

**«ДАРЫН» РЕСПУБЛИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ПРАКТИКАЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫ**  
**ФИЗИКА ПӘНІ БОЙЫНША РЕСПУБЛИКАЛЫҚ ОЛИМПИАДАНЫҢ ТӨРТІНШІ**  
**(ҚОРЫТЫНДЫ) КЕЗЕҢІ (2023-2024 ОҚУ ЖЫЛЫ)**  
**11 сынып, 1 тур**

Жұмыс уақыты: 5 сағат

**Есеп 1. «Қоспа» [10,0 ұпай]**

Бұл есеп бір-бірінен тәуелсіз үш бөлімнен тұрады.

**1.1- бөлім. Шардың құлауы (3,0 ұпай)**

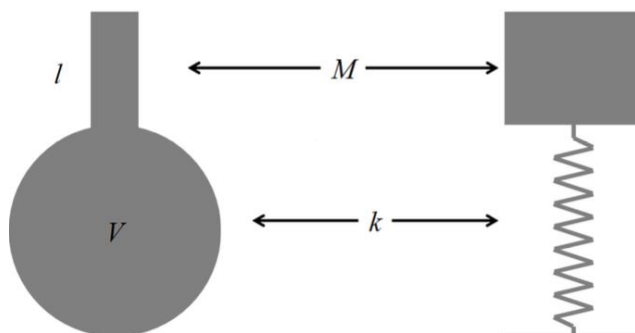
Шар бастапқыда үстелде, оның  $C$  центрлік нүктесі үстелдің шетінен жоғары болатындай етіп, тыныштықта тұр. Осыдан кейін шар үстелдің шетінде айнала отырып, құлай бастайды. Егер шар  $30$  градусқа тең  $\alpha$  бұрышына бұрылғаннан кейін сырғанап бастаса,  $\mu$  үйкеліс коэффициентін анықтау қажет. (Шардың центрі арқылы өтетін оське қатысты шардың инерция моменті  $\frac{2}{5}mR^2$ ).

**1.2-бөлім. Жылулыққоқшауланған ыдыс (4,0 ұпай)**

Жылулыққоқшауланған ыдыста  $T = 1200$  К температурада азот бар. Ыдыстың бүйір бетінде газ ағатын шағын тесік орналасқан. Ыдыстан вакуумға ағатын газдың жылдамдығын анықтаңыз. Ыдыс ішіндегі газ ағыны қозғалысының жылдамдығын ескермеуге болады.

**1.3- бөлім. Гельмгольц резонаторы (3,0 ұпай)**

Гельмгольцтің белгілі резонаторы ретінде, ауа ағынына қарамастан резонанстық жиілік толқындарын шығаратын, кәдімгі пластикалық бөтелкені қарастыруға болады. Бөтелкедегі ауа тербелісін сипаттау үшін денесі бар серіппе моделін қолдануға болады, онда бөтелке көлеміндегі ауа тербелетін массаны, ал бөтелке мойындағы ауаның қысым айырымы серіппе ролін атқарады. Бөтелкені радиусы  $R$  шар деп, ал мойынын радиусы  $r$  және ұзындығы  $l$  цилиндр деп есептеңіз. Ауаны резонанстық тербелісінің  $f$  жиілігін анықтаңыз және оны  $R, l, r$  және дыбыс жылдамдығы  $c$  арқылы өрнектеңіз. Газ ортасындағы дыбыс жылдамдығын  $c = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}}$  формуласымен есептеуге болады. Барлық процестерді адиабатикалық деп ескеріңіз.



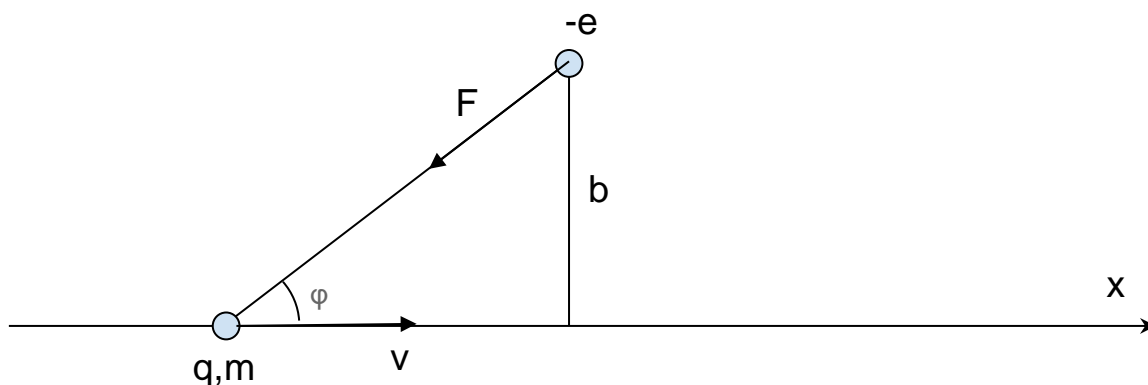
## Есеп 2. Радиотерапия [10,0 ұпай]

Протон терапиясы – қатерлі ісік тіндерін иондау үшін протондарды қолданатын радиотерапия түрі. Протон терапиясының артықшылығы – протондардың жүрісін дәл бақылау және энергия бөлінуді ісіктің дәл өзіне шоғырландыру мүмкіндігі. Бұл есепте біз осы құбылыстың физикасын қарастырамыз.

Массасы  $m$  және заряды  $q$  болатын, затта  $v$  жоғары жылдамдықпен қозғалатын, ауыр, жоғары энергиялы зарядталған бөлшекті қарастырайық. Энергияны жоғалтудың негізгі көзі электрондардың иондануы мен қозуы деп есептейік. Бөлшек өте жылдам болғандықтан, сіз электрондарды еркін, тыныш деп есептей аласыз және бөлшекпен өзара әрекеттесуіне байланысты электронның орын ауыстыруын өте аз деп санай аласыз.

Бастапқыда, бір электронның әсерінен энергия шығынын қарастырамыз.

Бөлшек  $x$  осі бойымен тұрақты жылдамдықпен қозғалады, ал электрон, өзі маңында қозғалатын түзуден  $b$  қашықтықта орналасқан деп есептейік.



1. Егер  $x$  осі мен бөлшектен электронға дейінгі бағыт арасындағы бұрыш  $\varphi$  болса, онда электронға әсер ететін  $F$  күші неге тең?
2.  $dt$  уақыт мезетіндегі электронның  $dp$  импульсінің өсімшесін табыңыз.
3. Бөлшектің барлық қозғалыс уақытында  $\Delta p$  импульсінің толық өсімшесін табыңыз.
4. Электрон энергиясының  $\Delta e$  өсімшесін табыңыз.

Енді біз заттағы барлық электрондардың әсерін табамыз.

5. Таза механикалық тұрғыдан алғанда, өте ауыр бөлшекпен бетпе-бет соқтығысқан кезде электронға берілген импульсінің  $\Delta p_{max}$  максималды мүмкін мәні бар. Ол неге тең?

6. Берілген импульстің максималды мүмкін мәні ретінде 5-пункттегі өрнекті алып, оған сәйкес келетін  $b_{min}$  минималды мәнін табыңыз.

7. Атомдардың кванттық табиғатына байланысты электрон энергиясының  $\Delta e$  өсімшесі  $I$ -дың шекті табалдырық мәнінен көп болуы тиіс.  $b_{max}$  максималды мәнін табыңыз.

8. Егер электрондардың тығыздығы  $n$  болса, қалыңдығы  $\Delta x$  болатын  $b, b + db$  қабаттағы  $dN$  электрондарының санын және осы қабаттағы электрондардың әсерінен зарядталған бөлшек жоғалтқан  $dE$  энергиясын табыңыз.

9. Қалыңдығы  $\Delta x$  заттың қабатынан өткен кезде бөлшектің толық энергиясының  $\Delta E$  шығынын табыңыз. Жауапты  $m, q, n, \Delta x, I$  және  $E$  арқылы өрнектеңіз, мұндағы  $E$  - бөлшектің энергиясы.

9-пунктте сіз өрнекті  $\Delta E \propto E^p \ln g(E)$  түрінде алуыңыз керек еді.  $\ln g(E)$  мүшесі  $E^p$ -ға қарағанда әлдеқайда баяу өзгертіндіктен, оны  $\ln g(E_0)$  тұрақтыға тең деп есептеуімізге болады, мұндағы  $E_0$  – бөлшектің бастапқы энергиясы.

10.  $R$  бөлшектің максималды ену тереңдігін табыңыз. Жауапты  $m, q, n, I$  және  $E_0$  арқылы өрнектеңіз.

11. Протон терапиясының артықшылықтарының бірі – энергия бөлуді ісіктерге шоғырландыру мүмкіндігі. Бұл құбылысты сіз алған формулалар арқылы түсіндіріңіз.
12. Адам денесі негізінен судан тұрады. Су үшін  $n$  шамасын табыңыз.
13. Атом үшін  $I$  мәнін эмпирикалық түрде табуға болады  $I = 13,5Z$  эВ, мұндағы  $Z$  – атомның реттік нөмірі. Су молекуласының электроны үшін  $I$  орташа мәнін табыңыз.
14. 100 МэВ энергиясы бар протонының  $R_p$  ену тереңдігін табыңыз.
15. Ісік тері астында 4 см тереңдікте болсын. Терапияда қолдану үшін қажетті протон энергиясын бағалаңыз.

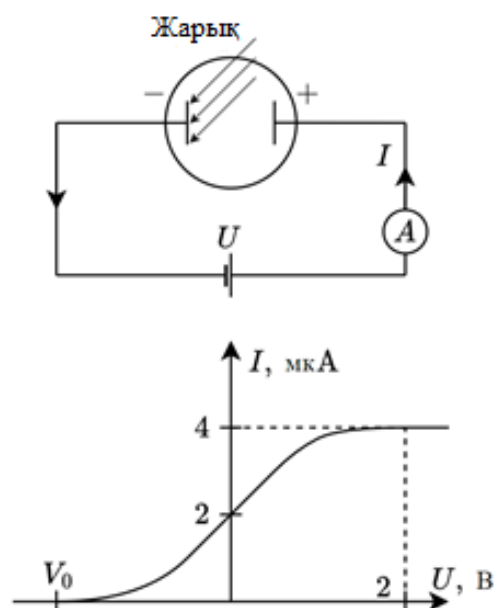
Пайдалы константалар:

$$\begin{aligned} \varepsilon_0 &= 8.85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м} \\ e &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ Кл} \\ m_p/m_e &= 1840 \\ M(O) &= 16 \times 10^{-3} \text{ г/моль}, Z(O) = 8 \\ M(H) &= 1 \times 10^{-3} \text{ г/моль}, Z(H) = 1 \\ \rho_{H_2O} &= 1000 \text{ кг/м}^3 \\ N_A &= 6.02 \times 10^{23} \text{ моль}^{-1} \end{aligned}$$

### Есеп 3. Электродық эмиссия [10,0 ұпай]

#### Фотоэффект

Фотоэффект – бұл фотондардың әсерінен металл бетінен электрондардың ыршып шығуы. Бұл тәжірибеде толқын ұзындығы  $\lambda = 216$  нм ультракүлгін сәулеленумен ыршып шығарылған фотоэлектрондардың ағынының, түсірілген  $U$  кернеуінен вольтамперлік сипаттамасы өлшенген; тізбектің диаграммасы мен сызбалық графигі оң жақта көрсетілген. Планк тұрақтысының мәні  $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с, жарық жылдамдығы  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с, электрлік тұрақты мәні  $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м, электрон заряды  $e = -1.602 \cdot 10^{-19}$  Кл және оның массасы  $m = 9.11 \cdot 10^{-31}$  кг. Тізбектің түйіспелі потенциалдар айырымы мен кедергісі жоқ.



3.1. Электрондардың мырыш катодынан шығуының жұмысы, яғни электрондардың металл бетінен шығуы үшін қажетті энергия  $A = 3.74$  эВ құрайды. Сәулеленудің қандай толқын ұзындығында фотоэффект мүмкін емес?

3.2. Барлық фотондар фотоэлектрондарды сәтті ыршып шығарады деген болжаммен ультракүлгін сәулеленудің  $W$  қуатын есептеңіз.

Қандай-да бір бұғаттаушы кернеуде  $V_0 < 0$  фототок нөлге айналады, бұл катодтан шыққан электрондар анодқа жете алмайтындығын көрсетеді.

3.3.  $V_0$  неге тең екенін анықтаңыз.

3.4. Бұл тәжірибеде электрондар қандай  $v_{\max}$  максималды жылдамдығына ие болады?

## Вакуумдық диод

Металдардан электрон эмиссиясы құбылысына электровакуумдық диод негізделген, ол вакуумдық баллонда орналасқан оң зарядталған анод пен теріс зарядталған катодтан тұрады. Катод жібінің қызуы кезінде термоэлектрондық эмиссия орын алады: қыздырылған электрондар катодтан анодқа ұшады, ал егер электродтарға оң кернеу берілсе, тізбекте ток пайда болады, ал диодтың вольтамперлік сипаттамасы

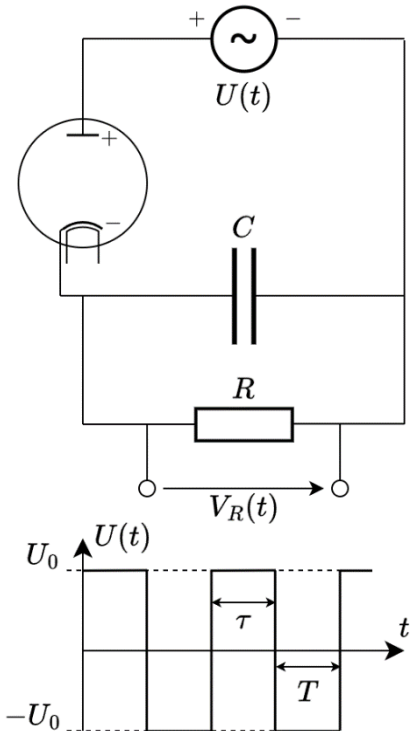
$$I = AU^{3/2};$$

кері полярлықта электрондар баяулайды және электр тогы болмайды. Бұл бөлік үшін токтың тұрақты тербеліс режимін ғана қарастырыңыз;  $A = 6.75 \cdot 10^{-6} \text{ A/V}^{3/2}$  коэффициенті жалпы айтқанда, диодтың сипаттамаларына тәуелді.

Вакуумдық диодты, сипатты уақыты  $\tau = T = 0.02 \text{ c}$  болатын,  $C = 200 \text{ мкФ}$  конденсаторы және де  $R = 10 \text{ кОм}$  резисторы бар  $U_0 = 220 \text{ В}$  тіктөртбұрышты кернеу тізбегіне оң жақтағы суретте көрсетілгендей қосады. Мұндай модельде диод резистордағы айнымалы токты қандай да бір  $I_R$  орташа мәніне дейін "түзетеді".

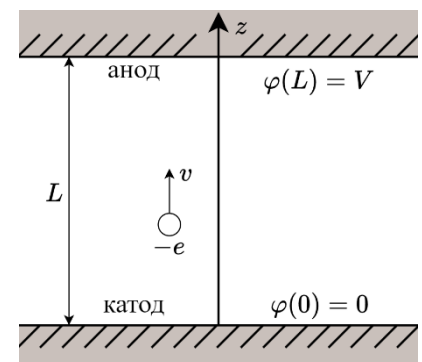
3.5. Берілген тербелістер кезінде резистордағы  $\Delta I_R / I_R$  токтың салыстырмалы аралығын есептеңіз.

3.6. Резистор арқылы өтетін орташа  $I_R$  ток күшін анықтаңыз.



## Вольт-амперлік сипаттама

Металдағы бос электрондар вакуумға түсу үшін шығу жұмысын еңсеруі тиіс болғандықтан, бұл катод бетінде электрондарды ұстап тұратын электр өрісінің болуын білдіреді. Оны бағалау үшін электродтары бір-бірінен  $L = 10 \text{ мм}$  қашықтықта орналасқан және олар шекті әсерлерді ескермеу үшін шексіз металл жазықтықтар түрінде болатын, вакуумдық диодты қарастырамыз. Теріс катодтың потенциалын нөлге қабылдаймыз – сонда оң зарядталған анодтың потенциалы диодтағы сыртқы  $V$  кернеуіне тең болады.



Біріншіден, электрондар металдан үнемі ыршып шығып отырады, және де оның бетіне жақын теріс зарядталған электронды атмосфераны құрайды. Бұл қос зарядталған қабатты түзеді – ішіндегі электр өрісі біртекті болатын қалыңдығы  $z_0$  кеңістік. Екіншіден, электрон қос зарядталған қабатты еңсерген кезде, оның катодпен одан әрі әрекеттесуі өзінің электрлік кескініне байланысты, ал анодтың әсерін мүлдем ескермейміз. Шотткидің

классикалық моделіне сәйкес, электронның катодпен әсерлесу күші оның қашықтығына үздіксіз тәуелді болуы керек.

3.7. Сыртқы  $V$  кернеудегі электрондардың қозғалысын қарастырамыз. Катодтан  $z > z_0$  қашықтықтағы электронның  $W(z)$  потенциалдық энергиясын,  $V$ ,  $L$ , және  $z_0$  функция ретінде табыңыз.

3.8. Электрондар осы потенциалдық тосқауылды еңсере алатын  $V_{\min}$  минималды кернеуін табыңыз, оның нәтижесінде электрлік вакуумдық диод арқылы ток өте бастайды.

Көріп отырғаныңыздай,  $V_{\min}$  өте аз (бұл жалпы алғанда берілген құбылысты сипаттау үшін кванттық механиканы қолдану қажеттілігін көрсетеді, бұл берілген есепте қарастырылмайды), яғни катодтағы беткі құбылыстар және онымен электрондардың өзара әрекеттесуі елеусіз рөл атқарады.

Орныққан режимде қозғалыстағы электрондар, катодтан  $z$  биіктігіне тәуелді түрде тепе-теңдік  $n(z)$  концентрация мен  $\varphi(z)$  потенциал тудыра отырып, кеңістікте таралады. Катодтың аудан бірлігіне келетін кеңістіктегі электр тогының тығыздығы  $j$  екені белгілі және ол тек  $z$  бойымен бағытталады. **Есіңізде болсын, электрон заряды теріс, яғни  $q = -|e|!$**

3.9. Электрондық бұлттағы  $\Delta z$  биіктігінің аз өсуін қарастырамыз. Берілген  $z$  биіктігіндегі электрондардың  $n(z)$  концентрациясына тәуелді электр өрісі, қандай сәйкес  $\Delta E \equiv E(z + \Delta z) - E(z)$  шамасына өзгеретінін көрсетіңіз.

3.10. Берілген биіктіктегі  $\varphi(z)$  потенциалына тәуелді катодтан шығарылған электронның  $\nu(\varphi)$  жылдамдығын табыңыз. Катод бетіндегі электрондардың бастапқы жылдамдығы нөлге тең.

3.11. Берілген биіктікте  $j$  ток тығыздығына және оның  $\varphi(z)$  потенциалына тәуелді  $n(\varphi)$  электронды атмосфера концентрациясының таралуын табыңыз.

Кеңістіктегі потенциалдың таралуы дәрежелік заңдылыққа бағынатыны белгілі

$$\varphi(z) = V \cdot \left(\frac{z}{L}\right)^\alpha.$$

3.12. Алдыңғы пункттердің нәтижелерін пайдаланып,  $\alpha$  мәнін табыңыз.

3.12 пункттен вакуумдық диодтың вольтамперлік сипаттамасы келесі заңдылыққа бағынатындығы шығады

$$j = CV^\beta.$$

3.13.  $C$  және  $\beta$  мәндерін анықтаңыз және сандық түрде есептеңіз.