanaýjyda elektrik zarýadyny döredýär we bu sanaýjy bilen birleşdirilen çyranýň toruna naprýaženiýanyň otrisatel impulsy düşýär. Netijede, bu çyra ýapyk bolýar, ýagny üstünden tok geçirmeýär. Emma,

zarýadsyzlanma geçmedik beýleki sanaýjylar bilen birleşdirilen çyralar bolsa açyk bolýarlar, ýagny üstlerinden tok geçirmegi dowam etdirýärler. R garşylygyň ýeterlik uly bahalarynda ýere geçýän tok örän az üýtgär.

Eger bölejik ähli sanaýjylaryň üstünden geçmän, birnäçesiniň üstünden geçende hem şeýle ýagdaý bolýar.

Eger bölejik bir wagtyň özünde ähli sanaýjylaryň üstünden geçse ýagdaý üýtgeýär. Onda ähli çyralar ýapyk bolarlar, we toguň ýere akmany kesiler. Netijede, A nokatdaky potensial tok çeşmesiniň položitel polýusynyň potensialyna çenli artar. A nokatda potensialyň şeýle böküşli üýtgemesini woltmetr, ossillograf, ses dinamigi ýa-da beýleki abzallar bilen ölçemek ýa-da derňemek bolar. (Meselem, biziň bu tejribe işimizde gabat gelme shemasyna birikdirilen ossillografyň ekranynda impulsaryň uly gerimli (amplitudaly) böküşlerine syn etmek bolýar). Gabat gelme shemasynyň kömegi bilen şeýle uly gerimli impulsaryň alynmagy ionlaşdyryjy bölejigiň ähli sanaýjylaryň üstünden geçendigine şaýatlyk edýär. Shema işländen soň Geýger-Mýulleriň sanaýjysyndaky zarýadlar sönýärler, elektron çyralarynyň torlaryndaky položitel zarýadlar ýere akýarlar, we shema ýene-de, bölejikleri bellige almaga taýýar bolýar. Rossiniň shemasynda çyralary tranzistorlar bilen çalşyrmak hem bolar.

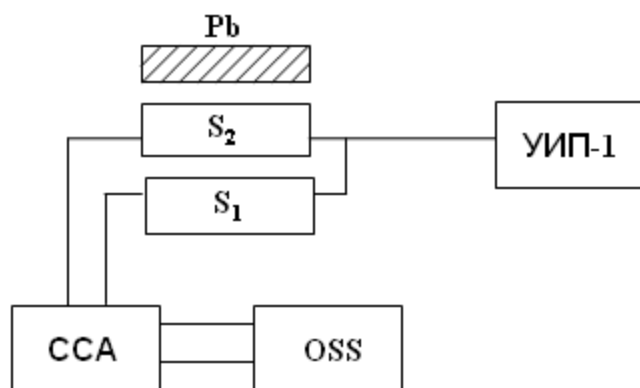
Rossiniň shemasy we şoňa meňzeş beýleki shemalar, diňe ähli sanaýjylaryň üstünden geçýän bir bölejigiň döredýän wakalaryny bellige alman, ol bir-biriniň yzyndan örän gysga wagtyň dowamynda geçýän bölejikleriň döredýän wakalaryny hem bellige alyp biler. Ýagny, bir-biriniň yzyndan geçýän, meselem, iki bölejigi bir bölejik diýip hasap edip biler. Şeýle ýagdaýyň bolmazlygy üçin bu wagat aralygy, ýagny wakalaryň aralygy, shemanyň çözüji wagtyndan uly bolmalydyr. Shemanyň çözüji wagty esasan Geýger-Mýulleriň sanaýjylarynda zarýadsyzlanmanyň döreme wagty bilen kesgitlenýär. Rossiniň shemasynyň çözüji wagty mikrosekunt

töweregi. Rossiniň shemasyna meňzeş, kiçi çözüji wagtlary bolan, beýleki gabat gelme shemalary hem döredildi.

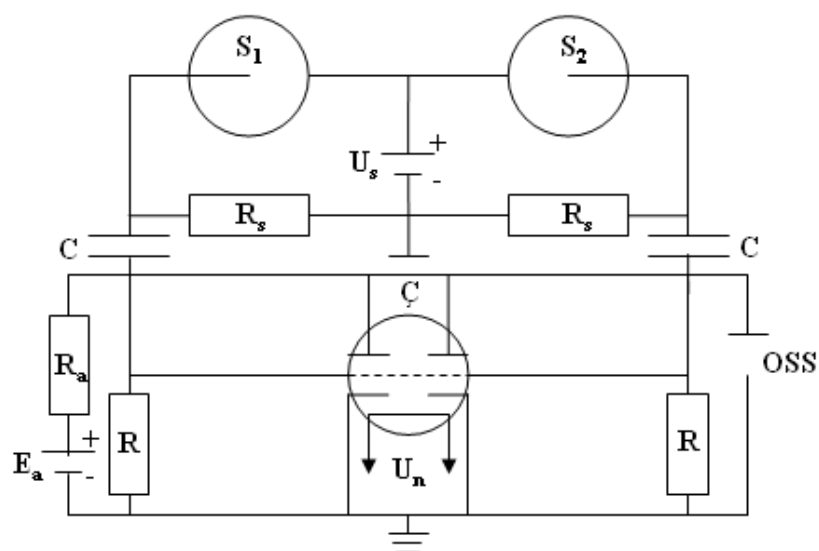
Isde ulanylýan gurluş

Tejribe geçirilýän desganyň shemasy 4-5-nji suratlarda görkerilen: *Pb* - galyňlygy 1,5mm bolan gurşun plastinasy; *S* - bir-birine parallel birikdirilen Geýger-Mýulleriň sanaýjysy; УИП-1- sanaýjylary iýmitlendirýän göneldiji; CCA-gabat gelme shemaly gurluş; OSS- ossillograf.

Gurluşyň shemasy 4-nji suratda görkezilen. Şu işde 2 sanaýjy ulanylýar. Suratda görkezilenler: *Pb*-gurşun silindriň kesigi, S_1 we S_2 – CTC-5 sanaýjylary (gurşun plastinasy gorizonta goýlan sanaýjylara parallel we olaryň yokarsynda ýerleşdirilýär), $U_s = 400$ W – sanaýjylary iýmitlendirýän tok çeşmesi, $R_s = 5 - 6$ Mom, $C = 5000 - 6000$ pF, *L* - goşa triod 6НЗП, $R \approx 2$ kΩ, $R_a = 60 - 70$ kΩ, $E_a = 40 - 50$ W - anod naprýaženiýesi, Oss – осциллограф С1-68. Gurluş UIP-1 göneldijiden iýmitlendirilýär: $E_a = 40 - 50$ W naprýaženiýe göneldijiniň 400 Woltluk çykyşyndan, $U_s = 400$ W naprýaženiýe bolsa 600 woltluk çykyşyndan alynýar.



4-нји surat



5-нји surat

Işın ýerine ýetirilishi

ÜNS BERIŇ! Işın elektrik shemasy düzülgi, ony üýtgetmeli däl. Işde 400W ýokary naprýaženiýe ulanylýanlygy üçin elektrik howpsuzlyk düzgünini gyşarnyksyz berjaý etmeli.

1. Gözegçilige başlanýança mugallymyň gatnaşmagynda sanaýjylaryň üstünden gurşun plastinany aýyrmaly.
2. UIP-1 göneldijini we C1-68 ossillografy 220 woltluk üýtgeýän elektrik toguna utgaşdyrmaly.
3. Sanaýjylara berilýän 400W, triodyň anodyna berilýän 50 wolt naprýaženiýalary üýtgetmän saklap ossillografyň ekranyna dyngysyz seredip 20 minudyň dowamynda ekranda görünen naprýaženiýanyň uly impulslaryny (kiçilerinden on esseräk uly) sanamaly.
4. UIP-1 göneldijiden sanaýjylara berilýän 400W, triodyň anodyna berilýän 50 wolt naprýaženiýalary 0 – a çenli peseltmeli we UIP-1 göneldijiniň “Сеть” tutawajyny aşak geçirmeli.
5. Gurşun plastinany sanaýjylaryň üstüne goýulan aýnanyň üstüne goýmaly.

ÜNS BERIŇ! Sanaýjylara 400 W naprýaženiýanyň berilýänligi sebäpli gurşun plastinany sanaýjylaryň üstüne gös-göni goýmak gadagan!

6. Ýokarda aýdylyşy ýaly, ýene-de gurluşy işe taýýarlamaly. 3 minut geçenden soň ýene-de 20 minudyň dowamynda uly impulslary sanamaly.
7. Zerurlyk ýüze çyksa tejribäni gaýtalamaly.
8. Gurluşy tok çeşmesinden aýyrmaly.
9. Alnan netijeleriň aýratynlyklaryny düşündirmeli.

Barlag üçin soraglar

- 1) Elektron – pozitron jübütiniň emele gelmegi üçin gamma fotonyň energiýasy näçä deň bolmaly?
- 2) Tormozly şöhlemenme nähilli döreyär?
- 3) Harasaň (lawina) prosessi nähilli döreyär?
- 4) Özara täsiriň effektiv kesiginiň fiziki manysyny düşündiriň.

13 – nji TEJRIBE IŞI

RADIOAKTIW MADDANYŇ AKTIWLIGINI KESGITLEMEK

Gerek abzallar we enjamlar:

1. Aktiwligi belli madda.
2. Aktiwligi näbelli madda.
3. Geýger-Mýulleriň gaz zarýadsyzlanmasyna esaslanyp işleýän sanaýjysy.
4. Hasaplaýjy abzaly ПСО2-4.
5. Elektrik toguny göneldiji УИП-1.

Işiň maksady:

**Radioaktiv fony kesgitlemegi öwrenmek we
radioaktiv maddanyň
aktiwligini ölçemek.**

Meýilnama:

- 1. Durnukly we durnuksyz (radioaktiv) ýadrolar.
Tebigy we emeli
radioaktiwlik.**
- 2. Alfa dargama.**
- 3. Beta dargama.**
- 4. Radioaktiv dargama kanuny.**
- 5. Radioaktiv maddanyň aktiwligi.**
- 6. Aktiwligi kesgitlemegiň usullary.**

**1. Durnukly we durnuksyz (radioaktiv) ýadrolar.
Tebigy we emeli radioaktiwlik.** Häzirki zaman fizikasy atomyň gurluşy baradaky soraga gutarnykly jogap berip bilýär. Atomyň planetar (ýadro) modeli 1911-nji ýylda Rezerfordyň dürli atomlaryň (hususanda azodyň atomlarynyň) ýadrolaryndan α bölejikleriň (geliý ${}_2\text{He}^4$ yadrolarynyň akymy) dargamasyny öwrenen tejribelerinde subut edildi. Atom fizikasyna görä atom položitel zarýadlanan ýadrodan we ýadronyň daşynda elektromagnit güýçleriň täsiri netijesinde orbital (aýlanma) hereket edýän elektronlardan ybaratdyr.

1932-nji ýylda Çedwik tarapyndan neýtronyň açylmagy ýadronyň düzümi baradaky meseläni çözmeklige mümkinçilik berdi. Häzirki zaman ýadro fizikasyna görä, ýadro protonlardan we neýtronlardan düzülendir. Bu protonlar we neýtronlar bolsa ýadroda ýadro güýçleri (güýçli özaratäsir) bilen saklanýarlar.

Her ýadrony ${}_Z X^A$ bilen belgilemek kabul edilendir, bu ýerde X – elementiň ady (belgisi), Z - ýadrodaky

protonlaryň sany, $A = Z + N$ – massa sany (nuklonlaryň doly sany),

N - ýadrodaki neýtronlaryň sany.

Atom ýadrolary durnukly we durnuksyz (radioaktiw) bolýarlar. Öz-özünden dargamaklyk energetik taýdan bähbitsiz (massa ýetmezçiligi otrisatel bolan ýadrolar) bolan ýadrolara **durnukly ýadrolar** diýilýär. Sada bölejikleri göýbermek we energiýanyň bölünip çykmagy bilen ýadrolaryň öz-özünden dargamaklygy bolup geçýän ýadrolara **durnuksyz (radioaktiw) ýadrolar** diýilýär.

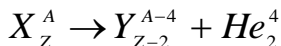
Başgaça aýdanymyzda radioaktiwlik diýip sada bölejikleri göýbermek we energiýanyň bölünip çykmagy bilen durnuksyz ýadrolaryň öz-özünden dargamagyna aýdylýar.

Ýadrolarda tebigy we emeli radioaktiwlik ýüze çykyş bilýär. **Tebigy radioaktiwlik** gurşundan soňky ýerleşen, ýagny tertip belgisi $Z > 82$ bolan agyr ýadrolarda ýüze çykýar we şunlukda käbir şöhleler (α, β, γ - bölejikler, neýtrino we antineýtrino we ş.m.) göýberilýär.

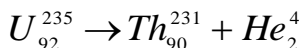
Bir protondan ybarat bolan wodorodyň ${}_1\text{H}^1$ ýadrosyndan beýleki ähli ýadrolary çalt neýtronlaryň ýa-da beýleki tizlendirilen bölejikleriň (protonlaryň) täsiri bilen dargatmak bolar. Şeýle özaratäsirleriň netijesinde ýadro reaksiýalary we radioaktiw izotoplar alynýar. Ýadro reaksiýalarynyň kömegi bilen alynan izotoplaryň radoioktiwligine **emeli radioaktiwlik** diýilýär. Tebigy we emeli radioaktiwligiň aralygynda hiç hili düýpli tapawut ýok. Umumy kanunalaýyklyklar olaryň ikisine hem degişlidir. Adatça ýadrolar darganda ýadrolarda Z , N we A sanlary üýtgeýär. Ýadrolaryň alfa we beta dargamalarynyň tapawudyna gysgaça seredeliň.

2. Alfa dargama. Tertip belgisi (ýa-da protonlaryň sany) $Z \geq 82$, neýtronlaryň sany $N \geq 122$, massa sany $A \geq 204$ bolan ýadrolar, ýagny agyr ýadrolar tarapyndan α -

bölejikleriň öz-özünden göýberilmekligi bolup geçýär. Alfa dargama reaksiýasy aşakdaky görnüşde bolup geçýär:



Z_Z^A - ilki başdaky dargaýan ýadro; Y_{Z-2}^{A-4} - ahyrky (emele gelen) ýadro. Alfa dargamasyna mysal hökmünde uranyň ýadrosynyň toriniň ýadrosyna öwrülmesini görkezmek bolar:

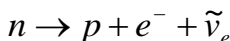


Alfa dargama ýadro hadysasydyr.

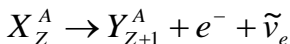
3. Beta dargama. Beta dargama diýip durnuksyz ýadronyň elektrony, pozitrony we K eýelemäni göýbermegi netijesinde ilkibaşdaky ýadrodan zarýady boýunça $\Delta Z = \pm 1$ tapawutlanýan izobar ýadro öz-özünden öwrülme hadysasyna aýdylýar. Şol bir wagtyň özünde ýadro neýtrino ýa-da antineýtrino göýberýär.

β^- - dargamanyň üç görnüşi bar: β^- - dargama (elektron dargama), β^+ - dargama (pozitron dargama), K - eýeleme (elektron eýeleme).

β^- - **dargamada (elektron dargamada)** ýadrodaky neýtronlaryň biri

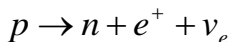


reaksiýa boýunça protona öwrülýär we ýadrodan elektron we elektron antineýtrino uçup çykýar:

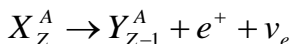


Şunlukda täze emele gelen ýadronyň zarýad sany bir birlik artýar.

β^+ - **dargamada (pozitron dargamada)** ýadrodaky protonlaryň biri

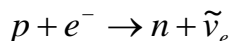


reaksiýa boýunça neýtrona öwrülýär we ýadrodan pozitron we elektron neýtrino uçup çykýar:

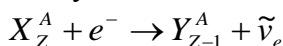


Şunlukda täze emele gelen ýadronyň zaryad sany bir birlik kemelýär. Elektron we pozitron dargamalary nuklonlaryň arasynda ýüze çykýan hadysalar netijesinde döreýärler.

Elektron ýa-da K - eýelemede ýadro ozone golaý elektron gabygyndan bir elektronuy ýuwudýar, netijede protonlaryň biri neýtrona öwrülýär we şunlukda elektron antineýtrino göýberilýär:



Elektron ýa-da K - eýelemäniň shemasy:



β - dargamasynda elmydama α - şöhleleri şöhlelenýär.

4. Radioaktiw dargama kanuny. Wagtyň geçmegi bilen radioaktiw ýadronyň intensiwligi kemelýär. Radioaktiw ýadrolaryň umumy sanyndan käbirleri ir, käbirleri bolsa giç dargaýar. Şoňa görä-de, berlen ýadronyň haçan dargajakdygyny öňünden aýtmak mümkin däl. Emma radioaktiw ýadrolaryň köp mukdary üçin dargamanyň statistik kanunalaýyklygyny kesgitlep bolar.

Goý, ýeterlik kiçi dt wagt aralygynda dN sany ýadrolar dargaýan bolsun. Bu san dt wagt aralygynda we dargaman galan ýadrolaryň N sanyna göni baglydyr:

$$dN \sim Ndt$$

Onda:

$$dN = -\lambda Ndt$$

(1)

bu ýerde λ - dargama hemişeligi.

λ dargama hemişeligi wagt birliginde ýadrolaryň näçe mukdarynyň dargaýandygyny görkezýär, ýagny 1s dowamynda ýadronyň dargama ähtimallygyny häsiýetlendirýär:

$$\lambda = -\frac{\frac{dN}{N}}{dt}$$

Minus alamaty dargaman galan ýadrolaryň sanynyň wagtyň geçmegi bilen kemelýändigini aňladýar.

(1) aňlatmany aşakdaky ýaly ýazalyň:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

Bu aňlatmany integrirläp, alarys:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt$$

ýa-da

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda t \quad (2)$$

Potensirläp, alarys:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

(3)

bu ýerde N - käbir wagt pursadynda dargaman galan ýadrolaryň sany, N_0 – başlangyç wagt pursadynda ($t = 0$) dargaýan ýadrolaryň başlangyç sany.

(3) formula **radioaktiw dargama kanuny diýilýär**, ýagny **dargaman galan ýadrolaryň N sany wagta göre eksponensial kanun boýunça kemelýär**.

Ähli ýadrolar tükeniksiz wagt pursadyndan soň dargap gutarýarlar. Şoňa göre-de dargama tizligini häsiýetlendirmek üçin ýarym dargama periody diýilýän T ululyk girizildi. **T ýarym dargama periody diýip, berlen radioaktiw madanyň ýadrolarynyň başlangyç sanynyň iki esse azalýan wagtyna aýdylýar.**

T - niň we λ - nyň arasyndaky baglanyşygy almak üçin (3) deňlemede $t = T$ we $N = \frac{N_0}{2}$ diýip hasap edeliň:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T} \quad \text{ýa-da} \quad e^{-\lambda T} = 2$$

Soňky aňlatmany logarifmläp, alarys:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

(4)

Häzirki wagtda belli bolan 3 müňe golaý radioizotoplaryň ýarymdargama periodlary 10^{-6} s - dan milliard ýyla çenlidir.

5. Radioaktiw maddanyň aktiwligi. Radioaktiw madda (preparat) wagt birliginde amala aşýan dargamalaryň sanyna deň bolan A aktiwlik bilen häsiýetlendirilýär:

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

(5)

(1), (3) we (4) aňlatmalary ulanyp, aktiwlik üçin aşakdaky baglanyşyklary almak bolar:

$$A = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t} \quad (6)$$

we

$$A = \frac{N}{T} \ln 2$$

(7)

Radioaktiw maddanyň (preparatyň) aktiwligi, edil ýadrolaryň N sany ýaly wagta görä eksponensial kanun boýunça kemelýär we wagt tükeniksizlige ymytylanda ($t \rightarrow \infty$) nola ymytylýar. (7) aňlatmadan görnüşine görä, ol ýadrolaryň N mukdaryna hem baglydyr. Dürli massaly şol bir preperetlar dürli aktiwlige eýedirler. Aktiwlik wagt birliginde (s^{-1}) radioaktiw maddanyň ýadrolarynyň dargama sany bilen ölçelýär. Aktiwligiň birligine Bekkerel (Bk) diýilýär. Aktiwliginiň amaly birligi hökmünde Kýuri (Ku) ulanylýar:

$$1Ki = 3,7 \cdot 10^{10} Bk = 3,7 \cdot 10^{10} s^{-1}.$$

6. Aktivligi kesgitlemegiň usullary. Aktivligi kesgitlemegiň iki usuly bar: absolýut we deňeşdirme usullary.

Absolýut usul uly hasaplamalaryň we kesgitli düzedişleri girizmek ýoly bilen aktivligi ölçemäge mümkinçilik berýär. Bu usulyň amatly tarapy, ol hem, aktivligi belli preparatyň bolmagy talap edilmeyänligidir.

Deňeşdirme usuly ýönekeý usuldur. Eger-de bizde aktivligi ýeterlik takyklyk derejesinde belli bolan radioaktiw preparat bar bolsa, bu usul bilen preparatyň aktivligini has çalt ölçäp bolýar.

Bu işde preparatyň aktivligi deňeşdirme usuly bilen kesgitlenýär. Bu usulda esasy talap edilýän zat, ol hem derňelýän we etalon preparatlaryň bir meňzeş şertlerde bolmaklygydyr. Şeýle hem, olaryň aktiw gatlaklary bir meňzeş galyňlykda we bir meňzeş ölçegde bolmalydyrlar. Bu ýagdaýda şeýle deňlemäni ýazyp bolar:

$$\frac{A}{A_{etalon}} = \frac{N}{N_{etalon}}$$

bu ýerde: A - ölçeg geçirilýän (öwrenilýän) preparatyň aktivligi;

N – abzal tarapyndan kesgitlenen, öwrenilýän preparatdan çykýan impulslaryň (bölejikleriň) sany.

A_{etalon} –etalon preparatyň aktivligi.

N_{etalon} – abzal tarapyndan kesgitlenen, etalon preparatdan çykýan impulslaryň (bölejikleriň) sany.

Şeýlelikde, preparatyň aktivligi aşakdaky ýönekeý formula boýunça kesgitlenýär:

$$A = A_{etalon} \frac{N}{N_{etalon}}$$

(8)

Işin ýerine ýetirilişi.

1. 1-nji suratda görkezilen shema boýunça tejribe geçiriljek abzaly gurnamaly.

2. ПСО2-4 hasaplaýjy abzalyň işleýşini barlamaly.

3. Geýger-Mýulleriň sanaýjysyna УИП-1 ýokary woltly göneldijiden 380W naprýaženiýe bermeli.

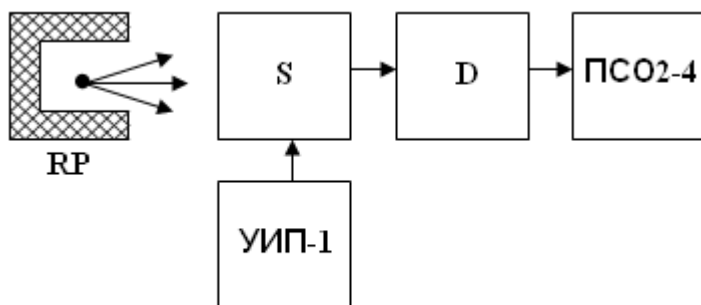
4. Radioaktiw fonyň N_{fon} ululygyny kesgitlemeli. Bu ululygy 10 gezek ölçemeli we $N_{f.orta}$ bahany kesgitlemeli.

5. Geýger-Mýulleriň sanaýjysynyň öňünde etalon preparaty goýmaly we radioaktiw fonuň N_{fon} bahasyny hasaba alyp N_{etalon} kesgitlemeli.

6. Etalon preparatyň ýerine aktiwligi näbelli bolan, öwrenilýän preparaty goýmaly we N_{fon} hasaba alyp N - i kesgitlemeli.

7. Etalon preparatyň A_{etalon} aktiwligini bilip (8) formula boýunça öwrenilýän preparatyň aktiwligini kesgitlemeli. Her bir ölçegiň dowamlylygy 30s bolmaly. Şeýle ölçegleri 10 gezek gaýtalamaly we alnan bahalaryň orta bahasyny tapmaly.

8. Alnan netijäniň ýalňyşlygyny kesgitlemeli.



1-nji surat

1-nji suratda:

RP- radioaktiw madda (preparat).

S – Geýger-Mýulleriň sanaýjysy.

УИП-1 – elektrik toguny göneldiji.

D- düzüji (ugrukdyryjy).

ΠCO2-4 – hasaplaýjy abzal.

Barlag üçi soraglar

1. Ýarym dargama periody diýip nämä aýdylýar?
2. λ dargama hemişeliginiň fiziki manysy name?
3. $T_{1/2}$ – we λ ululyklaryň arasynda nähil baglanyşyk bar?
3. Preparatyň aktiwligi diýip nämä aýdylýar?
4. Radioaktiw maşgala diýip nämä aýdylýar?
5. Iki sany α - we iki sany β - dargamasyndan soň ${}_{86}\text{Rn}^{222}$ ýadrosyndan haýsy izotop emele geler?

14-nji TEJRIBE IŞI

**GAMMA ŞÖHLELENMÄNIŇ MADDA BILEN
ÖZARATÄSIRI**

Gerek abzallar we enjamlar:

- 1. Radioaktiw preparaty.**
- 2. Siňdirijiler.**
- 3. Elektrik toguny göneldiji УИП-1.**
- 4. Geýger – Mýulleriň sanaýjysy.**
- 5. Hasaplaýjy abzaly ПСО2 – 4**

Işiň maksady:

Metallarda γ - şöhleleriniň siňdirilme koeffisiýentini kesgitlemek we γ - kwantlaryň energiýalaryny we tolkun uzunlygyny ölçemek usuly bilen tanyşmak.

Meýilnama:

1. γ - şöhlenenmäniň siňdirilme kanunyny.
2. Fotoeffekt (fotoelektrik) siňdirilme.
3. Kompton pytramasy.
4. Jübütleriň emele gelişi.

1. γ - şöhlenenmäniň siňdirilme kanunyny. γ - şöhleleriniň tolkun uzynlyklary $0,1\text{Å}^0 = 10^{-9}\text{sm} = 10^{-11}\text{m}$ - den $10^{-5}\text{Å}^0 = 10^{-13}\text{sm} = 10^{-15}\text{m}$ - e çenli we aşakda, ýygylgy 10^{19}Gz - den 10^{23}Gz - e çenli we ýokarda, energiýalary 10keV - dan 100MeV çenli we ýokarda erleşen. Şeýlelikde, **gamma şöhlenenmesi** diýip tolkun uzynlygy $0,1\text{Å}^0$ -den kiçi, ýygylgy 10^{19}Gz -den uly we energiýasy 10KeV -dan uly bolan gysga tolkunly elektromagnit şöhlenenmä aýdylýar. Gamma şöhleleri ýadrolar oýandyrylan energetik haldan aşaky energetik hala geçende şöhlenenýärler.

γ - şöhlenenmesi wakuumda hiç hili bökdençsiz ýaýraýarlar, maddada ýaýranda bolsa, γ - kwantlary maddanyň atomlarynyň elektronlary we ýadrolary bilen elektromagnit özaratäsir edişýärler. γ - şöhlenenmesi maddada ýaýranda fotoeffekt, kompton pytramasy we elektron – pozitron jübütleriniň döremegi ýaly hadysalar ýüze çykýar. Şol sebäpli γ - şöhlenenmesi maddada ýaýranda onuň intensiwligi peselýär.

Eger γ - kwantlary elektronlar bilen özaratäsir edişip, olara öz energiýalaryny doly berip, elektrony atomdan goparýan bolsa, onda γ - şöhlenenmesi **fotoeffekt** hadysasyny ýüze çykarýar. Eger γ - kwantlary energiýasynyň bir bölegini elektrona berip, ýaýramak ugruny üýtgedýän bolsa, onda γ - şöhlenenmesi **kompton pytramasyny** ýüze çykarýar. Eger γ - kwantlary ýadrolar bilen özaratäsir edişýän bolsalar, onda γ - şöhlenenmäniň ýaýramaklygy **jübütleriň emele gelmegi** bilen

amala aşyrylýar, ýagny γ - kwantlaryň elektrona we pozitrona öwrülmesi bolup geçýär:

$$\gamma \rightarrow e^{-} + e^{+}$$

Şeýlelikde, elektronlar we ýadrolar bilen özaratäsir edişýänligi we döredýän hadysalary netijesinde, γ - şöhlelenmäniň maddada ýaýramaklygy γ - şöhleleriň intensiwliginiň gowşamagy bilen, ýagny γ - kwantlaryň madda siňdirilmegi bilen bolup geçýär.

γ - şöhlelenmäniň siňdirilme kanunyny, ýagny γ - şöhlelenmäniň maddada ýaýramak ýolunyň uzynlygy boýunça intensiwliginiň (1 sekunda 1sm^2 meýdana düşýän γ - kwantlaryň sany) kemelme kanunyny tapalyň.

Goý, intensiwligi N deň bolan γ - kwantlaryň monohromatik dessesi madda düşýän bolsun we şunlukda dx gatladý (aralygy) geçip intensiwligini dN ululyga kiçeldýän bolsun. γ - kwantlaryň sanynyň üýtgemekligi γ - kwantlaryň maddanyň üstüne düşýän ilki başdaky N_0 mukdaryna we dx gatlagyň galyňlygyna proporsionaldyr, ýagny $dN \sim N_0 dx$.

Gatlagyň dx galyňlygy näçe uly boldugyça, γ - kwantlary pytradýan (siňdirýän) atomlaryň (ýadrolaryň we elektronlaryň) mukdary şonça-da köp bolýar. Şeýle baglanyşygy aşakdaky deňleme görnüşinde ýazmak bolar:

$$dN = -\mu N_0 dx \quad (1)$$

bu ýerde μ - hemişelik proporsionallyk koeffisiýenti. Bu ululyk maddanyň tebigatyna baglydyr we oňa başgaça **çyzykly siňdirilme koeffisiýenti** hem diýilýär.

(1) deňlemedäki minus alamaty kwantlaryň ýaýramaklyk netijesinde mukdarynyň kemelýändigini aňladýar. (1)

deňlemäni maddanyň x galyňlygyna görä, başlangyç şertleri ($x = 0$ -da $N = N_0$) hasaba alyp, integrirlesek, alarys:

$$N = N_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

(2) deňlemä γ - şöhleleriň eksponensial siňdirilme kanuny diýilýär: ýagny **siňdirilýän γ - kwantlaryň sany gatlagyň galyňlygyna baglylykda eksponensial kanun boýunça kemelýär.**

μ siňdirilme koeffisiýenti γ - şöhlelenmäniň maddadan geçiş prosessini häsiýetlendirýär. Madda tarapyndan γ - kwantlaryň akymynyň siňdirilmegi birnäçe prosessleriň netijesinde bolup geçýändigine görä, her prosese özüniň μ_i siňdirilme koeffisiýenti degişlidir we netijede doly siňdirilme koeffisiýenti aşakdaky ululyga deňdir:

$$\mu = \sum \mu_i = \mu_f + \mu_k + \mu_{jübüt} + \dots$$

Bu ýerde $\mu_f, \mu_k, \mu_{jübüt}$ degişlilikde fotoeffekt, kompton pytramasy we jübütleriň emele gelmek prosessleriniň hasabyna döreýän siňdirilme koeffisiýentleri.

μ_i siňdirilme koeffisiýenti berlen prosessiň ähtimallygyny häsiýetlendirýän, berlen prosessiň σ_i effektiv kesigine

proporsionaldyr: $\mu_i = n \sigma_i$

(n - maddanyň 1sm^3 göwrümindäki atomlaryň sany).

μ_i siňdirilme koeffisiýentine ters bolan ululyga, adaty, maddada γ - **kwantyň ylgaw ýoly** diýilýär we ony aşakdaky formula boýunça kesgitleýärler:

$$R_{\gamma} = \frac{1}{\mu_i} \quad (3)$$

γ - kwantlar maddada ýaýranlarynda olaryň madda tarapyndan siňdirilmekligi esasan üç sany özaratäsir prosessleriniň esasynda amala aşyrylýar: fotoeffekt, kompton pytramasy we atom ýadrolarynyň kulon meýdanlarynda elektron – pozitron jübütleriniň emele gelmegi. Bu özaratäsirlere aýratynlykda gysgaça seredeliň.

2. Fotoeffekt (fotoelektrik) siňdirilme. Haçanda γ - kwantlaryň energiýalary 1 Mew - dan kiçi bolanda fotoeffekt (fotoelektrik) siňdirilme ýüze çykýar. Şunlukda, γ - kwant elektron bilen özaratäsir edişip oňa özüniň ähli energiýasyny berýär, netijede elektronyň ýadro bilen baglanyşygy bozulýar we elektrona

$$E_k = h\nu - E_{bag}$$

deň bolan kinetik energiýa berilýär. Ýokarky deňlemede E_{bag} -

atomda elektronyň baglanyşyk energiýasy, $h\nu$ - kwantyň (fotonyň) energiýasy.

Maddanyň üstüne düşýän γ - kwantyň energiýasynyň ululygy elektronyň baglanyşyk energiýasyna näçe golaý boldugyça, şonça-da fotoeffektiň ähtimallygy uludyr. Fotoeffektiň σ_i kesiginiň γ - kwantyň energiýasyna

($h\nu$) we siňdiriji maddanyň ýadrosynyň Z zarýadyna baglylygy aşakdaky görnüşe eýedir:

$$\sigma_f \sim \frac{Z^5}{h\nu^{1/2}} \quad (h\nu > E_k \text{ ýagdaýda})$$

we

$$\sigma_f \sim \frac{Z^5}{h\nu} \quad (h\nu \gg E_k \text{ ýagdaýda})$$

Fotoeffektiň ähtimallydygy ýadronyň zarýadyna güýçli baglydyr, ýagny Z^5 . Munuň şeýle bolmaklygynyň sebäbi, zarýadyň artmagy bilen orbital elektronlaryň ýadro bilen baglanyşyk energiýasynyň ululygy çalt artýar. Fotoeffekt esasan kiçi energiýaly fotonlaryň madda bilen özaratäsirlerinde ýüze çykýan prosessdir. 1-nji suratda gursunda döreýän fotoeffektiň effektiv kesginiň γ - kwantyň energiýasyna baglylygy görkezilen.

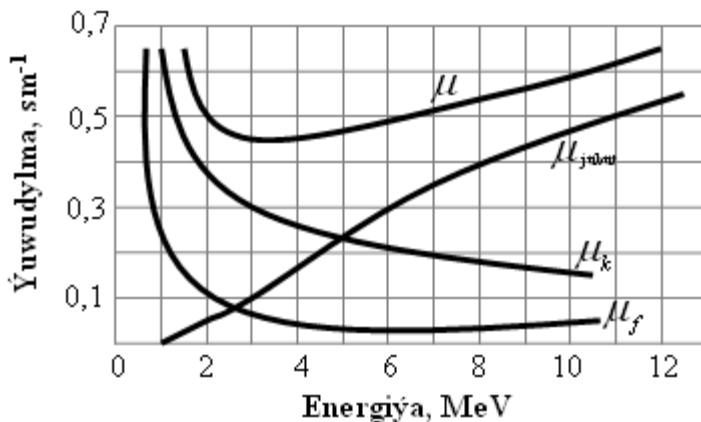
3. Kompton pytramasy. γ - kwantlaryň madda bilen özara täsiri γ - kwantlaryň pytramasyna getirip biler. Tolkun uzunlygynyň üýtgemegi bilen γ - kwantlaryň pytramagyna **kompton pytramasy** ýa-da **Kompton effekti** diýilýär. Bu hadysa şundan ybarat, ýagny γ - kwant kollektiwleşen elektron bilen özaratäsir edişip, özüniň energiýasynyň we impulsynyň bir bölegini oňa berýär, şunlukda γ - kwantyň energiýasy kemelýär. Bu prosessiň netijesinde energiýasy E_γ

bolan ilkinji γ - kwantyň ýerine, energiýasy E_γ^1 bolan, başda ugur boýunça pytraýan γ - kwant döreýär, şunlukda energiýanyň bir bölegini atylan elektron alýar.

Nazaryýetden gelip çykyşyna görä, bir elektrona degişli kompton pytramasynyň effektiv kesigi maddanyň ýadrosynyň **Z** zarýadyna bagly däl, ol γ - kwantyň energiýasyna ters baglydyr. Bir atoma degişli bolan effektiv kesik maddanyň ýadrosynyň **Z** zarýadyna göni baglydyr:

$$\sigma_k \sim \frac{Z}{h\nu}$$

γ - kwantlaryň energiýasy 1 MeV barabar bolanda kompton pytramasy has-da aýdyň ýüze çykýar. 1-nji suratda gurşunda kompton effektiniň effektiv kesiginiň γ - kwantyň energiýasyna baglylygy görkezilen.



1-nji surat

4. Jübütleriň emele gelişi. Eger γ - kwantyň energiýasy $2m_0c^2$ – dan (m_0c^2 – elektronyň dynçlyk energiýasy, m_0 – elektronyň dynçlyk massasy) uly bolanda bir γ - kwantyň e^- elektron - e^+ pozitron jübütlerine öwrülmegi bilen kwantlaryň siňdirilme prosessi bolup geçýär.

Şunlukda γ kwantyň enegiýasy bu bölejikleri döretmäge we olara kinetiki energiýalary bermäge harçlanýar. Energiýanyň we impulsyň saklanma kanunyna görä wakuumda elektron – pozitron jübütleriniň emele gelmeýänligini görkezmek bolar. Jübütleriň emele gelme prosessi diňe haýsy-da bolsa bir bölejigiň, köplenç ýadronyň kulon meýdanynda

amala aşyp birýär, sunlukda ýadro käbir depme impulsyny alýar. Bu prosess aşakdaky reaksiýa bilen beýan edilýär:

$$\gamma \rightarrow e^{-} + e^{+}$$

γ - kwantyň özaratäsir edişýan meýdany näçe güýçli boldugyça, şonça-da bu jübütleriň emele gelmegi ähtimaldyr. Bu prosessiň effektiw kesigi maddanyň ýadrosynyň Z zarýadynyň artmagy bilen artýar, ýagny

$$\sigma_{jübüti} \sim Z^2 \ln \frac{h\nu}{m_0 c^2}$$

1-nji suratda gurşunda jübütleriň emele gelme prosessiniň effektiw kesiginiň γ - kwantyň energiýasyna baglylygy görkezilen. Bu suratdan gönüşine görä, ýokary energiýalaryň oblastynda fotoeffektiň we kompton – effektiň effektiw kesikleriniň nola çenli kemelýändigini we jübütleriň emele gelme prosessiniň γ - kwantlaryň siňdirilmesiniň esasy mehanizmi bolup durýandygyny bellemek gerek.

Şeýlelikde, maddadan γ - kwantlar geçende olaryň madda tarapyndan siňdirilmegi, esasan fotoeffekt, kompton effekti we ýadronyň kulon meýdanynda jübütleriň emele gelmegi bilen kesgitlenýär. Şoňa görä-de, doly effektiw kesik üçin ýazyp bileris:

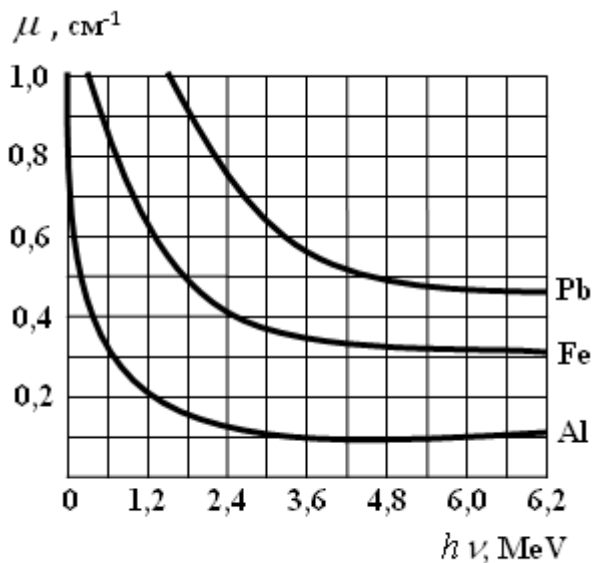
$$\sigma_{doly} = \sigma_f + \sigma_k + \sigma_{jübüti}$$

Siňdirilmäniň çyzyk koeffisiýentleri üçin, alarys:

$$\mu_{doly} = \mu_f + \mu_k + \mu_{jübüti}$$

Sanalyp geçilen üç prosessiň (fotoeffekt, kompton effekti we ýadronyň kulon meýdanynda jübütleriň emele gelmegi), γ - kwantlaryň madda bilen özaratäsir edişlerine goşantlary bir meňzeş däl. Bu goşantlar γ - kwantlaryň energiýasyna we maddanyň Z atom belgisine baglydyr. 2-nji suratda gurşun,

demir we alýuminiý üçin doly siňdirilme koeffisiýentiniň γ - kwantlaryň energiýasyna baglylygy getirilen.



2-nji surat

γ - kwantlaryň siňdirilme koeffisiýentini tejribe üsti bilen (2) formula boýunça kesgitleýärler. (2) deňlemäni logarifmläp, alarys:

$$\mu = \frac{1}{x} \ln \frac{N_0}{N} \quad (4)$$

ýa-da

$$\mu = \frac{2,3}{x} \lg \frac{N_0}{N} \quad (4')$$

Eger $\ln N$ - iň x - e baglylygyny ($\ln N = f(x)$) gursak, alnan göniniň ýapgytlygy boýunça γ - kwantlaryň

μ siňdirilme koeffisiýentini kesgitläp bolar:

$$\mu = \frac{\ln N_0 - \ln N}{x} \quad (5)$$

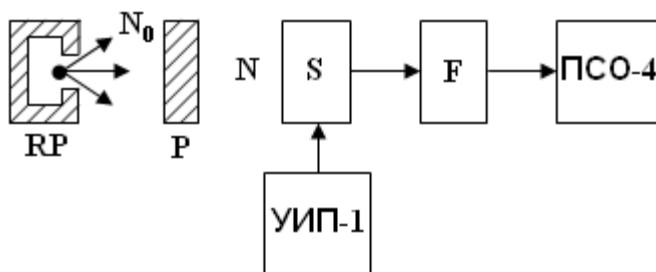
Siňdirilme koeffisiýentini bilip $\mu = f(E_\gamma)$ baglylygyň egrisi boýunça çeşmäniň γ - kwantlarynyň energiýasyny kesgitläp bolýar.

Işin ýerine ýetirilişi

μ siňdirilme koeffisiýenti kesgitlenýän tejribe desgasy 3-nji suratda görkezilen.

γ - şöhlelenmäniň çeşmesi, birwagtyň özünde gorag we inçe dessäni almak üçin kollimator bolup hyzmat edýän, gurşundan ýasalan gutynyň içinde ýerleşdirilýär.

γ - kwantlary bellige almak üçin Geýger-Mýulleriň sanaýjysy ulanylýar. Sanaýjy ýokary woltly УИП – 1 göneldiji bilen iýmitlendirilýär. Impylslary sanamak üçin ПСО2 – 4 abzal ulanylýar. RP radioaktiw çeşme bilen S Geýger-Mýulleriň



3-nji surat

sanaýjysynyň arasynda, ýuka plastinalar görnüşinde gurşundan, ýa-da beýleki materiallardan ýasalan Ý siňdiriji ýerleşdirilýär.

3-nji suratda: RP – zarioaktiw preparat, Ý – siňdiriji, S – Geýger-Mýulleriň sanaýjysy, F – formirleýji, ПСО2-4 – hasaplaýjy abzal, УИП-1 – tok çeşmesi.

Tejribäni geçirmegiň vzygiderligi:

1. 3-nji suratdaky zynjyry ýygnamaly.
2. ПСО2-4 hasaplaýjy abzaly toga birikdirmeli we 10-15 min gyzdymaly.
3. ПСО2-4 hasaplaýjy abzalyň işleýşiniň dogrulygyny barlamaly.
4. Geýger-Mýulleriň sanaýjysyna УИП-1 göneldijiden 380 W naprýaženiýa bermeli we N_f radioaktiw fonuň ululygyny kesgitlemeli.
5. Radioaktiw çeşmäni S sanaýjynyň golaýynda ýerleşdirmeli. ПСО2-4 hasaplaýjy abzalyň kömegi bilen, radioaktiw çeşme bilen S sanaýjynyň arasynda gurşun plastina ýok mahalynda impulslaryň N_0 sanyny kesgitlemeli. N_0 – y her gezek 30s dowamynda 10 gezek ölçemeli we alynan bahalaryň orta bahasyny kesgitlemeli.
6. S sanaýjy bilen radioaktiw çeşmäniň aralygynda μ siňdirilme koeffisiýenti näbelli gurşun plastinany ýerleşdirmeli. ПСО2-4 hasaplaýjy abzalyň kömegi bilen öwrenilýän maddadan geçen bölejikleriň N_x sanyny kesgitlemeli. Şeýle ölçegleri dürli galyňlykdaky plastinalaryň her haýsysynda aýratynlykda geçirmeli. Ölçegleri plastinalaryň galyňlygyny $x = 0$ bahadan bölejikleriň sany hemişelik bolup galýança (N_f fonuň derejesine çenli) dowan etdirmeli.
7. N_0 we N_x - iň her bahasyndan N_f fony aýyrmaly:

$$N(x) = N_x - N_f, \quad N(0) = N_0 - N_f$$

8. Mikrometriň kömegi bilen öwrenilýän plastinalaryň dürli ýerlerinde onuň galyňlygyny azyndan 3 gezek ölçemeli we onuň x_{orta} orta galyňlygyny kesgitlemeli.
9. Ölçegleriň netijesinden peýdalanyň (4) formula boýunça gurşun, alýuminiý we demir plastinalar üçin μ siňdirilme koeffisiýentini kesgitlemeli.
10. Gurşun, alýuminiý we demir üçin μ - iň, siňdirijiniň x galyňlygyna baglylygyny ($\mu = f(x)$) gurmaly.
11. 2-nji suratdaky egriler boýunça γ - kwantyň E_{γ} energiýasyny kesgitlemeli.
12. (3) formula boýunça γ - kwantyň ylgaw ýolunyň uzynlygyny hasaplamaly.
13. Aşakdaky formula boýunça γ - şöhlenmäniň λ tolkun uzynlygyny kesgitlemeli:

$$\lambda = \frac{hc}{E_{\gamma}} = \frac{19,86}{E_{\gamma}} 10^{-12} m$$
14. Ölçegleriň ýalňyşlygyny bahalandyrmaly.

Barlag üçin soraglar:

1. γ - fotonlaryň esasy häsiýetlerini сана.
2. Doly siňdirilme koeffisiýentiniň fiziki manysyny düşündiriň.
3. Näme üçin üç sany esasy α -, β -, γ – radioaktiw şöhlenmeleriň içinde γ – şöhleleri iň uly geçijilik ukyba eýe?

Fiziki ululyklaryň bahalary

Elektronyň massasy	$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} kg$ $m_e = 0,511 MeW$
Elektronyň zarýady	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} K\ell$ $e = 4,803 \cdot 10^{-10} SGSE$
Elektronyň udel zarýady	$e / m_e = 1,76 \cdot 10^{11} K\ell / kg$ $e / m_e = 5,27 \cdot 10^{17} SGSE / gram$
Protonyň massasy	$m_p = 1,672 \cdot 10^{-27} kg$ $m_p = 938,26 MeW$ $m_p = 1836,1 \cdot m_e$ $m_p = 1,00758 at.m.g.$
Protonyň udel zarýady	$e / m_p = 0,959 \cdot 10^8 K\ell / kg$ $e / m_p = 2,87 \cdot 10^{14} SGSE / gram$
Plankyň hemişeligi	$h = 6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s$ $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,0546 \cdot 10^{-34} J \cdot s$ $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 0,659 \cdot 10^{-15} eW \cdot s$
Ridbergiň hemişeligi	$R = 2,07 \cdot 10^{16} s^{-1}$ $R' = R / 2\pi c = 1,097 \cdot 10^5 sm^{-1}$
Biriji bor radiusy	$r_1 = 0,529 \cdot 10^{-10} m$

Wodorod atomynda elektronýň balanyşyk energiýasy	$E = 13,56eW$
Boruň magnetony	$\mu_B = 0,9274 \cdot 10^{-23} J / T\ell$ $\mu_B = 0,9274 \cdot 10^{-20} erg / Gs$
Ýadro magnetony	$\mu_O = 5,051 \cdot 10^{-27} J / T\ell$ $\mu_O = 5,051 \cdot 10^{-24} erg / Gs$
Protonyň magnit momenti	$\mu_p = 2,7928 \cdot \mu_O$
Neýtronyň magnit momenti	$\mu_n = -1,913 \cdot \mu_O$
Mýuonyň (μ^\pm) massasy	$m_\mu = 105,66MeW$ $m_\mu = 206,77 \cdot m_e$
Tau leptonýň massasy	$m_\tau = 1777MeW$
Elektron neýtronyň (ν_e) massasy	$m_{\nu_e} \langle 3eW$
Mýuon neýtronyň (ν_μ) massasy	$m_{\nu_\mu} \langle 0,19MeW$
Tau neýtronyň (ν_τ) massasy	$m_{\nu_\tau} \langle 18,2MeW$
Pi – mezonlaryň massasy	$m_{\pi^\pm} = 139,6MeW$ $m_{\pi^\pm} = 273,2 \cdot m_e$ $m_{\pi^\pm} = 139,6MeW$ $m_{\pi^0} = 135,0MeW$

Neýtronyň massasy	$m_{\pi^0} = 264,2 \cdot m_e$ $m_n = 939,55 \cdot MeV$ $m_n = 1838,6 \cdot m_e$ $m_n = 1,00897 at.m.e.$
Wakuumda ýagtylygyň tizligi	$c = 2,998 \cdot 10^8 m/s$
Grawitasiýa hemişeligi	$\gamma = 6,672 \cdot 10^{-11} m^3 / (kg \cdot s^2)$
Bolsman hemişeligi	$K = 1,3807 \cdot 10^{-23} J / K$
Elektrik hemişeligi	$\varepsilon_0 = 0,885 \cdot 10^{-11} F / m$ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 m / F$
Magnit hemişeligi	$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} Gn / m$ $\mu_0 / 4\pi = 10^{-7} Gn / m$
α - bölejiginiň massasy	$m_\alpha = 4,001523 at.m.e.$
Awagadro sany	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} Mol^{-1}$
Elektronyň kompton tolkun uzynlygy	$\lambda_c = \frac{\hbar}{m_e c} = 2,426 \cdot 10^{-12} m$ $\tilde{\lambda}_c = \lambda_c / 2\pi = 3,86 \cdot 10^{-13} m$

Birliklerin arasyndaky baglanyşyklar:

$$1\overset{0}{A} = 10^{-8} sm = 10^{-10} m$$

$$1eW = 1,6 \cdot 10^{-19} J$$

$$1erg = 10^{-7} J$$

$$m_e c^2 = 0,11 MeW$$

$$1at.m.e. = 931,162 MeW = 1,66023 \cdot 10^{-27} kg$$

$$1Ki = 3,7 \cdot 10^{10} d \arg ama / s = 3,7 \cdot 10^{10} Bk$$

$$1barn = 10^{-24} sm^2$$

$$1P = 88erg / gram = 0,88rad = 2,58 \cdot 10^{-4} K\ell / gram$$

$$1Fermi = 10^{-13} sm = 10^{-15} m$$

$$1MeW = 1,6 \cdot 10^{-13} J$$

$$1K\ell = 3,10^9 SGS$$

$$m_p c^2 = 938,3 MeW$$

$$1Rd = 10^6 d \arg ama / s$$

$$1rad = 10^{-2} J / kg$$

Е Д Е Б И Ы А Т

1. Gurbanguly Berdimuhammedow, Ösüşin täze belentliklerine tarap. I tom. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhammedow, Ösüşin täze belentliklerine tarap. II tom. Aşgabat, 2009.
3. Ataýew A., Atom we ýadro fizikasy, Aşgabat, 2007
4. Шпольский Э.В., Атомная физика, Том 1,2, М. 1974
5. Савельев И.В., Курс общей физики, т.2.,М.1973
6. Сивухин Д.В., Общий курс физики, Атомная и ядерная физика. ч.2, М.1989
7. Наумов А.И., Физика атомного ядра и элементарных частиц, М. 1972
8. Физический практикум, под ред. Ивереновой В.И., М. 1962
9. Широков Ю.М., Юдин Н.П. , Ядерная физика, М.1978
10. Ракобольская И.В. - Ядерная физика, МГУ, 1981
11. Практикум по ядерной физике, под ред. Антонова Л.И., МГУ, 1972
12. Кабардин О.Ф. Практикум по ядерной физике, М.1965
13. А.В.Кортнев , Практикум по физике, Москва, 1965 г.
14. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л.Л.Гольдина. М.1964
15. Методика факультативных занятий по физике. Под ред. О.Ф.Кабардина, М.1980
16. Авотин Ю.П. Практикум по радиоактивности, М.1974
17. Практикум по ядерной физике/ Под ред. В.О. Сергеева, - М.Высшая школа, 1975
18. Сборник лабораторных работ по ядерной физике/ Под ред. Мухина К.Н. М.Атомиздат, 1979
17. Практикум по ядерной физике/ Под ред. В. Г.Барышевского, Минск. 1983

M A Z M U N Y

Sözbaşy	7
1 - nji tejribe işi: Elektronyň zaryadyny kesgitlemek. .9	
2 - nji tejribe işi: Elektronyň udel zaryadyny kesgitlemek.....	18
3 - nji tejribe işi: Daşky fotoeffekt hadysasyny öwrenmek we Plankyň hemişeligini kesgitlemek.....	27
4 - nji tejribe işi: Frankyň we Gersiň tejribesi	36
5 - nji tejribe işi: Wodorod atomynyň spektral kanunalaýyklyklaryny öwrenmek. Ridbergiň hemişeligini we elektronyň massasyny kesgitlemek.....	47
6 - nji tejribe işi: Elektrik toguny äkidijileriň ýaşayyş wagtyny kesgitlemek.....	65
7 - nji tejribe işi: Uglerodyň ${}^6\text{C}^{12}$ ýadrosynyň neýtronlaryň täsiri bilen bölünme reaksiýasyny öwrenmek.....	84
8 - nji tejribe işi: Neýtronyň energiýasyny serpigen protonyň kömegi bilen esgitlemek.....	95
9 - nji tejribe işi: II – mezonyň dargamasyny öwrenmek.....	105
10 - nji tejribe işi: Geýger – Mýulleriň sanaýjysyny öwrenmek.....	120
11 - nji tejribe işi: Kosmos şöhleleriniň burç boýunça paýlanyşyny öwrenmek	138
12 - nji tejribe işi: Fotonyň elektron – positron dargamasyny öwrenmek.....	152
13 - nji tejribe işi: Radioaktiw maddanyň aktiwligini kesgitlemek.....	163

14 - ný tejribe işi: Gamma şöhlelenmäniň madda bilen özaratäsiri.....	172
Fiziki ululyklaryň bahalary.....	184
Birlikleriň arasyndaky baglanyşyklar.....	187
Edebiýat.....	188
Mazmuny.....	189