

# ТЕОРИЯЛЫҚ САЙЫС

16 қаңтар 2007 жыл

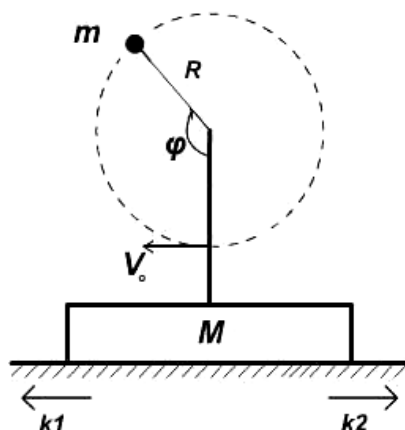
## Алдымен мынаны оқып алыңыз:

1. Теориялық сайыс үш есептен тұрады. Сайыс ұзақтығы 4 сағат.
2. Барлық жазбаларды сізге берілген қаламсаппен ғана жасаңыз.
3. Сізге таза қағаз және **Жазуға арналған қағаз (Writing sheets)** берілген. Таза қағазды сіз өз қалауыңызша пайдаланыңыз, ондағы жазбалар тексерілмейді. Ал **Writing sheets** –ке тексерілуге тиісті шешімдеріңізді жазыңыз.
4. **Writing sheets**-тің тек алдыңғы бетін ғана пайдаланыңыз. Жазу кезінде белгіленген рамкадан тысқары шықпаңыз.
5. Әрбір есеп **Writing sheets**-тің жаңа бетінен басталып жазылуы тиіс.
6. Әрбір пайдаланылған **Writing sheets**-тің жоғарғы жағына еліңізді (**Country**), өзіңіздің кодыңызды (**Student Code**), сол беттегі жазылған есептің рет санын (**Question Number**), әрбір беттің нөмірін (**Page Number**) және есепті шешу кезінде пайдаланылған беттердің жалпы санын (**Total Number of Pages**) жазыңыз. Егер сіз кейбір пайдаланылған **Writing sheets**-тарды тексертіңіз келмесе оны бүкіл бет бойынша көлденең крестпен сызып, беттердің жалпы санына қоспаңыз.
7. Сайыс біткен кезде барлық қағаздарды былайша:
  - Нөмірленіп реттелген **Writing sheets**;
  - Тексерілуге тиісті емес пайдаланылған қағаздар;
  - Пайдаланылмаған қағаздар;
  - Есептердің шартыреттеп конвертке салып столда қалдырыңыз. Сізге аудиториядан ешқандай затты алып шығуға болмайды.

## Есеп 1 Жүгі бар тұғыр

Массасы  $M$ -ға тең салмақты тұғырға салмақсыз ось орнатылған. Оске ұзындығы  $R$  –ға тең салмақсыз жіп арқылы массасы  $m$  –ға тең жүк бекітілген. Жүк вертикаль жазықтықта оске тимей қозғала алады. Тұғырдың үйкеліс коэффициенті сырғанау бағытынан тәуелді:  $k_1 = \mu$ ,  $k_2 = \infty$ . Бастапқы мезетте жүктерге 1-суретте көрсетілген бағытта  $V_0$  жылдамдығын береді. Бұл жылдамдық жүктің кем дегенді бір айналым жасауына жеткілікті.

Бұл есепте сіздерге жүйенің жүк бір айналым жасаған кездегі қозғалысын зерттеу ұсынылады. Қозғалыс кезінде тұғыр еденнен ажырамайды және құламайды, ал жүк ілінген жіп әрқашанда керіліп тұрады деп есептеңіз. Жүктің орнын  $\varphi$  бұрышымен сипаттаймыз (1-сурет).  $M \gg m$  деп есептеңіз.



1-сурет

1. [1 ұнай] Осы пунктте тұғыр қозғалмайды деп есептеңіз. Жүк айналған кездегі жылдамдығының абсолют шамасы өзгерісінің  $V_0$  ден әлдеқайда кіші болуының шартын жазыңыз.

Бұдан әрі тұғырдың жылдамдығы  $V_0$  ден әлдеқайда аз және жүк жылдамдығының бірінші айналым кезіндегі өзгерісі де  $V_0$  ден әлдеқайда аз деп есептеңіз.

2. [2 ұнай] Тұғыр еденге қатысты сырғанай бастайтын ең аз  $V_0^{\min}$  бастапқы жылдамдықты анықтаңыз.
3.  $V_0 > V_0^{\min}$  үшін:
- [1 ұнай] Қандай  $\varphi_0$  бұрышында сырғанау басталатынын;
  - [1 ұнай] Қандай  $\psi$  бұрышында тұғырдың  $V$  жылдамдығы максималді болатынын анықтаңыз.
- 4.
- [1 ұнай] Жоғарыдағы пункттегі  $\psi$  бұрышына сәйкес келетін  $V_{\max}$  мәнін анықтаңыз;
  - [1 ұнай] Тұғыр тоқтайтын  $\theta$  бұрышы қанағаттандыратын шартты жазыңыз.

5. Шамалардың сан мәндері:  $\mu = \frac{\pi}{2} - 1 \approx 0.57$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$M = 10 \text{ кг}$$

$$V_0 = 10 \text{ м/с}$$

$$R = 0.1 \text{ м}$$

$$m = 0.057 \text{ кг}$$

- [0.5 ұнай]  $\varphi_0, \psi$  және  $\theta$  шамаларының мәндерін есептеңіз.
- [0.5 ұнай]  $V_{\max}$  мәнін есептеңіз.
- [1 ұнай] Жоғарыдағы келтірілген мәндер үшін жүк бір айналым жасағандағы тұғырдың ығысуын анықтаңыз.
- [1 ұнай] Есептегі мардымсыз параметрдің жоғалмайтын алғашқы ретінде жүк бір айналым жасағаннан кейінгі төменгі нүктедегі жылдамдығының өзгерісін  $V_0$  ге қатысты анықтаңыз.

### Ескерту:

Есепті шешу барысында мынадай өрнектер қажет болуы мүмкін:

$$\cos \varphi + \mu \sin \varphi = \sqrt{1 + \mu^2} \cos(\varphi - \alpha),$$

$$\cos \varphi - \mu \sin \varphi = \sqrt{1 + \mu^2} \cos(\varphi + \alpha),$$

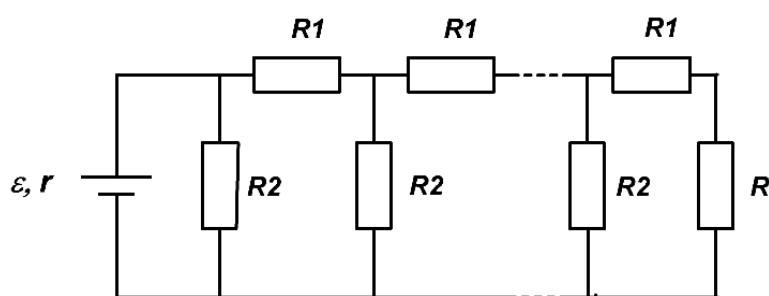
$$\text{где } \alpha = \operatorname{arctg} \mu = \arccos(1/\sqrt{1 + \mu^2}) = \arcsin(\mu/\sqrt{1 + \mu^2}).$$

$$\int \cos \varphi d\varphi = \sin \varphi, \int \sin \varphi d\varphi = -\cos \varphi$$

## Есеп 2

Бұл есеп бір біріне қатыссыз екі бөліктен тұрады

- A. [5 ұнай]** Төмендегі 2-суреттегі  $R = 17 \text{ Ом}$ , кедергісі арқылы өтетін тоқты анықтаңыз. Тоқ көзінің ішкі кедергісі  $r = 3 \text{ Ом}$ , ал ЭҚКі  $\varepsilon = 10 \text{ В}$ . Кедергісі  $R_1 = 1 \text{ Ом}$  және  $R_2 = 6 \text{ Ом}$  звено 17 рет қайталанады.



2-сурет

- B. [3 ұнай]** Жұқа линза арқылы заттың кескіні алынған. Егер бұл линзаға оның бас оптикалық өсіне перпендикуляр етіп жазық айна жанастырса, онда алынған жүйе заттың линзаға дейінгі ара қашықтығын өзгертпеген жағдайда заттың кескінін тура жұқа линзадағыдай үлкейтумен береді. Осы үлкейтуді анықтаңыз.

## Есеп 3

### Термоядролық синтез

Басқарылатын термоядролық синтезді жүзеге асыру қазіргі заман физикасының өзекті мәселесі. Оның бір нұсқасы ТОКАМАК.

Мұндай синтез реакциясының бір мысалы сутегінің дейтерий (D) және тритий (T) изотоптары қатысатын реакция:



Бұл реакцияның нәтижесінде гелий ядросы  ${}^4\text{He}$  және нейтрон  $n$  алынады.

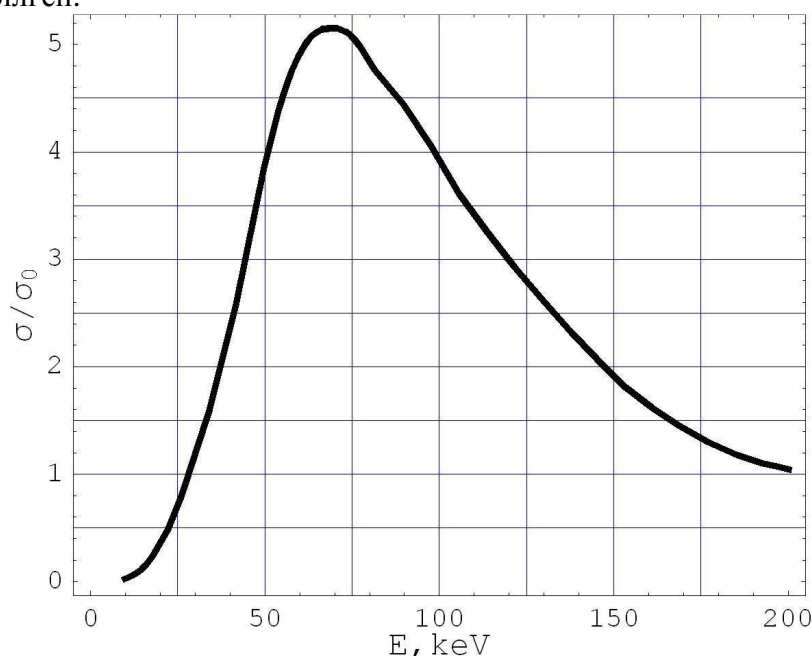
- а) **[1 ұнай]** Бөлшектер массалары белгілі деп есептей отырып, (1) реакция кезінде бөлінетін  $E_0$  энергиясының өрнегін және сан мәнін анықтаңыз.
- б) **[0.5 ұнай]** Ядролық физикада энергияны электрон-вольтпен (эВ) өрнектеу ыңғайлы. 1 эВ – ол электрон бір вольтқа тең потенциалдар айырымынан өткен кездегі алатын

энергиясына тең шама. Жоғарыдағы а) пунктіндегі анықтаған энергияны эВ-пен өрнектеңіз.

- с) [1 ұнай] Дейтерий мен тритийдің реакцияға дейінгі энергиясын ескермей отырып, гелий ядросы мен нейтронның алып кететін  $E_{He}$  және  $E_n$  энергиясының өрнегін және сан мәнін анықтаңыз.
- д) [1 ұнай] ТОКАМАКта дейтерий-тритий қоспасы аса жоғары температураға дейін қызады да нәтижесінде барлық атомдар иондалады, ал олардың орта кинетикалық энергиясы  $(3/2)k_B T$ . Жоғарыдағы (1) реакциясы жүру үшін дейтерий мен тритийдің арасындағы кулондық тебілу күшін жеңе отырып, оларды  $a = 10^{-14}$  м ара қашықтыққа дейін жақындату керек. Соқтығысатын ядролардың көбісі үшін жоғарыдағы (1) реакциясы жүре бастайтын  $T$  температурасын анықтаңыз.

Жылулық қозғалыс кезінде қоспадағы бөлшектердің бәрінің жылдамдықтары бірдей емес, онда энергиясы  $(3/2)k_B T$  дан үлкен де, кем де бөлшектер болады. Сондықтан осы энергиясы жоғары бөлшектердің есебінен синтез реакциясы төменірек температурада да өте алады. Бірлік уақытта бірлік көлемде өтетін реакция саны  $n_D n_T \sigma(v) v$  өрнегімен анықталады, мұндағы  $n_D$  және  $n_T$  дейтерий және тритийдің концентрациясы, ал  $\sigma(v)$  реакцияға қатысатын бөлшектердің  $v$  салыстырмалы жылдамдығынан тәуелді, реакцияның көлденең қимасы.

- е) [3 ұнай] Қолайлы  $T_0 = 10^8$  К температурасына сәйкес келетін  $\langle \sigma(v) v \rangle$  шамасының орташа мәнінің өрнегін және сан мәнін анықтаңыз. Бөлшектердің жылдамдық бойынша таралуы массасы  $\mu = m_D m_T / (m_D + m_T)$  келтірілген массасына тең болатын бөлшектің Максвелл таралуына сәйкес деп есептеңіз.  $\sigma(v)$  шамасының энергиядан тәуелділігі 3-суретте келтірілген.



3-сурет. Көлденең қиманың бөлшектердің салыстырмалы энергиясынан тәуелділігі.

$$1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV} . \text{ Мұнда } \sigma_0 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

- ф) [3 ұнай] Қоспаны  $T_0 = 10^8$  К қолайлы температураға дейін қыздыру үшін біраз энергия қажет. Ол энергия термоядролық реакция кезінде бөлінетін энергиядан аз болуы тиіс. Гелий ядросының энергиясы толығымен, ал нейтрон энергиясының  $\eta = 0.3$  бөлігі

пайдаланылады. Қуаттың жылулық жоғалуы  $P_{loss} = E/\tau$  өрнегімен анықталады, мұндағы  $E$  плазма кинетикалық энергиясының тығыздығы, ал  $\tau$  - плазманы ұстап тұру уақыты. Бөлшектер концентрациясы  $n_D = n_T = n/2$  деп есептей отырып, энергиялар айырымы оң болатын, плазма концентрациясы  $n$  және ұстап тұру уақыты  $\tau$  ды байланыстыратын теңсіздіктің өрнегін және сан мәнін анықтаңыз.

- g) [2.5 ұнай] Температурасы  $T_0 = 10^8 \text{ K}$  болатын плазманың қысымы өте жоғары, сондықтан оны жай қоршаудың көмегімен ұстап тұру мүмкін емес. Ол үшін плазманың жылулық қысымын теңгеретін, асқынөткізгішті электромагниттер туғызатын магнит өрісі қолданылады. Магнит өрісі бар кездегі қосымша қысым мынаған тең  $P = \gamma \mu_0^\alpha B^\beta$ , мұндағы  $\gamma = 1/2$ , ал  $\mu_0$  - магнит тұрақтысы,  $B$  --магнит индукциясы. Плазма ішінде магнит өрісі толығымен көлегейленеді, яғни қосымша қысым жоқ. Өлшембірліктік сараптауды пайдалана отырып  $\alpha$  және  $\beta$  мәндерін анықтаңыз, Сонымен қатар концентрациясы  $n_D = n_T = 10^{-21} \text{ м}^{-3}$  плазманы ұстап тұра алатын магнит өрісінің индукциясын анықтаңыз.

#### Шамалардың сан мәндері:

Дейтерий массасы	$m_D = 3.34447 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ,
Тритий массасы	$m_T = 5.00732 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ,
Гелий массасы	$m_{He} = 6.64432 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ,
Нейтрон массасы	$m_n = 1.67439 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ,
Жарық жылдамдығы	$c = 2.9979 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Элементар заряд	$e = 1.6022 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ .
Больцман тұрақтысы	$k_B = 1.3806 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Электр тұрақтысы	$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнит тұрақтысы	$\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$

#### Ескерту

Массасы  $\mu$  бөлшектің  $T$  температура кезіндегі жылдамдығының максвеллдік таралуы

$$f(v) = 4\pi \left( \frac{\mu}{2\pi k_B T} \right)^{3/2} v^2 \exp \left( -\frac{\mu v^2}{2k_B T} \right)$$