

Almaty Physics Battles 2024

Іріктеу кезеңі

Жоғарғы лига

12-19 мамыр 2024

ЕСЕП АВТОРЛАРЫ: Еркебаев А., Қайроллаев Е., Бисимби Д.

БЕТТЕУ: Еркебаев А., Қайроллаев Е.

БЕЙНЕ ҚҰРАСТЫРУШЫЛАРЫ: Еркебаев А., Қайроллаев Е., Бисимби Д.

АУДАРМАШЫЛАР: Нахып Е., Сұраған Қ., Маликов А.

Мазмұны

| | Жоғарғы лига есептері | Есептер | Шешімі |
|-----|------------------------------|----------------|---------------|
| 1. | Карусель | 3 | 10 |
| 2. | Ары-бері | 3 | 10 |
| 3. | Аға электрик Арсен | 4 | 12 |
| 4. | С–F–С–М | 5 | 13 |
| 5. | Телескоп | 6 | 14 |
| 6. | Цилиндр | 7 | 15 |
| 7. | Өз басыңнан соқ ***** | 7 | 16 |
| 8. | Сызықтық процесс | 8 | 18 |
| 9. | Соленоид-аккордеон | 8 | 19 |
| 10. | Елес кептеліс | 9 | 20 |

Жоғарғы лига есептері

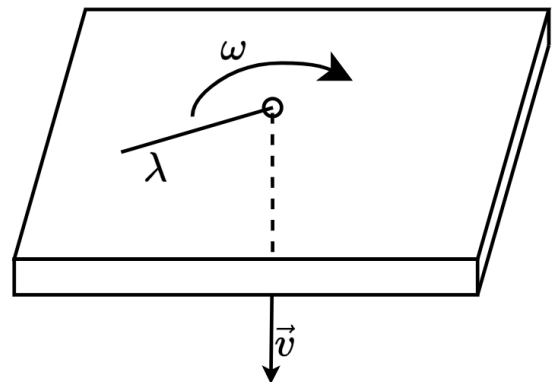
Есеп 1: Карусель (Еркебаев А.)

Дене радиусы $R = 1$ м шеңбер бойымен тұрақты бұрыштық үдеумен $\beta = \pi/4$ с⁻² қозғала бастады.

1. Қозғалыс басталғаннан кейін, қанша уақытта t_1 дене бірінші толық айналымын жасайды?
2. Қай n айналымнан кейін, дене толық айналымды 1 секундтан аз уақытта өтеді?
3. Қозғалыс басталғаннан кейін, неше секундта t_2 дененің толық үдеуі мен оның қозғалыс бағыты векторларының арасындағы бұрыш 45° тең болады? Жауапты жүздіктерге дейін дөңгелектеңіз.

Есеп 2: Ары-бері (Қайроллаев Е.)

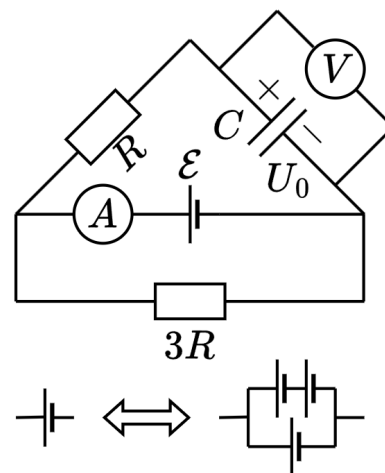
$T = 1440$ Н кернеуіне төтеп беретін салмақсыз жіп үстелдегі тесік арқылы өткізіледі және $\omega = 1.5$ рад/с бұрыштық жылдамдығымен осьті айналады. Жіптің ұшына массасы $m = 5$ кг дене бекітілген. Даниал жіптің екінші ұшын айналып жатқан бөліктің ұзындығы $v = 0.5$ м/с жылдамдықпен қысқаруы үшін тартады. $t = 0$ уақытында тесік астындағы жіптің ұзындығы нөлге тең болды.



1. $t = 2$ с уақыт өткеннен кейін бұрыштық жылдамдықтың неше есе өсетінін табыңыз.
2. Неше секундтан кейін жіп үзіледі?
3. Егер жіптің орнына сызықтық тығыздығы $\lambda = 0.5$ кг/м арқан болса, 2 тармақтың жауабы қалай өзгереді? Қайталап айтамыз, **бұл тармақта жүк жоқ**. Жауабыңызды секунд түрінде беріңіз және ондық бөлшекке дейін дөңгелектеңіз.

Есеп 3: Аға электрик Арсен (Ержебаев А.)

Оң жақтағы суретте көрсетілген схемада бірлік кедергінің мәні $R = 100$ Ом, конденсатордың сыйымдылығы $C = 100$ мкФ және ЭҚК шамасы $\mathcal{E} = 12$ В. Өлшем құралдарын мінсіз, ал кернеудің ішкі кедергісі R -дан әлдеқайда аз деп есептеңіз. Алдымен конденсатор $U_0 = \mathcal{E}/3$ шамасында зарядталып, контурға қосылған.



1. Конденсаторды тізбекке жалғағаннан кейін, амперметрдің ток күші бірден қандай мәнге тең болады? Жауапты амперде көрсетіңіз.
2. Конденсатор толық зарядталғаннан кейін ЭҚК арқылы қандай Δq заряд өтеді? Жауабыңызды милликулонда беріңіз. [мКл]

Аға электрик Арсен схемада орналасқан кернеу көзіне ұқсас тағы екі кернеу көзін тапты. Конденсатордағы кернеуді арттыру үшін ол осы екі көзді үшіншіге қосуға талпынды, бірақ шамалы қателік жіберіп, нәтижесінде кернеу көздерінің қосылуы суреттің төменгі оң жақ бөлігіндегідей болып шықты.

3. Тізбектегі конденсатор толығымен қайта зарядталғаннан кейін, вольтметрдегі жаңа кернеу нешеге тең болады? Жауабыңызды вольтпен көрсетіңіз.

Есеп 4: C–F–C–M (Қайроллаев Е.)

Әрине, тақырыпты оқығаннан кейін сіз әйгілі Гаусстың сантиметр-грам-секунды магниттік жүйесінің кеңейтімімен жұмыс істейміз деп ойлауыңыз мүмкінсіз. Дегенмен, оның аббревиатурасы “СГСМ” деп жазылған және мұқият оқырмандар аббревиатурадағы әріптер арасындағы н-сызығын (дәлірек “n-dash”) байқаған, ол шын мәнінде “су сиыры–ғажайып балық–скорпион–магнетизм”. Төменде осы жүйенің негізгі бірліктері берілген:

- Су сиырының орташа массасы [сом] — $m_u = 1480$ кг;
- Ғажайып балықтың ұзындығы [ғбұ] — $l_u = 1.4$ м;
- Scorpions рок группаның бірінші өленнің ұзындығы 292 секунд [бөұ] — $t_u = 292$ с;
- Магниттік тұрақты 1 (өлшемсіз).

Бұл есепте кейбір физикалық шамалар үшін СИ мен C–F–C–M арасындағы байланысты қарастырамыз. **Назар аударыңыз:** $a \cdot 10^k$ стандартты түрінде сандарды жазыңыз, мұнда $1 \leq a < 10$, k - бүтін сан. Барлық элементтерде дөңгелектеу ережелерін қолдана отырып, a санын үтірден кейін **үш** цифрға дейін дәл көрсетіңіз; Енгізілген жауап тек *шамамен* дұрыс болса, бұл тармақ үшін 50% дейін шегерілуі мүмкін.

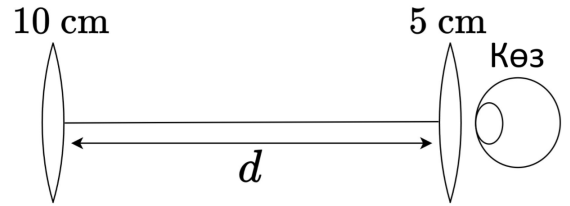
1. Сутегінің массасын ($1.6726 \cdot 10^{-27}$ кг) [сом] арқылы шығарыңыз;
2. Ауырлық күші үдеуін (9.81 м/с²) [ғбұ/бөұ²]-те жазыңыз;
3. Вейдер күш бірлігін C–F–C–M арқылы Ньютонмен өрнектеңіз. Басқаша айтқанда, бір Вейдерге қанша Ньютон кіреді?

Бейонд — C–F–C–M-дегі токтың өлшем бірлігі, анықтамасы бір-бірінен 1 ғбұ қашықтықта орналасқан екі жұқа параллель шексіз сымдар бір-біріне $F = 2\pi$ вдр/ғбұ күшімен тартылу керек ток мөлшері. Магниттік тұрақты СИ жүйесінде $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн · м⁻¹ тең.

4. Бір Бейондта қанша ампер бар?

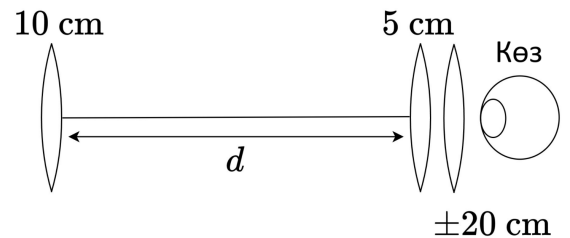
Есеп 5: Телескоп (*Бисимби Д.*)

Фокустық арақашықтығы 5 см және 10 см болатын екі жинақтаушы линзадан тұратын қарапайым телескопты қарастырайық, өте алыста орналасқан заттан бөлінетін сәуле сол жақтағы фокустық арақашықтығы 10 см болатын линзаға түседі. Адам оң жақ линзаға тура қарайды. Көз оң жақтағы линзаға өте жақын тұрғанын және көздің тырыспай тұрғанын ескеріңіз. Көз жақын объектілерге назар аудару үшін тырысып жиырылады, бірақ адам көкжиекке қараған кезде немесе өте алыстағы объектіні анық көргенде, көз тырыспайды.



1. Телескопта көрінетін сурет анық болу үшін фокустық арақашықтығы 5 см оң жақтағы линзаны сол жақтағы линзадан қандай арақашықтықта орналастыру керек?

Жақыннан көрмейтін немесе алыстан көрмейтін адамдар телескоп арқылы анық кескінді көру үшін, телескопты күйге келтіру керек. Жақыннан көрмейтін адамның жағдайын елестету үшін фокустық арақашықтығы 20 см жинақтаушы линзаны көз бен телескоптың оң жақтағы линзасы арасында орналастырамыз.



2. Енді, оң жақтағы линза сол жақтағы линзадан қандай арақашықтықта орналасу керектігін табыңыз.

Алыстан көрмейтін адамның жағдайын елестету үшін фокустық арақашықтығы 20 см диверсиялық линзаны көз бен телескоптың оң жақтағы линзасы арасында орналастырамыз.

3. Енді, осы жағдайда оң жақтағы линза сол жақтағы линзадан қандай арақашықтықта орналасу керектігін табыңыз.

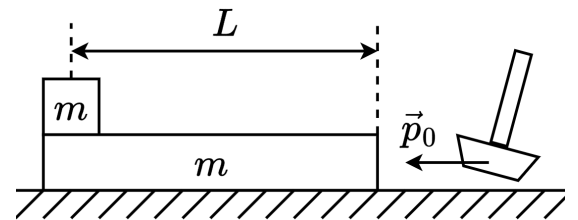
Есеп 6: Цилиндр (*Бисимби Д.*)

Біртекті сызықты оң зарядталған $\gamma = e \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$ шексіз қуыс цилиндрдің айналасында электрон шеңбер орбитасымен қозғалып жатыр. Элементар заряд $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, электрон массасы $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, электрлік тұрақты $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$. Цилиндр радиусы $R_0 = 1 \text{ мкм}$.

1. Цилиндр осінен $R_1 = 100 \text{ мкм}$ қашықтықтағы электр өрісінің кернеулігін табыңыз.
2. Электронның жылдамдығын табыңыз.
3. Электрон орбитасының минимальды радиусы нешеге тең?
4. Қандай максимальды $q \geq 0$ зарядталған бөлшекті шексіздіктен цилиндр осінен R_1 қашықтығына жылжытуға болады?

Есеп 7: Өз басыңнан соқ ********* (*Еркебаев А.*)

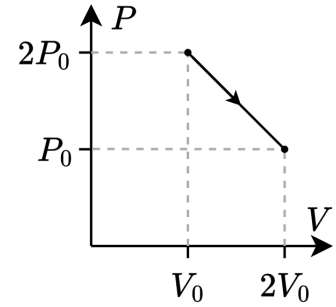
Массасы $m = 1 \text{ кг}$ жүкті салмағы $m = 1 \text{ кг}$ және ұзындығы $L = 15 \text{ см}$ тақтайдың шетінде орналасқан. Екінші шетінен тақтаны мерзімді түрде балғамен ұрып, $p_0 = 0.8 \text{ Н} \cdot \text{с}$ импульс береді және жүйе тепе-теңдікке жеткенше күтеді. Тақта мен үстелдің, сондай-ақ жүк пен тақтайдың арасындағы үйкеліс коэффициенттері бірдей және $\mu = 0.4$ тең. Ауырлық күшінің үдеуі $g = 10 \text{ м/с}^2$.



1. Бір соққыдан кейінгі тақта жылдамдығы v_1 мен жүк жылдамдығы v_2 мәндері нешеге тең?
2. Бір соққыдан кейін, қозғалыс кезінде жүк мен тақтаның арасындағы сырғанау аяқталғанда, тақтаның жылдамдығы v нешеге тең болады?
3. Салмақ тақтадан сырғып кетуі үшін қанша n соққы қажет?

Есеп 8: Сызықтық процесс (Еркебаев А.)

Суретте 1 моль идеал газда орын алған қысымы көлемнен бірге сызықтық тәуелділікпен кему процесстің PV -диаграммасы көрсетілген. $P_0V_0 = 2500$ Дж, бұл жердегі P_0 мен V_0 - суретте көрсетілген қысым мен көлемнің өлшем бірліктері. Универсал газ тұрақтысы $R = 8.31$ Дж/(моль · К). Төмендегі сұрақтарға жауап беріңіз,



1. Осы процессте газға берілген Q толық жылу мөлшері неге тең? Жауабыңызды [Дж]-де көрсетіңіз.
2. Процесстің басындағы газдың жылуsыйымдылығы C неге тең? Жауапты газдың жылуsыйымдылығы R -ің мәнінен неше есе көбірек екені, демек $C = \alpha R$ α көбейткішінің мәнін белгілеңіз.
3. Бұл процесс кезінде газдың T ең жоғарғы температурасы неге тең? Жауапты бүтін түрге жуықтап кельвинмен [К] беріңіз.

Есеп 9: Соленоид-аккордеон (Еркебаев А.)

Көлденең қимасының ауданы $S = 4$ см², ұзындығы $l = 1$ м және бірлік ұзындығына сым айналым саны $n = 500$ м⁻¹ болатын қысқа тұйықталған асқын өткізгіш ұзын соленоид арқылы электр тогы $I_0 = 1$ А өтіп жатыр. Бұл мәселеде шеткі әсерлерді ескермейміз; магниттік тұрақты $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

1. Соленоид ішіндегі B_0 магнит өрісінің мәні қандай? Жауабыңызды мыңдық үлеске дейін дәл, миллитесла [мТл] түрінде беріңіз.
2. Соленоидты ұзындығы бойынша екі есе баяу созу үшін қанша A жұмыс істеу керек? Жауабыңызды ондық үлеске дейін дәл, микроджоульмен [мкДж] беріңіз.
3. Соленоид бастапқы күйіне қайтарылды, содан кейін ауданы $S/2$ және магниттік өткізгіштігі $\mu = 1000$ болатын ферромагниттік өзек кенет енгізілді (есепті жеңілдету үшін $\mu \gg 1$ деп есептеңіз). Тұрақты күйдегі I электр тогының жаңа мәнін анықтаңыз. Жауабыңызды миллиампермен [мА] беріңіз және ең жақын бүтін санға дейін дөңгелектеңіз.

Есеп 10: Елес кептеліс (*Бисимби Д.*)

Бір күні Алматыда кезекті орыс тілі олимпиадасы өткен, мектеп оқушысы Ілияс оған тағы да кешігіп жатты. Ол жерге тезірек жету үшін жолды заңсыз жерден кесіп өтуді шешті. Оған қарай $V = 15$ м/с тұрақты жылдамдықпен, арақашықтығы $d = 8$ м болатын бірнеше көлік келе жатты. Жаңбырлы күн болды, дөңгелектер мен асфальт арасындағы үйкеліс коэффициенті $\mu = 0,2$. Ауырлық күшінің үдеуі $g = 10$ м/с².

Бірінші жүргізуші Ілиясты көріп, жылдамдығын бәсеңдете бастады. Бірақ Ілияс оптималды жолды таңдағанын және ешқандай қауіп жоқ екенін түсінді. Сондықтан жүргізуші бар болғаны 1 секундқа тежеген, содан кейін тұрақты жылдамдықпен әрі қарай жүруді жалғастырды. Екінші жүргізуші де біріншісінің тежеуіне әрекет етіп жылдамдығын төмендете бастады, ол жылдамдығын теңестіріп, әрі қарай жүруді жалғастырды - ары қарай белгілі болғандай, бірінші жүргізушіге қарағанда сәл төмен жылдамдықпен жүрген. Үшінші жүргізуші де солай істеген, төртінші де және ары қарай жалғасқанша. Осылайша, көліктердің тұтас қатары баяулады, бірінші жүргізуші жылдамдығын сәл төмендеткендіктен ғана, елес кептеліс пайда болды.

Адамдардың реакция уақытына байланысты әрбір жүргізуші алдыңғы көліктің тежелуіне 0,5 секундтан кейін ғана әрекет етеді. Сондай-ақ, оның жылдамдығы алдыңғы көліктің жылдамдығына тең болғаннан кейін жүргізуші бар болғаны 0,5 секундтан кейін тежеуді тоқтатады. Тежеуден кейін автомобильдердің жылдамдығы өзгермейді деп есептеңіз.

1. Ілиястың әрекеті нәтижесінде сериядағы қай көлік толық тоқтайтынын табыңыз. Автокөліктер санауы, баяулай бастаған бірінші көліктен басталады; ешбір көлік соқтығысқан жоқ деп есептейік.
2. 5 және 6 көліктер тежеуді тоқтатқаннан кейін, автомобильдер арасындағы орнатылған қашықтықты табыңыз.
3. Көліктердің ешқайсысы соқтығыспауы үшін олардың арасындағы ең аз d_{\min} қашықтық қандай болуы керек?

Жоғарғы лига есептерінің шешімі

Есеп 1: Карусель (*Еркебаев А.*)

1. Белгілі φ айналу бұрыштың кинематикалық формуласы бойынша оның уақыттан тәуелділігін төмендгідей көрсете аламыз

$$\varphi = \frac{\beta t^2}{2}. \quad (1.1)$$

$\varphi = 2\pi$ екенін біле тұра, біз төмендегідей уақытты табамыз

$$t_1 = \sqrt{\frac{4\pi}{\beta}} = 4 \text{ с.} \quad (1.2)$$

2. n рет айналып бөлшектің бұрыштық жылдамдығы төмендегіге тең

$$\omega_0 = \beta \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 2\pi n}{\beta}} = 2\sqrt{\beta\pi n} = \pi\sqrt{n} \text{ с}^{-1}. \quad (1.3)$$

Сондықтан n және $n + 1$ айналымдардың арасындағы уақыт берілген теңдеуден анықталатын болады

$$2\pi = \omega_0 t + \frac{\beta t^2}{2} = \pi t\sqrt{n} + \frac{\pi t^2}{8}. \quad (1.4)$$

Осылай біз төмендегіні аламыз

$$n = \frac{(2 - t^2/8)^2}{t^2}. \quad (1.5)$$

$t = 1$ с дегенді қойсақ, $n = 3$ айналымынан кейін айналым уақыты әр осы мәннен әрқашанда кем болатынын байқаймыз.

3. Бөлшектің толық үдеуі $a_\tau = \beta R$ тангенциал мен $a_n = \omega^2 R = \beta^2 t^2 R$ центрге тартқыш үдеулерінің векторлық қосындысынан тұрады. Толық үдеу векторының \vec{a}_τ векторына салыстырмалы 45° бұрылуы екі құраушыларының теңдігіне сәйкес. Сонымен,

$$\beta R = \beta^2 t_2^2 R \quad \Rightarrow \quad t_2 = \frac{1}{\sqrt{\beta}} \approx 1.13 \text{ с.} \quad (1.6)$$

| Мазмұны | Ұпайлар |
|------------------------|---------|
| $t_1 = 4 \text{ с}$ | 3 |
| $n = 3$ | 4 |
| $t_2 = 1.13 \text{ с}$ | 3 |

Есеп 2: Ары-бері (Қайроллаев Е.)

Белгілі бір τ уақыттан кейін, жіптің айналмалы бөлігінің ұзындығы $L - v\tau$ болады. Осы жүйедеге күштердің барлығы радиус бойынша таралғандықтан, біз тесікке салыстырмалы импульс моментінің сақталу заңын бастапқы сәтке және t_1 уақыт өткен кездегі сәтке жаза аламыз:

$$mL^2\omega_0 = m(L - vt_1)^2\omega. \quad (2.1)$$

Осы теңдеуден біз бұрыштық жылдамдықтардың қатынасын табамыз:

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{L^2}{(L - vt_1)^2} = 4, \quad (2.2)$$

демек бұрыштық жылдамдық 4 есе артады.

Жүкке әсер ететін жалғыз горизонталь күш — жіптің созылу күші. Енді, t_2 сәтке Ньютонның екінші заңын жазсақ

$$T = m\omega_2^2(L - vt_2). \quad (2.3)$$

Осы теңдеуге t_2 уақыттағы ω_2 бұрыштық жылдамдықты қойып, шешкен кезде:

$$t = \frac{1}{v} \left(L - \sqrt[3]{\frac{mL^4\omega_0^2}{T}} \right) = 3 \text{ с}. \quad (2.4)$$

Массасы $m = \lambda L$ болатын жіптің инерция моменті төмендегіге тең

$$I = \frac{mL^2}{3} = \frac{\lambda L^3}{3}. \quad (2.5)$$

Бұны қолданып, жіп үшін импульс моментінің сақталу заңын жазайық:

$$\frac{1}{3}\lambda L^3\omega_0 = \frac{1}{3}\lambda(L - vt_3)^3\omega_3 \Rightarrow \omega_3 = \frac{L^3\omega_0^2}{(L - vt)^3}. \quad (2.6)$$

Жіптің созылу күші оның бүгілген нүктеде ең үлкен мәнге ие болатыны анық. Әрі қарай, массалар центрлерінің қозғалыс теоремасына сәйкес:

$$T = \frac{1}{2}\lambda L^2\omega_3^2. \quad (2.7)$$

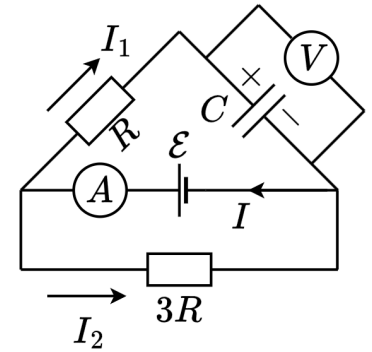
Бұрыштық жылдамдықты қойып теңдеуді шығарған кезде:

$$t = \frac{1}{v} \left(L - \sqrt[4]{\frac{\lambda L^6\omega_0^2}{2T}} \right) \approx 3.2 \text{ с}. \quad (2.8)$$

Есеп 3: Аға электрик Арсен (Ержебаев А.)

1. Берілген схеманы қарастыра отырып, біз $I_1 + I_2 = I$ деп жаза аламыз, сонымен қатар Кирхгофтың екінші заңының екі теңдеуі тізбектің жоғарғы және төменгі айналма жолдарына сәйкес келеді:

$$\mathcal{E} = I_1 R + \mathcal{E}/3, \quad \mathcal{E} = 3I_2 R. \quad (3.1)$$



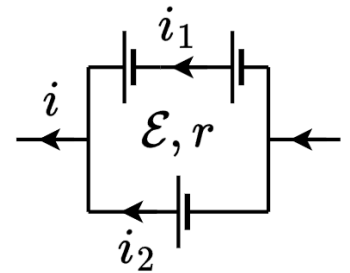
Осыдан амперметрдегі ток күшін анықтай аламыз::

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = 0.12 \text{ A}. \quad (3.2)$$

2. Басында конденсатордағы кернеу $\mathcal{E}/3$ тең болды - соңында ол сыртқы ЭҚК \mathcal{E} тең болуы керек, өйткені толық зарядталған кезде ток $I_1 = 0$ болады. Бұдан шығатыны, конденсатордағы зарядтың өзгеруі (ол негізінен ЭҚК арқылы өтеді)

$$\Delta q = C (\mathcal{E} - \mathcal{E}/3) = 0.8 \text{ мкКл}. \quad (3.3)$$

3. Енді ток көздері жүйесінің құрылымын қарастырайық. Мұндай масштабта ЭҚК-нің ішкі кедергілерін ескеру қажет. Бұл тармақтың мақсаты эквивалентті ЭҚК \mathcal{E}^* және (міндетті емес) ішкі кедергі r^* мәндерін таңдау. Басқаша айтқанда, төмендегі формуланы негізге алып,



$$U = \mathcal{E}^* - i r^*, \quad (3.4)$$

үш ЭҚК-нің жалпы әсерін тәуелділіктің осы түріне келтіру қажет. Сонымен, тізбекті айналып өту және ондағы кернеудің оңнан солға төмендеуі бізге төмендегі формулаларды береді

$$2\mathcal{E} - \mathcal{E} = 2i_1 r - i_2 r, \quad U = \mathcal{E} - i_2 r, \quad (3.5)$$

формулаларды шеше отырып

$$i_2 = \frac{2}{3}i - \frac{\mathcal{E}}{3r}, \quad \Rightarrow \quad U = \frac{4\mathcal{E}}{3} - \frac{2}{3}i r. \quad (3.6)$$

Нәтижесінде

$$\mathcal{E}^* = \frac{4}{3}\mathcal{E}, \quad r^* = \frac{2}{3}r. \quad (3.7)$$

$r \ll R$ болғандықтан, екіншісі бізді қызықтырмайды - бірақ енді жалпы ЭҚК $4/3$ есе өсетінін білеміз (бірақ Альтаир оны үш есе көбейте алады!), сонда вольтметрдегі жаңа көрсеткіш

$$V_{\text{new}} = \frac{4}{3} \cdot 12 \text{ В} = 16 \text{ В}. \quad (3.8)$$

| Мазмұны | Ұпайлар |
|---------------------------------|---------|
| $I = 0.12 \text{ A}$ | 2 |
| $\Delta q = 0.8 \text{ мкКл}$ | 2 |
| $V_{\text{new}} = 16 \text{ В}$ | 6 |

Есеп 4: С–Ғ–С–М (Қайроллаев Е.)

Алдымен СИ-дегі өлшем бірліктерін С–Ғ–С өлшем бірліктері арқылы көрсетейік:

- $[M] = \frac{5}{7} [\text{ҒбҰ}] \approx 0.714 [\text{ҒбҰ}];$
- $[KГ] = \frac{1}{1480} [\text{СОМ}] \approx 6.757 \cdot 10^{-4} [\text{СОМ}];$
- $[c] = \frac{1}{292} [\text{бөҰ}] \approx 3.4 \cdot 10^{-3} [\text{бөҰ}]$

Осы деректерді пайдалана отырып, тармақтарды шешуге кірісе аламыз.

1. Протонның массасын табайық:

$$m_p = 1.6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1.6726 \cdot 10^{-27} \cdot \frac{1}{1480} \text{ СОМ} = 1.130 \cdot 10^{-30} \text{ СОМ}. \quad (4.1)$$

2. Бірінші тармаққа ұқсас, еркін түсу үдеуі:

$$\begin{aligned} g &= 9.81 \text{ м/с}^2 = 9.81 \cdot \frac{5}{7} \text{ ҒбҰ} \cdot 292^2 \text{ бөҰ}^{-2} = \\ &= 597457.0286 \text{ ҒбҰ/бөҰ}^2 = 5.975 \cdot 10^5 \text{ ҒбҰ/бөҰ}^2. \end{aligned} \quad (4.2)$$

3. Бір Вейдердегі Ньютон санын табу үшін шарт бойынша салыстыруды қолдана-мыз:

$$1 \text{ вдр} = 1 \text{ СОМ} \cdot \text{ҒбҰ/бөҰ}^2 = 1480 \text{ кг} \cdot 1.4 \text{ м} / (292^2 \text{ с}^2) = 2.430 \cdot 10^{-2} \text{ Н}. \quad (4.3)$$

4. Шешім келесі белгілерді пайдаланады:

- μ — бірліктер жүйесіне бағынбайтын магниттік тұрақты үшін;
- μ_0 — СИ-дегі магниттік тұрақты үшін;
- μ_1 — С–Ғ–С–М жүйесіндегі магниттік тұрақты үшін.

R қашықтықтағы жұқа шексіз сым жасайтын магнит өрісі

$$B = \frac{\mu I}{2\pi R}. \quad (4.4)$$

1 Вдр/ғбұ күші бар тартылыс сымның әрбір 1 ғбұ үшін күш:

$$F = IB l_u = \frac{\mu I^2 l_u}{2\pi R} \quad (4.5)$$

ұзындық бірлігіне әсер етеді. Ток күшін теңдеуден өрнектеп көрейік:

$$I = \sqrt{\frac{2\pi R F}{\mu l_u}}. \quad (4.6)$$

Енді СИ және С–Г–С–М-дегі магниттік тұрақтының арасындағы байланысты табық:

$$\mu_1 = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}. \quad (4.7)$$

Мұны пайдалана отырып, біз 1 Бейонд пен Амперлер арасындағы байланысты табамыз:

$$1 \text{ Бд} = \sqrt{\frac{2\pi \cdot 1 \text{ ғбұ} \cdot 2\pi \text{ вдр/ғбұ}}{\mu_1 \cdot 1 \text{ ғбұ}}} = \sqrt{\frac{2\pi \cdot 2\pi \cdot 2.430 \cdot 10^{-2} \text{ Н}}{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}}} = 8.737 \cdot 10^2 \text{ А}. \quad (4.8)$$

Өлшем бірліктерін салыстыру мәселесі үлкен ғылыми-техникалық маңызға ие, сондықтан мұнда жуық мағыналар қабылданбайды. Сондықтан қателері бар есептеулер үшін айыппұл коэффициенттер жүйесі енгізілді (тек осы есеп үшін):

- $k = 1$, егер жауабыңыз мыңдық үлеске дейін сәйкес келсе;
- $k = 0.8$, егер жауабыңыз жүздік үлеске дейін сәйкес келсе;
- $k = 0.5$, егер жауабыңыз ондық үлеске дейін сәйкес келсе;
- $k = 0.1$, егер жауап 2% салыстырмалы қателікпен сәйкес келсе.

Ұпайларды есептеу үшін бонус коэффициентін тармақ үшін берілген ұпайға көбейту керек.

| Мазмұны | Ұпайлар |
|--|---------|
| $m_p = 1.130 \cdot 10^{-30} \text{ сом}$ | 2 |
| $g = 5.975 \cdot 10^5 \text{ ғбұ/бөү}^2$ немесе $g = 5.974 \cdot 10^5 \text{ ғбұ/бөү}^2$ | 2 |
| $1 \text{ вдр} = 2.430 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$ | 2 |
| $1 \text{ Бд} = 8.737 \cdot 10^2 \text{ А}$ | 4 |

Есеп 5: Телескоп (*Бисимби Д.*)

1. Алыстағы объектілерге назар аударған кезде көз тырыспайтындықтан, айқын кескін жасау үшін сәулелер көзге жеткенде параллель болуы керек. Телескоп алыстағы объектілерді суретке алады, ал олардан түсетін сәулелер параллель түрінде келеді. Телескоптан шыққаннан кейін бұл сәулелер әлі де параллель болуы керек. Телескоптың сол жақтағы линзасынан алыста орналасқан заттардың кескіндерін қарастырайық. Бұл кескіндер фокуста орналасады. Телескоптан шыққанда сәулелер параллель болу үшін оң жақтағы линзаның фокусы сол линзадан түскен кескін орналасқан жерде болуы керек. Сонда:

$$d = 10 + 5 = 15 \text{ см} \quad (5.1)$$

2. Линзалар жақын орналасса, олардың оптикалық күштері қосылады:

$$D_1 = \frac{1}{F_1}, \quad (5.2)$$

$$D = \frac{1}{5} + \frac{1}{20} = \frac{1}{F}, \quad (5.3)$$

$$F = 4 \text{ см}. \quad (5.4)$$

Сонда екі конвергентті линзаларды фокустық арақашықтығы 4 см бір линзамен ауыстыруға болады.

$$d = 10 + 4 = 14 \text{ см}. \quad (5.5)$$

3. Алдыңғы тармақтағыдай дәл сол сияқты тек диверсиялық линзаның фокустық арақашықтығы теріс:

$$D = \frac{1}{5} - \frac{1}{20} = \frac{1}{F} \quad (5.6)$$

$$F = \frac{20}{3} \text{ см} \approx 6.67 \text{ см}. \quad (5.7)$$

Енді d мәнін табайық:

$$d = 10 + 6.67 = 16.7 \text{ см}. \quad (5.8)$$

| Мазмұны | Ұпайлар |
|-----------------------|---------|
| $d = 15 \text{ см}$ | 3 |
| $d = 14 \text{ см}$ | 3 |
| $d = 16.7 \text{ см}$ | 4 |

Есеп 6: Цилиндр (*Бисимби Д.*)

1. Гаусс теоремасын қолданайық, ал негіз ретінде радиусы r және ұзындығы l болатын ұзын цилиндр алайық.

Ол арқылы өтетін ағын $\Phi = 2\pi r l E$.

Гаусс теоремасы:

$$2\pi r l E = \frac{\gamma l}{\epsilon_0}, \tag{6.1}$$

$$E = \frac{\gamma}{2\pi\epsilon_0 r}. \tag{6.2}$$

Жауабы:

$$E = \frac{\gamma}{2\pi\epsilon_0 R_1} = 0.288 \text{ В/м}. \tag{6.3}$$

2. Центрге тартқыш үдеу электрлік күш арқылы беріледі:

$$\frac{v^2}{r} = \frac{\gamma e}{2\pi\epsilon_0 r}, \tag{6.4}$$

$$v = \sqrt{\frac{\gamma e}{2\pi\epsilon_0 m_e}} \approx 2250 \text{ м/с}. \tag{6.5}$$

3. (6.4) теңдеуінде электрон орбитасының радиусы азайған. Бұл өріс (1) теңдеуіндегі мағынасына тең болатын кез келген қашықтықта дөңгелек орбитада қозғала алатынын білдіреді. Цилиндр ішінде өріс болмайды, яғни электрон орбиталарының радиусы тек цилиндр радиусымен шектеледі. Жауабы: $R_0 = 1$ мкм.

4. Айта кету керек, электр өрісі жұмысы үшін интегралы

$$A = - \int_{\infty}^{R_1} \frac{\gamma q}{2\pi\epsilon_0 r} \cdot dr \tag{6.6}$$

шексіздікке барады. Бұл бөлшек заряды нөлге тең болғанда ғана болмайды. Жауабы: $q = 0$.

| Мазмұны | Ұпайлар |
|-------------------------|---------|
| $E = 0.288 \text{ В/м}$ | 2 |
| $v = 2250 \text{ м/с}$ | 3 |
| $R_0 = 1 \text{ мкм}$ | 2 |
| $q = 0$ | 2 |

Есеп 7: Өз басыңнан соқ *** (Еркебаев А.)**

1. Соққыдан кейін бірден тақта балғадан p_0 импульс алады және сәйкесінше жылдамдық

$$v_1 = p_0/m = 0.8 \text{ м/с.} \quad (7.1)$$

Соққы қысқа уақытта болғандықтан жүк қозғала алмайды, сондықтан $v_2 = 0$.

2. Тақта мен жүк арасындағы сырғанау тоқтаған кезде $v_1 = v_2 = v$. Тақта мен жүктің жылдамдықтары үйкеліс күштері әсерінен өзгереді, ал тақта үйкелісті сезінеді

$$f_1 = \mu(N_1 + N_2) = \mu(mg + 2mg) = 3\mu mg, \quad (7.2)$$

мұндағы $N_1 = mg$ және $N_2 = 2mg$ – сәйкесінше тақта мен жүктің және тақта мен үстелдің арасындағы нормаль реакция күштері. Жүкке әсер ететін үйкеліс оған үдеу береді

$$f_2 = \mu N_1 = \mu mg. \quad (7.3)$$

Енді теңдеулер жүйесі арқылы

$$\begin{cases} v = v_1 - \frac{f_1}{m} \cdot \tau; \\ v = \frac{f_2}{m} \cdot \tau, \end{cases} \quad (7.4)$$

сырғанау уақытын тауып, аламыз

$$\tau = \frac{mv_1}{f_1 + f_2} = \frac{v_1}{4\mu g}, \quad (7.5)$$

және оны жоғарыдағы екі теңдеудің біреуіне қойып, табамыз

$$v = v_1 \cdot \frac{f_2}{f_1 + f_2} = \frac{1}{4}v_1 = 0.2 \text{ м/с.} \quad (7.6)$$

3. Алдымен, бір соққыдан кейін жүк тақтаға қатысты қандай қашықтыққа жылжитынын анықтайық. Жүктің өзі (шарттағы суретке сәйкес) солға қарай жүріп, өткен қашықтық

$$s_2 = \frac{f_2 \cdot \tau^2}{2m} = \frac{v_1^2}{32\mu g}. \quad (7.7)$$

Ал тақта жүріп өткен қашықтық

$$s_1 = v_1\tau - \frac{f_1 \cdot \tau^2}{2m} = \frac{5v_1^2}{32\mu g} \quad (7.8)$$

Жүйенің одан әрі тежеуі бізге қызық емес, өйткені салыстырмалы қозғалыс аяқталады. Бір соққыдағы орын ауыстыру

$$s = s_1 - s_2 = \frac{v_1^2}{8\mu g} = 2 \text{ см,} \quad (7.9)$$

және $L = 15$ см екенін ескере отырып,

$$n = 8 \tag{7.10}$$

соққыда жүк тақтадан сырғанап кететінін түсінеміз.

| Мазмұны | Ұпайлар |
|-----------------|---------|
| $v_1 = 0.8$ м/с | 1 |
| $v_2 = 0$ м/с | 1 |
| $v = 0.2$ м/с | 4 |
| $n = 8$ | 4 |

Есеп 8: Сызықтық процесс (Еркебаев А.)

1. Бізге белгілі теңдеуде,

$$Q = A + \Delta U, \tag{8.1}$$

мұндағы A – газ жұмысы, сандық жағынан графиктің астындағы ауданға тең,

$$A = \frac{3}{2}P_0V_0, \tag{8.2}$$

ал $\Delta U = C_V\Delta T$ - газдың ішкі энергиясының өзгеруі. Менделеев-Клапейрон қатынасынан $PV = RT$ шығатын мәлімеден процестің басындағы және соңындағы газдың температуралары тең екенін анықтаймыз, яғни $\Delta U = 0$. Сонымен, жауабымыз

$$Q = A = 1.5 \cdot 2500 \text{ Дж} = 3750 \text{ Дж}. \tag{8.3}$$

2. $\delta Q = CdT$ қатынасы арқылы газдың жылу сыйымдылығын анықтай отырып, термодинамиканың бірінші заңын дифференциалды түрде жазайық:

$$CdT = C_VdT + PdV. \tag{8.4}$$

1 моль идеалды бір атомды газ үшін тұрақты көлемдегі жылу сыйымдылығы $C_V = 3R/2$ және $RdT = PdV + VdP$ болады. Жоғарыдағы қатынас төмендегі теңдеуге алып келеді,

$$C = \frac{3R}{2} + R \cdot \left(1 + \frac{V}{P} \cdot \frac{dP}{dV}\right)^{-1}. \tag{8.5}$$

Графиктің еңісінен $dP/dV = -P_0/V_0$ болса және $V = V_0$ және $P = 2P_0$ қойғанда, бізде келесі теңдеу шығады,

$$C = \frac{3R}{2} + 2R = 3.5R. \tag{8.6}$$

3. Аналитикалық түрде қысымның көлемге тәуелділігі төмендегі теңдеуге тең,

$$P(V) = P_0 \cdot \left(3 - \frac{V}{V_0}\right). \quad (8.7)$$

$PV = RT$ қатынасын қойып, температураның көлемге тәуелділігін табайық:

$$T(V) = \frac{P_0 V}{R} \cdot \left(3 - \frac{V}{V_0}\right). \quad (8.8)$$

$dT(V)/dV = 0$ функциясының экстремумын табамыз, немесе бұл тәуелділіктің квадраттық екенін байқаймыз, яғни дискриминанттың нөлге тең болуы максималды температураға сәйкес келеді. Үшінші жол, максималды температурада газ жергілікті өте кішкентай изотермадан өтуі мүмкін, өйткені бұл процесте температураның одан әрі жоғарылауы мүмкін емес; сондықтан жылу сыйымдылығы $C = \infty$ және есептің екінші пункттағы теңдеуімен анықталады. Кез келген жағдайда максималды температураға сәйкес келетін көлем

$$V_1 = 1.5V_0 \Rightarrow P_1 = 1.5P_0, \quad (8.9)$$

яғни

$$T_{\max} = \frac{P_1 V_1}{R} = 2.25 \cdot \frac{P_0 V_0}{R} = 677 \text{ К}. \quad (8.10)$$

| Мазмұны | Ұпайлар |
|-------------------------------------|---------|
| $Q = 3750 \text{ Дж}$ | 3 |
| $C = 7R/2 \Rightarrow \alpha = 3.5$ | 4 |
| $T_{\max} = 677 \text{ К}$ | 3 |

Есеп 9: Соленоид-аккордеон (Еркебаев А.)

1. Барлығы соленоидта $N = nl$ бұрылыстары бар. $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$ белгілі циркуляция теоремасына сәйкес оның екі шеті соленоид осіне параллель болатындай, ал қалған екеуі оған перпендикуляр етіп ұзындығы l тікбұрышты контурды созамыз, ал схеманың өзі N айналымдарын қамтиды. Егер бір шеті соленоид ішінде орналасса, онда контур бойындағы интеграл оның сегментінде $B_0 l$ береді; онда соленоидтың сыртында орналасқан екінші қабырға соленоидтың сыртындағы нөлдік магнит өрісіне байланысты айналымға ықпал етпейді. Сонда жауабымыз

$$B_0 l = N \cdot \mu_0 I_0 \Rightarrow B_0 = \mu_0 n I_0 = 0.628 \text{ мТл}. \quad (9.1)$$

2. Біздің соленоидтың индуктивтілігін, толық ағын ұстау қабілеті $\Psi_0 = N \cdot B_0 \cdot \pi r^2$ мен ток бірлігі қатынасына тең деп есептейік:

$$L_0 = \Psi_0 / I_0 = \mu_0 n^2 S l. \quad (9.2)$$

Сонда соленоидтың энергиясы $W = L_0 I_0^2 / 2 = \Psi_0^2 / 2 L_0$ болады. Екі есе созылған кезде соленоидтың ұзындығы бірлігіне келетін айналымдар саны сәйкесінше екі есе азаяды, сондықтан соленоидтың жаңа индуктивтілігі $L \propto n^2 l = L_0 / 2$ болады. Ψ_0 магнит ағыны сақталғандықтан, соленоидтың магниттік энергиясының өзгеруіне тең жұмыс аламыз.

$$A = \frac{\Psi_0^2}{2L} - \frac{\Psi_0^2}{2L_0} = \frac{L_0 I_0^2}{2} = \frac{1}{2} \mu_0 I_0^2 n^2 S l = 62.8 \text{ мкДж}. \quad (9.3)$$

3. Ядро орналасқан аймақта магнит өрісі μ есе артады. I ток күші кезінде соленоид арқылы өтетін магнит ағыны төмендегі мәнге тең болады,

$$\Psi \approx N \cdot \mu B \cdot S / 2 = \Psi_0 \frac{I}{I_0} \cdot \frac{\mu}{2}. \quad (9.4)$$

Бұл жағдайда ағын да сақталуы керек, яғни $\Psi = \Psi_0$. Жауабымыз,

$$I = I_0 \cdot \frac{2}{\mu} = 2 \text{ мА}. \quad (9.5)$$

| Мазмұны | Ұпайлар |
|---------------------------|---------|
| $B_0 = 0.628 \text{ мТл}$ | 2 |
| $A = 62.8 \text{ мкДж}$ | 4 |
| $I = 2 \text{ мА}$ | 4 |

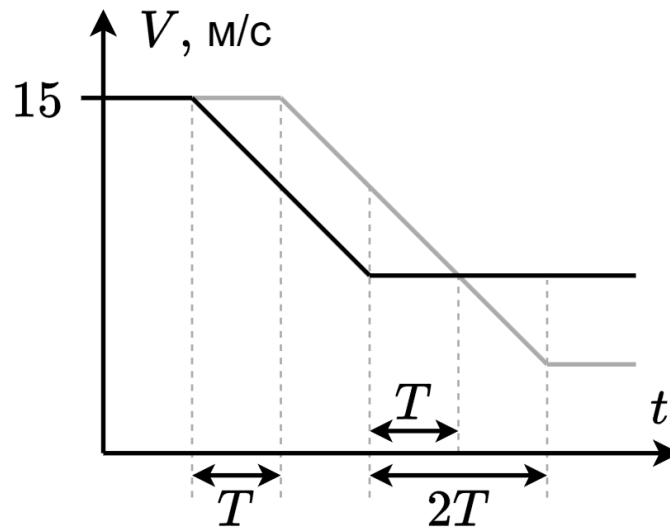
Есеп 10: Елес кептеліс (Бисимби Д.)

1. Үйкеліс әсері арқылы автомобильдер баяулайды, сондықтан олардың үдеуі:

$$a = \frac{F}{m}, \quad F = \mu N = \mu t g \quad \Rightarrow \quad a = \mu g = 2 \text{ м/с}. \quad (10.1)$$

Әрбір жүргізуші алдындағы жүргізушіге қарағанда 0.5 секундқа ұзағырақ тежейді. Сондықтан тежеуден кейінгі жылдамдық қатардағы әрбір келесі машина үшін 1 м/с төмендейді. Тежеуден кейінгі бірінші машинаның жылдамдығы 13 м/с, екіншісі 12 м/с, үшіншісі 11 м/с және т.б. Көліктің нөмірі $N = 14$ және одан кейінгі әрбір көліктің соңғы жылдамдығы 0 болады.

2. Уақыт өте келе көлік жылдамдығы қалай өзгередінін жақсы түсіну үшін көршілес екі көліктің жылдамдықтарының уақытқа қарсы графигін жасаған дұрыс. Бірінші және екінші автомобильдер үшін:



Графиктегі T барлық уақыт интервалдары есептің шарттарына сәйкес бірдей және 0.5 секундқа тең. Біз графиктің көліктердің жылдамдығы өзгередінін бөлігін қарастырамыз. График бірінші машинаның бастапқы жылдамдығынан соңғы жылдамдығына дейін баяулайтынын және соңғы жылдамдықпен 1 секунд қозғалатынын көрсетеді. Ал екінші машина алдымен 0.5 секунд бастапқы жылдамдықпен жүреді, содан кейін соңғы жылдамдығына дейін баяулайды.

Біз автомобильдердің соңғы жылдамдығын V_n белгісімен белгілейміз, мұнда n - көлік нөмірі. Сонда автомобильдер жүріп өткен арақашықтықтар мәні:

$$d_n = \frac{V^2 - V_n^2}{2a} + V_n \cdot 2T, \quad d_{n+1} = V \cdot T + \frac{V^2 - V_{n+1}^2}{2a}. \quad (10.2)$$

$V_n = V_{n+1} + 1$ екенін ескере отырып, көліктер арасындағы қашықтық өзгеруі:

$$\Delta d = d_n - d_{n+1}, \quad \Delta d = -V \cdot T - \frac{V_n^2 - V_{n+1}^2}{2 \cdot a} + V_n \cdot 2T, \quad (10.3)$$

$$\Delta d = \frac{2V_n - 29}{4}. \quad (10.4)$$

Бұл n және $n + 1$ автомобильдер арасындағы қашықтығының өзгеруі формуласы 2-пункттың жауабы:

$$d_5 = 8 + \frac{2 \cdot 9 - 29}{4} = 5.25 \text{ м.} \quad (10.5)$$

3. Үшінші пунктта көрсетілген сұраққа жауап беру үшін автомобильдер арасындағы қашықтықтың максималды қысқаруын табу керек.

Екінші пункттан алынған графикте бұл жолы автомобильдер арасындағы қашықтықтың азаятын уақыт кезеңін, яғни бастапқы сәттен бастап автомобильдердің жылдамдықтары теңестірілетін сәтке дейін қарастырамыз.

Осыны ескере отырып:

$$d_n = \frac{V^2 - V_n^2}{2a} + V_n \cdot T, \quad d_{n+1} = V \cdot T + \frac{V^2 - V_n^2}{2a}. \quad (10.6)$$

Арақашықтық өзгеруі:

$$\Delta d = d_n - d_{n+1}, \quad \Delta d = (V_n - V)T. \quad (10.7)$$

Мәндерді орнына қойғанда:

$$\Delta d = \frac{V_n - 15}{2}. \quad (10.8)$$

(10.8) теңдеуінен, бізге арақашықтықтың максималды өзгерісі минимальды $V_n = 0$ мәніне тең болғанда анық:

$$\Delta d = \frac{0 - 15}{2} = 7.5 \text{ м}. \quad (10.9)$$

Сонда көліктер арасындағы ең аз қашықтық 7.5 метр болуы керек

| Мазмұны | Ұпайлар |
|----------------------------|---------|
| $N = 14$ | 3 |
| $d_5 = 5.25 \text{ м}$ | 4 |
| $\Delta d = 7.5 \text{ м}$ | 3 |