«ДАРЫН» РЕСПУБЛИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ПРАКТИКАЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫ
ФИЗИКА ПӘНІ БОЙЫНША РЕСПУБЛИКАЛЫҚ ОЛИМПИАДАНЫҢ ТӨРТІНШІ (ҚОРЫТЫНДЫ) КЕЗЕҢІ (2024-2025 ОҚУ ЖЫЛЫ)
10 сынып, 1 тур

Жұмыс уақыты: 5 сағат

Есеп_1. «Қоспа» [10.0 ұпай]

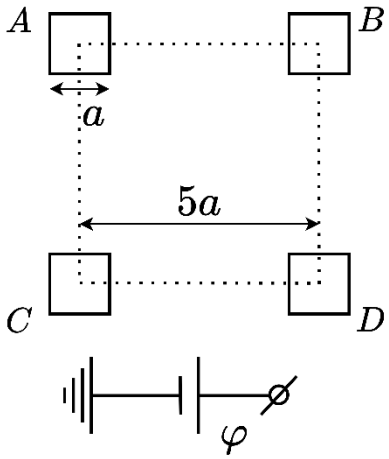
Бұл есеп бір-бірінен тәуелсіз үш бөлімнен тұрады.

1.1-бөлім. Арқанның тепе-теңдігі (3,0 ұпай)

Массасы m біртекті жұқа арқан екі шеңбердің бөліктерінен жасалған тегіс төбешікте ұсталып тұрады. Сол жақ шеңбердің радиусы R, ал арқан оған вертикальдан α бұрышпен бағытталған доғаны құрайды ($\cos\alpha = 1/2$). Оң жақ шеңбердің радиусы $10R$. Шеңберлер бекітілген төбешіктің ең биік нүктесінде, екеуіне де жүргізілген жанамалар сәйкес келеді және олар горизонталь болып табылады. Арқанның ұштары бірдей биіктікте орналасқан. Арқан босатылғаннан кейін бірден үдеуді табыңыз. Қай нүктеде арқанның максималды керілуі орын алады? Бұл керілу неге тең?

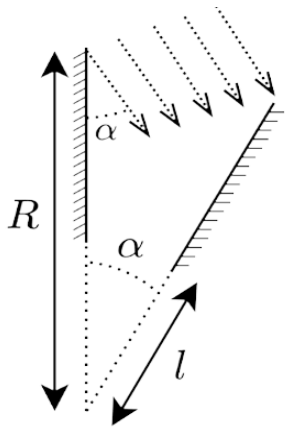
1.2-бөлім. Куб зарядтаушы (3,5 ұпай)

Қабырғалары a болатын төрт бірдей өткізгіш текшелерді, суретте көрсетілгендей олардың центрлері қабырғасы $5a$ болатын (A, B, C, D) квадратты құрайтындай етіп орналастырылған. Бастапқыда барлық текшелер бейтарап болды. A текшесін суреттегі тізбекке қосып, батареяның φ потенциалына дейін зарядтайды, содан кейін тізбектен ажыратады. Басқа текшелермен алфавиттік ретпен (B, C, D) дәл осылай жасайды. Тізбек өшірілген кезде, ол жүйеге ешқандай әсер етпейді деп есептеңіз. Зарядтағаннан кейін A, B, C текшелерінің зарядтары сәйкесінше Q_A, Q_B, Q_C болады. D текшесінің заряды неге тең? Егер текшелерді (A, D, B, C) ретімен зарядтаса, онда D текшесінің заряды қандай болар еді (қалған зарядтарды белгілі деп есептеңіз)?



1.3- бөлім. Қос айна (3,5 ұпай)

Екі жазық бірдей тікбұрышты айналар қосқабырғалы α бұрышын құрайды, оң жақтағы суретті қараңыз. Айнаның бір жағы шексіз (суретке перпендикуляр), екінші жағының ұзындығы R. Бұрыштың төбесінен бастап, біз l ұзындықтағы айналардың бөліктерін алып тастаймыз (сәулелер алынған бөліктер арқылы өтуі мүмкін). Суретте көрсетілгендей, айнаның бір жағына α бұрышынпен сәулелер жіберіледі. $k_{min} = l/R$ қатынасының қандай минималды мәнінде, барлық сәулелер айнаның алынған бөлігі арқылы шығады? k_{min} мәнінде бір сәуле екі айнадан да шағылысуының максимальды саны қанша? Есептің барлық бөліктерінде $\alpha = \pi/32$ деп есептеңіз.



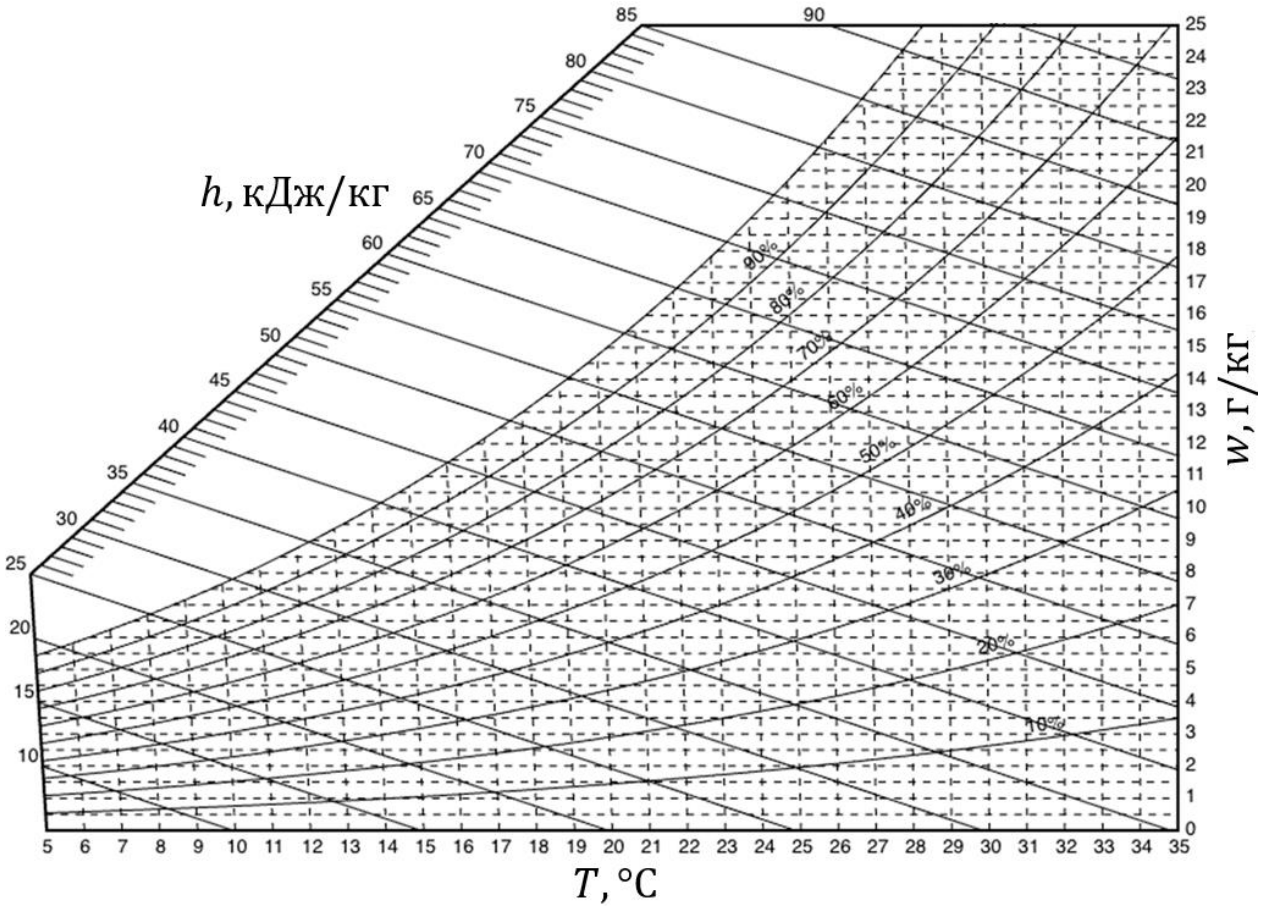
Есеп _2. Ауаны кондиционерлеу жүйесін жобалау [10,0 ұпай]

Бұл есепте біз ауаны кондиционерлеу жүйесін жобалау үшін термодинамика тұжырымдамаларын қолданамыз. Ауаны кондиционерлеу жүйесінің мақсаты – бөлмедегі адамдардың жайлылығы үшін бөлмені $T_{IA} = 24°\text{C}$ тұрақты температурада және $\varphi_{IA} = 50\%$ салыстырмалы ылғалдылықта ұстап тұру болып табылады. Сыртқы шарттар $T_{OA} = 32°\text{C}$ және $\varphi_{OA} = 40\%$ құрайды. Төменде, T ылғалды ауа температурасы, оның w ылғалдылықмөлшері (құрғақ ауа массасының бірлігіндегі судың массасы), ауаның φ салыстырмалы ылғалдылығы және оның h меншікті энтальпиясы арасындағы байланысты графиктік түрде көрсететін психрометриялық диаграмма берілген. Тұрақты салыстырмалы ылғалдылық сызықтары қисық сызықтармен, ал салыстырмалы ылғалдылық пайызбен көрсетілген. Тұрақты энтальпия сызықтары көлбеу түзулермен, тұрақты ылғалдылық мөлшерінің сызықтары горизонталь түзулермен, ал тұрақты температура сызықтары - вертикаль түзулермен берілген.

Анықтама: Энтальпия – бұл күй функциясы, және ол келесі түрде анықталады:

$$H = U + PV,$$

мұндағы — U ішкі энергия, P — қысым, V — көлем. Диаграмманың сол жағында h меншікті энтальпия осі орналасқан, яғни энтальпияның құрғақ ауа массасының бірлігіне $h = \Delta H/\Delta m$ қатынасынікі.



2.1. Диаграмманы пайдаланып, сыртқы ауаны T_{IA}-ге дейін салқындатсақ, салыстырмалы ылғалдылық қандай болатынын анықтаңыз.

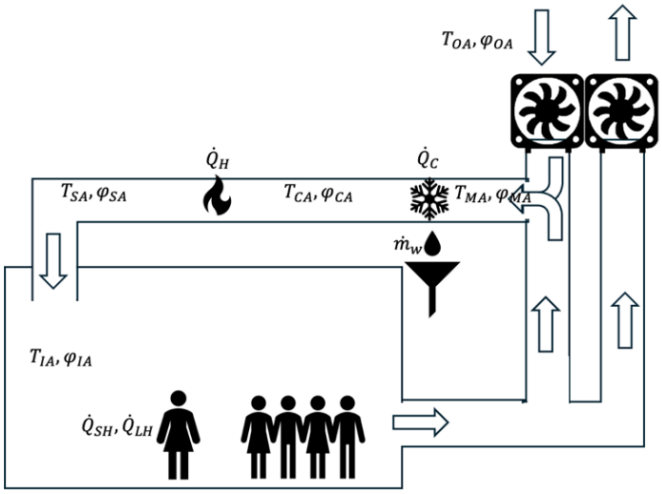
2.2. Психрометриялық диаграмманы пайдаланып, w_{OA} сыртқы және w_{IA} ішкі ауаның ылғалдылық құрамын табыңыз.

2.3. Энтальпия әдетте процестегі жылу мөлшерін анықтау үшін қолданылады. Процесті изобарлық (P қысым) деп есептеп және энтальпиясы H_1 күйден энтальпиясы H_2 күйге ауысу орын алады деп, жүйеге қосылған Q жылу мөлшері үшін өрнекті қорытып шығарыңыз.

Әрі қарай, біз барлық процестер изобарлық және атмосфералық қысымда жүреді деп есептейміз.

2.4. Диаграмманы пайдаланып, құрғақ ауаның c_A меншікті жылусыйымдылығын анықтаңыз.

2.5. Диаграмманы пайдаланып, судың L меншікті булану жылуын анықтаңыз.



Біз кондиционерді жобалайтын бөлмеде $n = 30$ адам бар. Санитарлық нормаларды қамтамасыз ету үшін әр адам $\dot{V}_H = 8\ л/с$ таза (сыртқы) ауа алуы керек. Ауаны салқындату үшін қажетті энергия мөлшерін азайту үшін таза сыртқы ауа бөлмеден қайтарылатын ауамен 1:3 қатынасында араласады. Содан кейін аралас ауа салқындатқыш жыланша арқылы өтеді, онда ол T_{CA}-ге дейін салқындатылады; судың бір бөлігі конденсацияланады (сіз кондиционерлерден осындай судың ағып кетуін байқаған боларсыз). Осыдан кейін ауа қыздыру жыланшасы арқылы T_{SA}-ге дейін қызады және бөлмеге беріледі. Жеңілдету үшін ауаның тығыздығы бүкіл жүйеде тұрақты болып қалады және $\rho = 1.23\ кг/м^3$ тең деп санауға болады Адам ағзасы қоршаған ауамен жылу алмасу арқылы $\dot{Q}_{SH} = 80$ Вт жылу және тердің булануы арқылы $\dot{Q}_{LH} = 80$ Вт жылу шығарады.

2.6. Аралас ауа үшін T_{MA}, w_{MA} шамалары үшін теңдікті қорытып шығарыңыз және олардың мәндерін табыңыз.

2.7. T_{SA}, w_{SA} шамалары үшін теңдікті қорытып шығарыңыз және олардың мәндерін табыңыз.

2.8. T_{CA}, φ_{CA} табыңыз.

2.9. Су конденсациясының $\dot{m}_w$ жылдамдығын табыңыз.

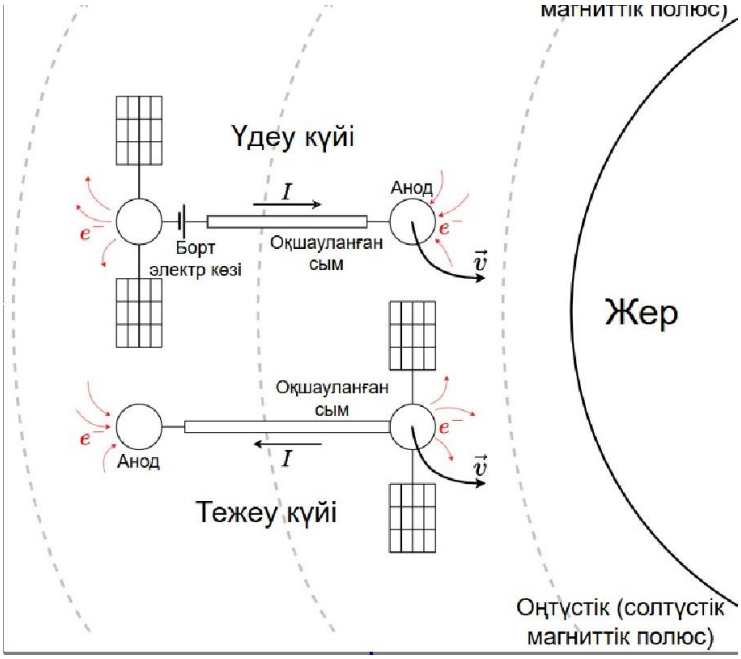
2.10. Салқындатқыш жыланша алып кететін $\dot{Q}_C$ жылу мөлшерін табыңыз.

2.11. Қыздырғыш жыланша беретін $\dot{Q}_H$ жылу мөлшерін табыңыз.

2.12. Егер салқындатқыш жыланшаның температурасы T_{CA} деңгейінде сақталса және қыздырғыштың температурасы T_{OA} болатын Карно тоңазытқышы сияқты жұмыс істесе, салқындатқыш жыланша тұтынатын толық қуатты табыңыз.

Есеп _3. Электрдинамикалық ғарыштық трос [10,0 ұпай]

Бұл есеп кейбір тәжірибелік ғарыштық миссияларда қолданылатын электрдинамикалық ғарыштық тросге арналған – Жердің магнит өрісімен және ионосфералық плазмамен өзара әрекеттесуінің арқасында орбитаны төмендету арқылы электр энергиясын өндіре алатын немесе борттық көздің электр энергиясы есебінен тарту күшін жасай алатын спутникке байланған ұзын өткізгіш кабель.



Электрдинамикалық ғарыштық трос оң жақтағы суретте көрсетілген принцип бойынша жұмыс істейді. Жасанды серік (спутник) радиусы $R_E = 6370$ км болатын Жерден оның магниттік экватор жазықтығында $h = 350$ км биіктікте айналады, мұндағы магнит өрісінің мәні $B = 2.5 \cdot 10^{-5}$ Тл және Жер бетіне параллель, жасанды серіктің қозғалысына көлденеңінен бағытталған; жасанды серіктің бүкіл траекториясында $B = \text{const}$ деп есептеңіз. Жасанды серік $L = 20$ км ұзындықтағы өткізгіш кабельді тиісінше үдеу және тежеу күйлерінде төмен немесе жоғары қарай радиалды түрде кері қайтара (бұра) алады; трос керілуді де, сығылуды да сезінуі мүмкін, бірақ иілуі немесе ұзындығын өзгертуі мүмкін емес. Кабельдың соңындағы анод ионосферадан электрондарды жинайды, олар сым арқылы ағып, Жердің магнит өрісімен әрекеттеседі және жасанды серіктің өзінде шығарылады. Үдеу күйінде борттық кернеу көзімен қамтамасыз етілетін ток бағытын "кері қайтару" қажет екенін ескеріңіз. Тросқа қойылатын негізгі талаптар оның жоғары электрөткізгіштігі және төмен тығыздығы болып табылады, сондықтан осы есеп аясында тростың массасын, $m_1 = 500$ кг жасанды серік пен $m_2 = 100$ кг анодтың массаларымен салыстырғанда, ескермеуге болады деп санаңыз. Жер бетіндегі еркін түсу үдеуі $g = 9.8$ м/с^2.

Троспен серік динамикасы

Жасанды серік h биіктігінде болған кезде троспен анодты $h - L$ биіктігіне кері қайтара алатын, жасанды серіктің үдеу күйіндегі қозғалысын қарастырайық. Бұл бөлімде Жердің магнит өрісінің әсерін ескермеңіз, сонымен қатар қарапайымдылық үшін троспен анодты кері қайтарған кезде радиалды тербелістер мен жасанды серіктің радиалды күйінің өзгеруін ескермеңіз (яғни, жасанды серік **3.8** пункттен басқа пункттерде әрқашан h биіктігінде болады). $|x| \ll 1$ болған кезде $(1+x)^n \approx 1 + nx$, және $\sin x \approx x$ екені белгілі.

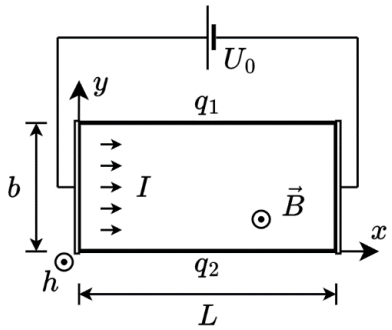
3.1. Жер маңындағы троспен жасанды серіктің бұрыштық айналу жылдамдығының салыстырмалы өзгерісі $\Delta\Omega/\Omega_0 \approx \alpha \cdot L/(R_E + h)$ түрінде болады, мұндағы Ω_0 тросыз жасанды серіктің айналуына сәйкес келеді. m_1 және m_2 арқылы α мәнін анықтаңыз. $\Delta\Omega$ айырымын **3.1-3.3** қоспағанда, барлық жерде ескермеуге болады.

3.2. Тростың керілу күші $T \approx \mu\Omega_0^2 L$. m_1 және m_2 арқылы μ мәнін анықтаңыз, сондай-ақ T-ны есептеңіз. Егер сіз μ-ды таба алмасаңыз, оны **3.3**-те қолдануға болады.

3.3. Жасанды серіктің өзінің орбита жазықтығындағы массалар центрінің айналасындағы шағын айналмалы тербелістерінің ω циклдік жиілігін Ω_0 арқылы анықтаңыз. Тербеліс периоды неше минутты құрайды?

Холл эффектісі және Фарадей заңы

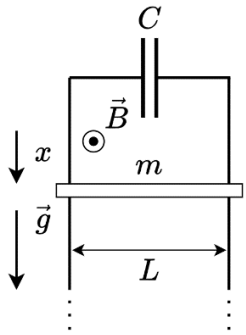
Өткізгіш тростың магнит өрісімен өзара әрекеттесу механизмін тереңірек түсіну үшін, екі қарапайым мысалды қарастыруды ұсынамыз, бірақ оларда электромагниттік эфектілердің шығу тегінің біртұтастығы бар.



z осінің бойымен бағытталған $\vec{B}$ біртекті магнит өрісінде орнласқан, сәйкесінше x, y және z бағыттарында сызықтық өлшемдері $L \times b \times h$ (және де $b \ll L, h$) болатын өткізгіш жолақты қарастырайық (суретті қараңыз). yz жазықтығындағы қырлары арқылы U_0 потенциалдар айырымын өткізеді, нәтижесінде қандай-да бір I электр тогы өтеді. Магнит өрісі болған кезде Холл эффектісі байқалады: Лоренц күшінің әсерінен өткізгіш электрондар қисайып, xz беттерінде жинақталып және нәтижесінде магнит күшіне қарсы көлденең электр өрісінің пайда болып, y осінің бойында U_y потенциалдардың көлденең айырымының пайда болуы. Өткізгіш материалдың меншікті кедергісі келесіге ρ-ға, ал өткізгіштегі өткізгіш электрондардың концентрациясы n-ға тең болсын.

3.4. U_y көлденең кернеу мәнін анықтаңыз.

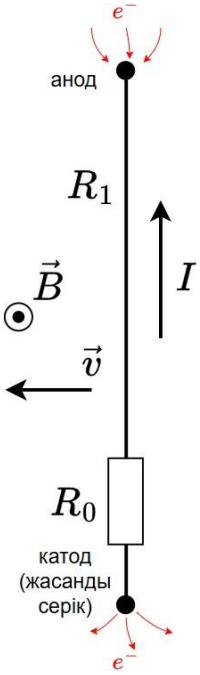
3.5. Сәйкесінше xz жоғарғы және төменгі қырларында қандай q_1 және q_2 зарядтары жиналатынын таңбасымен бірге көрсетіңіз.



Перпендикуляр біртекті $\vec{B}$ магнит өрісінде, сыйымдылығы C болатын конденсаторға, жеткілікті түрде ұзын екі вертикаль қосқыш арқылы $\vec{g}$ ауырлық өрісінде вертикаль төмен сырғи алатын массасы m және ұзындығы L болатын металл стержень қосылған жүйені қарастырайық. В Бастапқы сәтте стерженнің x координатасы нөлге тең болды, ал стержень тыныштықта болды, содан кейін оны босатады. Кедергіні ескермеңіз.

3.6. Стерженнің $x(t)$ қозғалыс теңдеуінің t уақыттан тәуелділігін анықтаңыз.

Тежеу күйі, немесе тросс қуат генераторы ретінде

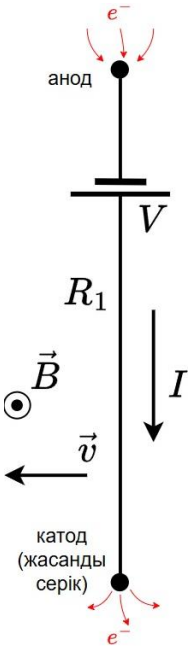


Тежеу күйінде жасанды серік Жердің магнит өрісімен әрекеттесуі арқылы өзінің толық механикалық энергиясын азайтып, соның есебінен электр энергиясын жинақтай алады. Бұл жағдайда ол ашық электр тізбегін құрады: магнит өрісінен пайда болған тростағы кернеу анодтағы ионосферадан электрондар жиынтығы арқылы I токты генерациялайды және өндірілген P қуаты борттық жүктемеде R_0 кедергісімен тудырылады. Бұдан былай катод пен анодтағы плазма қабатына және жүйенің электр сыйымдылығына байланысты кернеудің төмендеуін, сондай-ақ **3.9**-пунктті қоспағанда, ауаның кедергісін ескермеңіз.

3.7. Тростың қимасының ауданы $S_0 = 6\ \text{мм}^2$ және меншікті кедергі $\rho = 2.5 \cdot 10^{-8}$ Ом · м болған кзде R_0 кедергісі қандай мәнінде P қуат максимальды болады? $P_{\max}$ сандық мәні неге тең және бұл жағдайда η пайдалы әсер коэффициенті қандай?

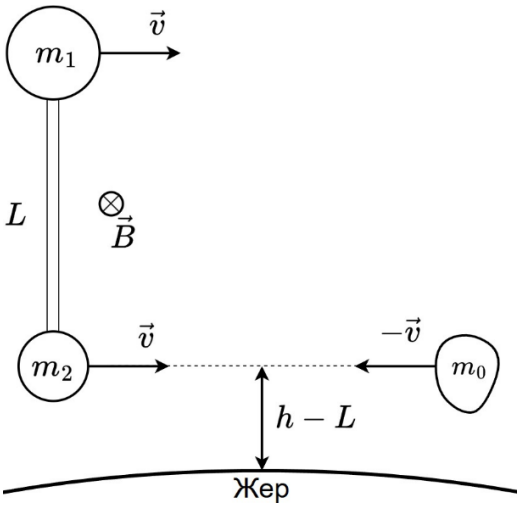
3.8. Сіз **3.1**-**3.2** пункттерде анықтаған тросы бар спутниктің параметрлері, сондай-ақ **3.7** тізбегінің конфигурациясы жағдайында жасанды серіктің Жер бетіне қанша τ уақытан кейін соғылатынын анықтаңыз. Қарапайымдылық үшін орбиталық қозғалысты есептеу кезінде тростың ұзындығын $L = 0$ және $\Omega_0\tau \gg 1$ деп есептеңіз. *Кеңес*: $\int \frac{dx}{x} = \ln|x| + C$.

Үдеу күйі, немесе орбитаны түзету



Жасанды серік үдеу күйінде V борттық кернеудің есебінен (бұл жағдайда R_0 борттық жүктемесі алынып тасталады) ток бағытын кері қайтара алады, оның орбитасын түзетуге қабілетті үдеу күшін тудырады. Анодты жасанды спутникті, диаметрлері сәйкесінше $D = 4$ м және $d = 0.6$ м болатын екі сфера ретінде геометриялық түрде қарастырыңыз; тростың фронтальды қимасын және жасанды серіктің массалар центріне қатысты ауадан пайда болатын күш моментін ескермеуге болады. Қарапайымдылық үшін орбиталық қозғалыс пен атмосферамен өзара әрекеттесуді есептеу кезінде тростың ұзындығын $L = 0$ деп алыңыз. Жасанды серіктің ұшуы үшін қарастырылатын биіктіктер шегінде термосфераның төменгі қабаттарындағы ауа қысымының биіктікке тәуелділігі $P(h) = P_0(1 - h/h_0)$ аппроксимацияға (жуықтауға) ие, мұндағы $P_0 = 1.14 \cdot 10^{-4}$ Па және $h_0 = 457$ км. Атмосфераның сол қабаттарында ауаның молярлық массасы $\mu = 24$ г/моль. Универсал газ тұрақтысы $R = 8.314$ Дж/(К · моль), термосфераның төменгі қабатының температурасы күн радиациясына байланысты өте жоғары және ол орташа есеппен $T_0 = 700°$C құрайды.

3.9. Жасанды серік ауа молекулаларымен соқтығысуы серпімсіз деген болжаммен $h = 350$ км биіктікте анодты спутниктің F кедергі күшін сандық түрде есептеңіз. Жасанды серіктің h биіктігін тұрақты ұстап тұру үшін V_0 борттық кернеудің сандық мәні қандай болуы керек? Болашақта қарапайымдылық үшін Сіз v-ны V_0 және басқа да белгілі параметрлер арқылы өрнектей аласыз.



Электрдинамикалық ғарыш тросы ғарыш қоқыстарының орбитасынан төмен жер маңындағы орбитасына түсуі үшін қажет жоғары тиімді қозғалтқыш жүйесі ретінде перспективалы болып табылады. Біздің жасанды серіктің электрдинамикалық троспен соқтығысу моделін қарастырайық, онда анодқа қарай бірдей жылдамдықпен массасы m_0 болатын ғарыш қоқысы ұшып келеді (анод пен жасанды серік жылдамдығының айырмашылығы ескермейтіндей аз деп есептеңіз). Анодтың арнайы қорғаныс механизмі қоқысты зақымдамай ұстайды (серпімсіз соқтығысу) және оны бірден босатады, бұл оны орбиталық жылдамдықпен төмен ұшуға мәжбүр етеді.

3.10. Қоқыс Жерге құлайтын кезде оның массасының $m_0 = m_{\max}$ максимальды және $m_0 = m_{\min}$ минимальды мәндері неге тең? Атмосферадағы ауаның кедергісін ескермеуге болады; жасанды серіктің одан ары қарайғы қозғалысы туралы алаңдамаңыз.

Сіз **3.10**-да алған жауабыңызға қарамастан, ғарыштық қоқыстардың жоғарғы шегі тым шектеулі, өйткені жасанды серік соқтығысқаннан кейін орбитасын қалпына келтіруі керек. **3.11** және **3.12** -пункттерде $m_0 = 1$ кг деп есептеңіз.

3.11. Анодпен соқтығысқаннан кейін жасанды серік айналады. Борттық кернеудің $V = 7.5$ кВ мәнінде, айналуды тоқтату үшін соқтығысқаннан кейін бірден электр тізбегін қосатын Δt_1 уақытты есептеңіз. Бастапқы бұрыштық күйге оралуды қарастырудың қажеттілі жоқ; $\Omega_0 \Delta t_1 \ll 1$ деп есептеңіз.

3.12. Борттық кернеудің $V = 7.5$ кВ мәнінде, ілгерілемелі жылдамдықты v-ға дейін кері қайтару үшін, соқтығысқаннан кейін бірден электр тізбегін қосатын Δt_2 уақытты есептеңіз. Айналмалы қозғалысты ескермеңіз; $\Omega_0 \Delta t_2 \ll 1$ деп есептеңіз.