

Физика пәні бойынша
Beyond Olympiad #2
есептер шешімдері

27 ақпан 2022

АЛҒЫСӨЗ

Сіз шешімдерді оқып, талдай бастамас бұрын, біз жұмысты бағалайтын ережелерін атап өтпекпіз:

- Қатені тасымалдау әр түрлі тармақтар аясында ғана жұмыс істейді. Егер сіз шешімде қателескен болсаңыз, онда қатеге байланысты барлық ұпайлар қате деп саналады, бірақ келесі тармақта ұпайлар алынып тасталмайды
- Қатені тасымалдау барысында алынған дұрыс емес, бірақ сіздің жұмысыңызда дұрыс болып саналатын сандық мән дұрыс болып саналады
- Егер марк-схемада өзгеше келісілмесе, жартылай балл қоя алмаймыз
- Егер сіз формуланы жазбаған болсаңыз, бірақ шешімде сіз оны қолданғаныңыз анық көрінсе, балл қойылады
- Егер балл жауаптың әріптік жазбасы және оның сандық мәні үшін бір мезгілде берілсе, онда қатысушы дұрыс теңдеуден санды дұрыс есептемеген жағдайда баллдың жартысы беріледі

Төменгі лига

1 Мұзбен ойындар (5 балл)

1. Су мен термос 0°C -қа дейін салқындаған кезде бөлінетін (0,5 балл)

$$Q_1 = c_1 \rho V_1 (t_1 - 0) + C (t_0 - 0) = 94 \text{ кДж}$$

2. Судың толық кристалдануы кезінде бөлінетін (0,5 балл)

$$Q_2 = \lambda \rho V_1 = 167 \text{ кДж}$$

3. Мұзды 0°C -қа дейін қыздырғанда жұмсалатын (0,5 балл)

$$Q_3 = c_2 m_2 (0 - t_2) = 12.6 \text{ кДж}$$

4. Мұздың толық еруі кезінде тұтынылатын (0,5 балл)

$$Q_4 = \lambda m_2 = 100 \text{ кДж}$$

жылуды табамыз

Егер мұзды қыздыру мен ерітуге кеткен энергияны суды мен термосты салқындату энергиясымен салыстырсақ: $Q_1 < Q_3 + Q_4$ (**0.75 балл**), яғни, суды салқындатқан кездегі энергия мұздың толық еруіне жетпейді. Егер мұздың толық кристалдануын қарастырсақ, онда да теңсіздік орнайды: $Q_3 < Q_1 + Q_2$ (**0.75 балл**) – мұзды қыздыру энергиясы судың толық кристалдануы мен термосты салқындату энергиясын теңестіру үшін тым аз.

Мұздың толық еруі де, судың толық кристалдануы да болмайды екен. Бұл дегеніміз $t_x = 0^\circ\text{C}$ (**1,5 балл**). Мұздың жартылай еруі кезіндегі энергияның сақталу заңын жазайық:

$$Q_1 = Q_3 + \lambda m$$

$$m = \frac{Q_1 - Q_3}{\lambda} = 0.24 \text{ кг} = 240 \text{ грамм}$$

Бұл формуланың жауабы нөлден аз болып шықса, кері процесс — кристалдану болар еді. Жауап модельге сәйкес, яғни оны дұрыс деп санауға болады.

Бұл есепті басқа да әдіспен шығаруға болады. Ол үшін

1. Су мен ерітілген мұздың және термостың 0°C ден t_1 дейін қыздырғанда жұмсалған

$$Q_5 = (c_1(\rho V_1 + m_2) + C)(t_x - 0^\circ\text{C}) \quad (0.5 \text{ балл})$$

2. Мұз бен кристалданған судың және термостың 0°C ден t_2 дейін салқындаған кезде бөлінетін

$$Q_6 = (c_2(\rho V_1 + m_2) + C)(0^\circ\text{C} - t'_x) \quad (0.5 \text{ балл})$$

жылуды табамыз

Одан кейін температураларды табамыз:

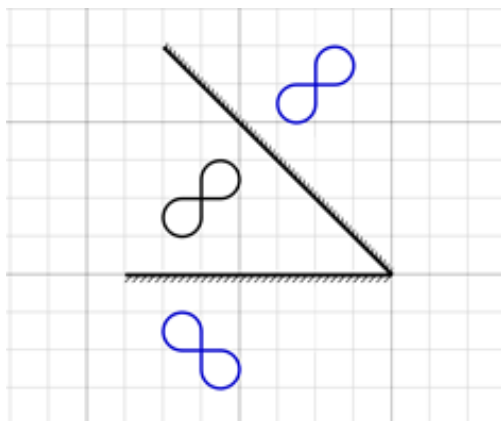
$$t'_x = \frac{Q_1 + Q_2 - Q_3}{C + c_2 m_2 + c_2 \rho V_1} = 114^\circ\text{C} \quad (0.25 \text{ балл})$$

$$t_x = \frac{Q_3 + Q_4 - Q_1}{-C - c_1 m_2 - c_1 \rho V_1} = -4.82^\circ\text{C} \quad (0.25 \text{ балл})$$

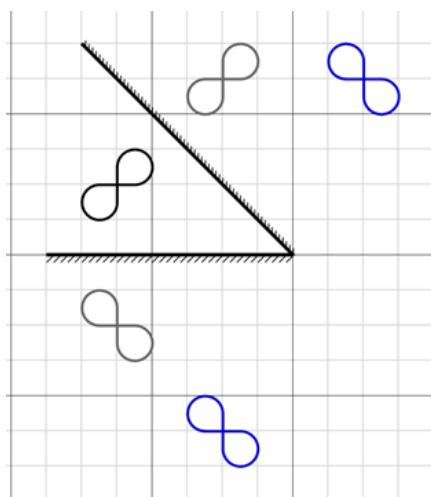
*Бірінші жағдайда жауап нөлден төмен, ал екінші жағдайда жауап нөлден жоғары болғандықтан, термостегі процесстің екі моделі қате деген қорытындыға келеміз. Қалған бір моделі мұздың жартылай еруі, яғни қоспаның температурасы $t_x = 0^\circ\text{C}$ болады (**1,5 балл**)*

2 Айналар (8 балл)

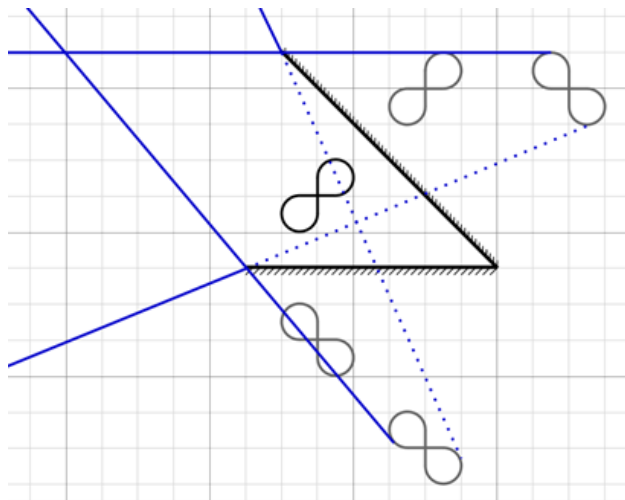
Алдымен объектінің бастапқы кескіндерін салу қажет: (әр кескін үшін 0.5 балл):



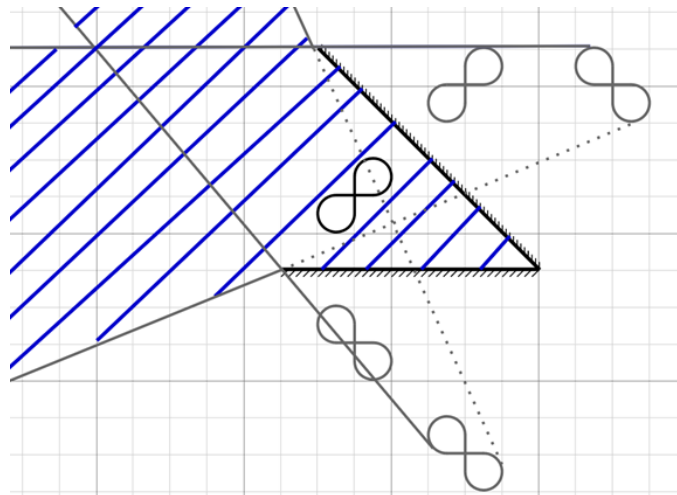
Енді кескіндерден кескіндерді саламыз. Жоғарғы тұрған айнадағы кескін төменгі тұрған айнада кескінделеді, ал төменгі тұрған айнадағы кескін жоғарғы тұрған айнада кескінделеді. (әр кескін үшін 1.25 балл)



Енді бір қосалқы кескін көрінетін аймақтың шекарасында орналасқан сыни сәуле-лерді саламыз (сәулелердің кейбіреулері нүктелі, өйткені шексіздікте бұл олардың көру өрісінің шекарасын анықтайтын айналардың шектеулері емес, айнаның бөлігі анықтайды). (әр сәуле үшін 0.75 балл)



Әрбір қосымша кескін үшін көрінетін бөліктің қиылысын бояу қалады. (1.5 балл)

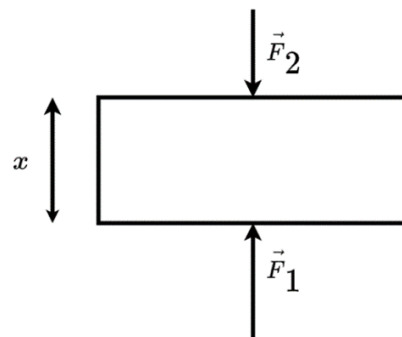


Әрбір дұрыс пункт ұқыпсыз орындалған сурет үшін (пропорциялар сақталмаған / түзу - түзу емес) немесе сызба торсыз қағазда жасалған болса, қашықтықтардың сақталмағаны үшін **0.5** коэффициентімен бағаланады.

3 Паскаль графигі (8 баллов)

Пролог. Архимед күшінің пайда болуы.

Архимед күші суға батырылған дененің үстіндегі және астындағы су қысымының айырмашылығынан туындайды. Үстіңгі беті h тереңдікке дейін суға батырылған, қима ауданы S және қалыңдығы x болатын цилиндрлік денені қарастырайық. Су оған жоғарыдан және төменнен қысым көрсетеді (пайда болатын бүйірлік қысым күші нөлге тең).



$$F_2 = p_2 S = \rho g h S$$

$$F_1 = p_1 S = \rho g (h + x) S$$

Сонда $\vec{F}_A = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ қолдана отырып, Архимед күшін табуға болады немесе егер жоғары бағытталған Oy осіндегі проекцияларды жазсақ та болады:

$$F_A = F_1 - F_2 = \rho g (h + x) S - \rho g h S = \rho g x S$$

Дененің көлемі: $V = xS$, сонда

$$F_A = \rho V g$$

Бұл енді белгілі формула. Енді тапсырманы шешуге кіріссек болады.

Шешім

Бұл тапсырмада дискінің бірнеше күйін қарастыру керек.

1. Диск түбінде жатыр, яғни дисктің астында су жоқ, $h = 0$ (**0.8 балл**), сондықтан:

$$p_w = \rho S g (H - d) \quad (0.5 \text{ балл})$$

Ньютонның 2 заңын жазайық:

$$f(h) + N = mg + p_w$$

Мында, N бұл түбіннің диска реакция күші, немесе:

$$f(h)_{max} = p_w + \rho_0 S d g \quad (0.4 \text{ балл})$$

$$f(h) \leq \rho_0 S d g + \rho S g (H - d) = F_0 \quad (0.3 \text{ балл})$$

Графикте ол нөлден F_0 -ге дейін вертикалды тік сызық ретінде болады.

Соңғы формулада \leq белгісе болмаса, сонда **-0.2 балл**

2. Диск су бағанында, $0 < h < (H - d)$ (**0.6 балл**). Бұл күйде дискке Архимед күші, ауырлық күші және динамометрдің кернеуі әсер етеді.

$$F_A + f(h) = F_T \quad (0.4 \text{ балл})$$

$$f(h) = (\rho_0 - \rho) Sdg \quad (0.4 \text{ балл})$$

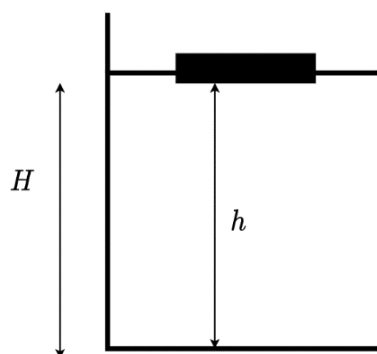
Бұл функция абцисса осіне параллель болатын тік сызық.

3. Диск ішінара суға батырылған, $(H - d) < h < H$ (**0.8 балл**). Дискіге тура сол күштер әсер етеді, тек батырылған бөліктің көлемі дискінің көлеміне тең емес екенін ескеру керек.

$$F_A = \rho g S (H - h) \quad (0.6 \text{ балл})$$

$$f(h) = (\rho_0 d - \rho (H - h)) Sg$$

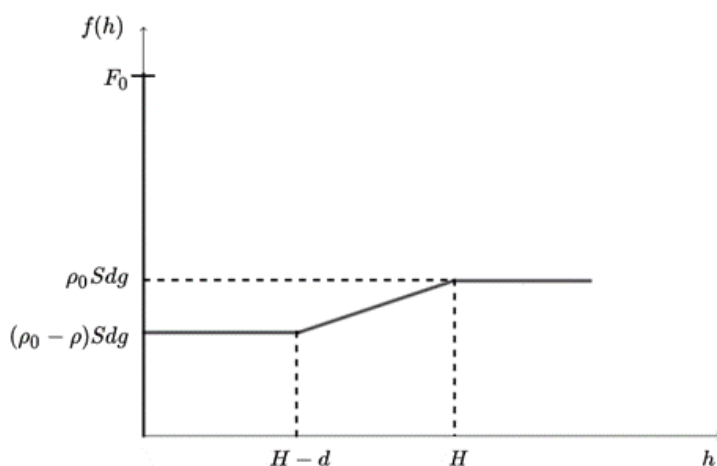
$$f(h) = (\rho_0 d + \rho h - \rho H) Sg \quad (0.6 \text{ балл})$$



Яғни, күштің мәні сызықты түрде $f(h) = (\rho_0 - \rho) Sdg$ -дан $f(h) = \rho_0 Sdg$ дейін үлкейеді

4. Диск ауада ($h > H$) (**0.8 балл**), оған тек ауырлық күші мен динамометрдің күші ғана әсер етеді, бұл дегеніміз: $f(h) = \rho_0 Sdg$ (**0.8 балл**)

Алынған шекаралық мәндерге сүйене отырып, графикті саламыз: (әрбір өткізіп алған жағдай үшін **0.25 балл**)



4 Шексіздік шек емес (9 балл)

1. R_x кедергісі R бар резисторға параллель жалғанған және тізбектің сол бөлігі R кедергісі бар резисторға тізбектей жалғанған, сондықтан тізбектің кедергісі: Осыны түрлендірсек, квадрат теңдеуге келеміз:

$$R_{AB} = R + \frac{RR_x}{R + R_x} = R_x \quad (1.5 \text{ балл})$$

Осыны түрлендірсек, квадрат теңдеуге келеміз, оның шешімі келесідей болады:

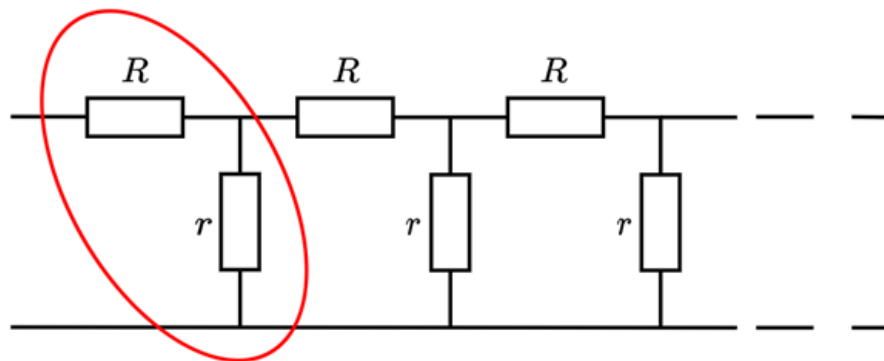
$$R_x = \frac{R}{2} (1 \pm \sqrt{5})$$

Бірақ кедергі нөлден аз бола алмайды, сондықтан:

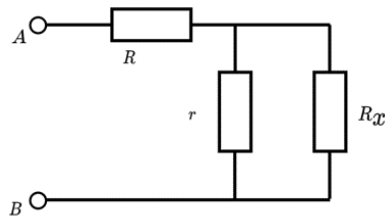
$$R_x = \frac{R}{2} (1 + \sqrt{5}) \quad (1 \text{ балл})$$

Егер соңғы жауапта \pm белгісі тұрса, онда -0.3 балл

2. Көріп отырғаныңыздай, қызыл түспен шеңберленген тізбектің бөлімі қайталанатын (0.5 балл)



$\infty - 1 = \infty$ болғандықтан, онда тізбектің қалған бөлігін алсақ, ол бастапқы тізбектің ұзындығына тең болады. Немесе егер тізбекті R_x кедергісі бар резистормен ауыстырсақ (сөзбен, формуламен немесе сурет арқылы көрсетуіңіз керек) (2.5 балл):

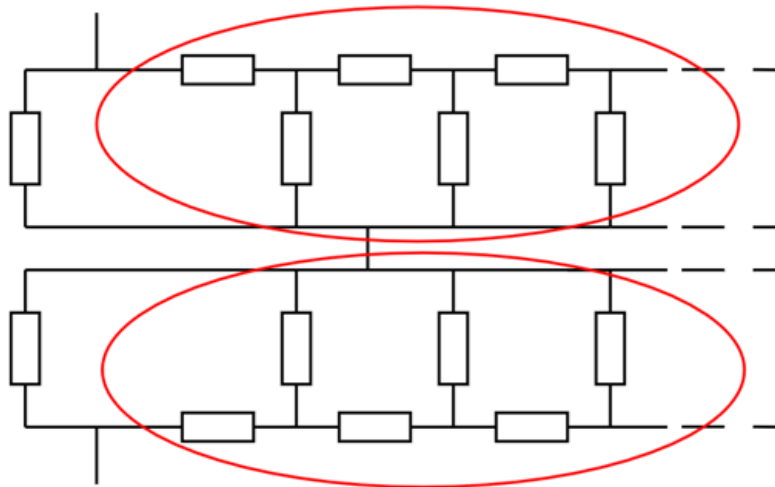


Сонда 1-ші пункттегі тізбекке жасалған есептеулерді жүргізсек болады.

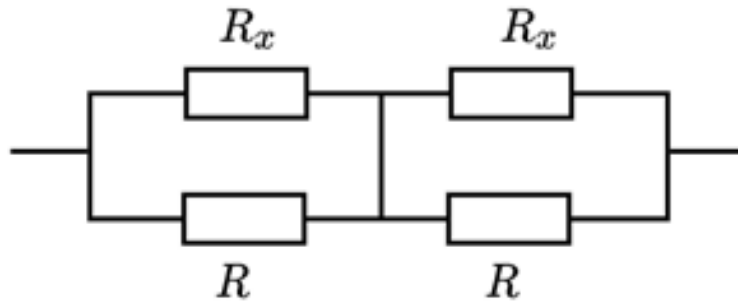
$$R_x = R + \frac{rR_x}{r + R_x} \text{ (0.5 балл)} \Rightarrow R_x = \frac{R}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4r}{R}} \right) \text{ (0.5 балл)}$$

Егер соңғы жауапта \pm белгісі тұрса, онда -0.3 балл

3. Нөлдік потенциалдар айырмасы бар нүктелерді өткізгіш бойымен ажыратуға болады, сондықтан эквивалентті тізбекті салуға болатындығы белгілі (**сурет үшін 1.5 балл**):



Қызыл түспен дөңгеленген аумақтар пункте көрсетілген шексіз тізбектерден басқа ештеңе емес, сондықтан оларды R_x кедергісі бар резисторлармен ауыстыруға болады. Содан кейін, тізбек қарапайым тізбекке дейін қысқарады. (**сурет үшін 0.5 балл**)



Бұл тізбектің кедергісі:

$$R_0 = 2 \frac{R_x R}{R_x + R} \quad (0.3 \text{ балл})$$

$$R_0 = 2 \cdot \frac{1 + \sqrt{5}}{3 + \sqrt{5}} R = (\sqrt{5} - 1) R \quad (0.2 \text{ балл})$$

Жоғарғы лига

1 Қоспа. (10 балл)

1.1 Жылуөткізгіш (4 балл)

$T_1 = 27^\circ\text{C} = 300\text{ K}$ температурасымен қабырғаның соңына соғылғанда молекула кинетикалық энергияны алады

$$\varepsilon_1 = \frac{mv_1^2}{2} \quad (0.5 \text{ балл})$$

мұндағы

$$m = \frac{\mu}{N_A} \quad (0.5 \text{ балл})$$

– молекула массасы (N_A – Авогадро тұрақтысы). Басқа қабырғаға соғылған кезде де сол сияқты $\varepsilon_0 = \frac{mv_0^2}{2}$. Молекуланың белгілі бір қабырғаға екі рет соғылуы арасындағы уақыт аралығы:

$$\Delta t = L \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_0} \right) \quad (0.5 \text{ балл})$$

Енді жылу беру қуатын есептеуге болады. Орташа алғанда, бір молекула

$$p = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_0}{\Delta t} \quad \text{қуат береді.} \quad (0.5 \text{ балл})$$

Жылу беруде

$$N = \nu N_A \quad (0.5 \text{ балл})$$

Молекула қатысқандықтан, ізделінді жауа келесідей болады (1 балл):

$$P = Np = \frac{\mu\nu}{2L} \frac{v_1^2 - v_2^2}{1/v_1 + 1/v_2} = \frac{\mu\nu}{2L} v_1 v_2 (v_1 - v_2) = \frac{\mu\nu}{2L} \left(\frac{R}{2\mu} \right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{T_1 T_0} (\sqrt{T_1} - \sqrt{T_0})$$

Сандық түрде $P = 25\text{ Вт}$ (0.5 балл).

1.2 Сырғанап соқтығысу (3 балл)

Мұнда соққы күштері рөл атқаратындықтан, цилиндрдің импульсінің және импульс моменттінің өзгеруін жазуға болады. Бағытты ескере отырып, горизонталь бағытта цилиндр импульсінің өзгеру модулі:

$$\Delta p = m(v_0 + v). \quad (0.5 \text{ балл})$$

Цилиндр сағат тіліне қарсы айналады (жағдайдағы суреттен), бұл соққы кезіндегі үйкеліс күші жоғары бағытталғанын білдіреді. Қабырғаның үйкеліс күші мен реакция күші $F = \mu N$ қатынасымен байланысты болғандықтан, онда цилиндр жоғары бағытталған $\Delta p' = \mu \Delta p$ (**0.5 балл**) импульске ие болады. Цилиндрге берілген қорытынды импульс моменті оның бұрыштық жылдамдығын өзгертуге кетеді:

$$\Delta p' \cdot R = J(\omega_0 - \omega), \quad (1 \text{ балл})$$

$J = mR^2$ қолдана отырып, $\omega_0 = v_0/R$, $v = v_0/2$

$$\omega = \frac{v_0}{R} \left(1 - \frac{3}{2}\mu\right) = \frac{v_0}{10R} \text{ екенін аламыз} \quad (1 \text{ балл})$$

Жауап оң болып шықты, бұл айналу бағытын өзгертпегенін білдіреді.

1.3 Оптоталшық (3 балл)

Сәуле жолы оң жақтағы суретте көрсетілген. Оның толық шағылуы үшін келесі шарт болуы тиіс:

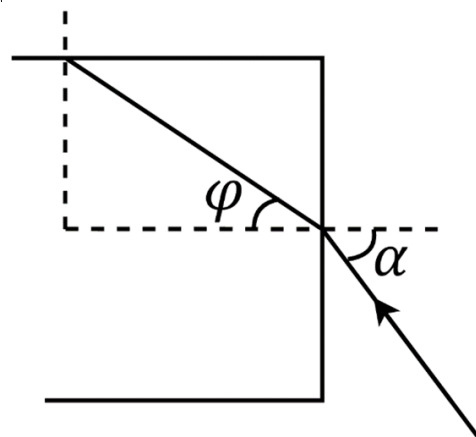
$$\sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) > \frac{1}{n}, \quad (0.5 \text{ балл})$$

Енді $\sin \alpha = n \sin \beta$ (**0.5 балл**) сыну заңын қолдана отырып, жоғарыдағы теңдеуді өрнектейміз. $\sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = \cos \varphi = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi}$ болғандықтан, онда оны орнына қоя отырып, келесіні аламыз:

$$\sin \alpha < \sqrt{n^2 - 1}. \quad (1 \text{ балл})$$

Барлық сигналды қабылдау үшін $\alpha = \frac{\pi}{2}$ (**0.5 балл**) болғаны қажет, яғни $n > \sqrt{2}$ (**0.5 балл**).

Егер бірінші сұрақтың жауабы дұрыс болса, бірақ аркфункция арқылы жазылса (нұсқалары: $\sin \alpha < n \cos\left(\arcsin \frac{1}{n}\right)$ немесе $\sin \alpha < n \sin\left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1}{n}\right)$), онда **-0.5 балл**.



2 Минималды энергия (10 балл)

1. Айналымды санақ жүйесінде допқа әсер ететін күштерді жазып алайық (шартағы суретті қараңыз). Көлденең бағыттағысы:

$$m\omega^2 r_0 = N \cos \alpha, \quad (0.5 \text{ балл})$$

Вертикалды бағыттағысы:

$$mg = N \sin \alpha. \quad (0.5 \text{ балл})$$

Айналу осінен қашықтығы $r_0 = h_0 \tan \alpha$ (0.5 балл). Бұл теңдеулерді шеше отырып, келесіні аламыз

$$h_0 = \frac{g}{\omega^2 \tan^2 \alpha}. \quad (0.5 \text{ балл})$$

Осы жағдайдағы доптың E потенциалды энергиясын есептейік. Бұл потенциалдық энергия конустың жоғарғы бөлігіне қатысты ауырлық күшінің потенциалдық энергиясы мен центрден тепкіш күш энергиясының қосындысы болып табылады.

$$E = -\frac{m\omega^2 r^2}{2} + mgh = \frac{-m\omega^2 \tan^2 \alpha}{2} h^2 + mgh. \quad (1 \text{ балл})$$

Көріп отырғаныңыздай, доптың потенциалдық энергиясы h -тің квадраттық функциясы болып табылады. Математикалық анықтамаға сәйкес, бұл өрнектің минимумы бар

$$h_0 = -\frac{mg}{2 \cdot \frac{-m\omega^2 \tan^2 \alpha}{2}} = \frac{g}{\omega^2 \tan^2 \alpha}, \quad (1 \text{ балл})$$

Бұл Ньютон заңдары арқылы шығарылған біздің шешімімізбен сәйкес келеді.

2. Спутник радиусы R дөңгелек орбита бойынша айналуы үшін оның жылдамдығы бірінші ғарыштық жылдамдыққа тең болуы керек $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ (0.5 балл). Потенциалдық энергия $\Pi = -\frac{GMm}{R}$ (0.5 балл) тең екені белгілі. Толық механикалық энергия кинетикалық және потенциалдық энергиялардың қосындысы ретінде өрнектеледі:

$$E_0 = \frac{mv^2}{2} + \Pi = \frac{m}{2} \frac{GM}{R} - \frac{GMm}{R} = -\frac{GMm}{2R}. \quad (0.5 \text{ балл})$$

Энергияның қорытынды мәні теріс екеніні көңіл аударған жөн.

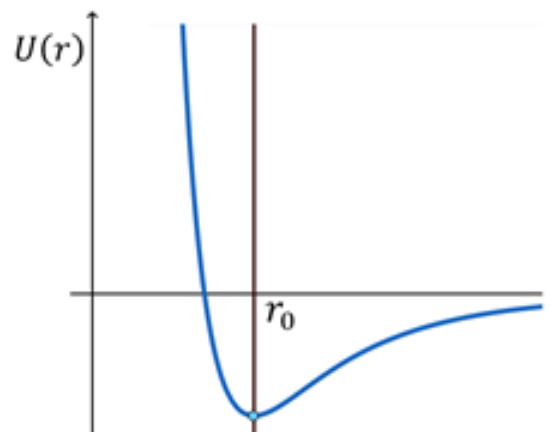
Спутник планетаның тартылыс күшін жеңуі үшін оның жылдамдығы екінші ғарыш жылдамдығынан $v > \sqrt{\frac{2GM}{R}}$ (0.5 балл) көбірек болуы керек. Жылдамдық дәл $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ тең болған жағдайда, жалпы энергияның өрнегін жазғанда $E = 0$ аламыз (себебі, екінші ғарыштық жылдамдық осы шарттан анықталады). Бұл спутниктің жалпы механикалық энергиясы теріс емес болуы керек дегенді білдіреді, яғни, $E \geq 0$ (1 балл).

3. Тепе-теңдік жағдайы молекулалардың өзара әрекеттесуінің ең аз потенциалдық энергиясына сәйкес келеді. Экстремумды алайық $\frac{dU}{dr} = 0$:

$$-12\frac{a}{r_0^{13}} + 6\frac{b}{r_0^7} = 0. \quad (0.5 \text{ балл})$$

Осыдан $r_0 = \sqrt[6]{\frac{2a}{b}}$ (1 балл).

Графикті салу үшін шартта көрсетілген функцияның кейбір ерекшеліктерін түсіну керек. Молекулалардың бір-бірінен аз арақашықтықтарында бірінші мүшесі a/r^{12} , потенциалдық энергияға үлкен үлес қосады, ал қашықтық өскен сайын потенциалдық энергия екінші мүшесі $-b/r^6$ есебінен минималды мәнге дейін төмендейді. Үлкен қашықтықта потенциалдық энергия асимптоталық түрде нөлге ұмтылады. Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, оң жақтағы суреттегідей схемалық сызбаны салайық (схематикалық сызба үшін 1 балл және r_0 белгісі үшін 0.5 балл)



3 Электрлік керу күштері (10 балл)

1. Конденсатордың сыйымдылығының дұрыс формуласын жазу жеткілікті

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}. \quad (0.5 \text{ балл})$$

Анықтамасы бойынша E келесіге тең:

$$E = \frac{U}{d}. \quad (0.5 \text{ балл})$$

2. Конденсатордың энергиясы келесі формуламен анықталады:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{2d} U^2. \quad (1 \text{ балл})$$

Көлемдік энергия тығыздығы u W -ды конденсатордың кеңістіктік көлеміне бөлу арқылы анықталады:

$$u = \frac{W}{Sd} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{2} \left(\frac{U}{d}\right)^2 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{2} E^2. \quad (1 \text{ балл})$$

Жауапты E арқылы жазу өте маңызды, өйткені бұл өрнекте конденсатордың геометриялық қасиеттерін анықтайтын параметрлер жоқ.

3. 2 пунктіндегі нәтижені қолданып, диэлектрикте жартылай тартылған конденсатордың энергиясын табайық. Конденсатор пластиналарының геометриялық өлшемдері $a \cdot b$ -ге тең болсын, ал диэлектриктің өзі конденсаторды x ұзындығы бойынша толтырады. Сонда диэлектрикпен толтырылған бөліктегі энергия тығыздығы $u_1 = \frac{\varepsilon_0}{2}(U/d)^2$ тең болады және бұл $V_1 = bxd$ көлеміне түседі. Сәйкесінше, $u_2 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{2}(U/d)^2$ -да $V_2 = b(a-x)d$ көлемі үшін болады. Сонда $W = u_1V_1 + u_2V_2$ (1 балл) немесе

$$W = \frac{\varepsilon_0 b U^2}{2d} ((\varepsilon - 1)x + a). \quad (1 \text{ балл})$$

Бұл энергияны сәл басқа тәсіл арқылы алуға болады. Мұндай конденсаторды параллель қосылған конденсаторлар түрінде көрсетуге болатынын байқауға болады, олардың бірі ауамен ($C_1 = \frac{\varepsilon_0(a-x)b}{d}$) (0.25 балл), екіншісі диэлектрикпен ($C_2 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 x b}{d}$) (0.25 балл) толтырылған. Сонда $C = C_1 + C_2$ (0.5 балл) және сәйкес энергия әдеттегідей есептеледі: $W = \frac{CU^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 b U^2}{2d} ((\varepsilon - 1)x + a)$ (1 балл).

Бұдан энергияның өзгеру жылдамдығы тең екені шығады

$$\frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\varepsilon_0 (\varepsilon - 1) b v d}{2} \left(\frac{U}{d}\right)^2. \quad (1 \text{ балл})$$

4. Кернеу күштерінің жұмысы электр энергиясын өзгертуге жұмсалады ($A + \Delta U = 0$, сыртқы жылу берілмейді):

$$pS\Delta x + (u_1 - u_2)S\Delta x = 0 \Rightarrow p = u_2 - u_1. \quad (1 \text{ балл})$$

Энергия тығыздықтарын өрнектеп, келесідей өрнекті алуға болады:

$$p = \frac{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \varepsilon_0 E^2}{2} \quad (0.5 \text{ балла})$$

Бағыт жоғары таңдалады және $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$ шартынан p -да жоғары бағытталғаны шығады (**0.5 балл**).

5. Осы тапсырмаға **4** тармағының нәтижесін қолданайық. Пайда болатын керілу күші судың гидростатикалық қысымымен теңестіріледі:

$$\rho g h = p = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} (\varepsilon - 1). \quad (1 \text{ балл})$$

Осыдан

$$h = \frac{\varepsilon_0 (\varepsilon - 1) U^2}{2 \rho g d^2} = 83.2 \text{ мкм}. \quad (1 \text{ балл})$$

Электростатикалық кернеуге байланысты судың тартылу құбылысы іс жүзінде байқалмайтынын ескеріңіз, өйткені капиллярлық эффекттердің әсері әлдеқайда жоғары (толық сулану жағдайында бірдей биіктік шамамен 15 мм болады, оны өзіңіз тексере аласыз).

Мына пунктін энергетикалық әдіспен де шешуге болады. 3 пунктіндегі W өрнегін қолданып және одан судың потенциалдық энергиясын $\rho g \cdot b d h \cdot h/2$ азайта отырып (мұнда алуымыз керек, өйткені біз конденсатордың соңғы энергиясын іздейміз, ол электр өрісінің энергиясы мен судың потенциалдық энергиясының жоғалуының қосындысына тең),

$$W' = \frac{\varepsilon_0 b U^2}{2d} ((\varepsilon - 1) h + a) - \rho g \cdot \frac{b d h^2}{2}. \quad (1 \text{ балл})$$

*Су тепе-теңдігінің шартынан осы өрнектің экстремумын $\frac{dW'}{dh} = 0$ алу керек екендігі шығады. Осыдан дұрыс жауап шығады (**1 балл**).*