МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА

Национална олимпиада по физика, Казанлък, 11 – 13 април 2014 г.

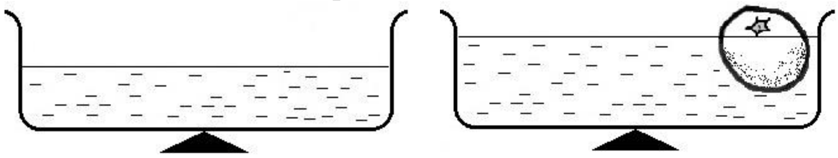
ТЕМА за 7. клас

Задача 1.

I част: ***Плаващ грейпфрут***

Грейпфрутът е един от малкото плодове, които могат да плават във вода, така че част от плода остава над водата. Считайте грейпфрута за еднородно тяло с неправилна форма.

А) Дълбок съд с вода е поставен върху тясна опора, така че да е в равновесие – **Фиг. 1**. Ще се наруши ли равновесието, ако пуснете грейпфрут да плава в единия край на съда, както е показано на **Фиг. 2**? Обосновете отговора си. **[2 т]**



Фиг. 1 **Фиг. 2**

Б) Предложете начин за определяне на плътността на грейпфрута, ако разполагате с дълбок неразграфен съд, грейпфрут, везна и неограничено количество вода. Опишете експеримента и се обосновете като запишете съответните изрази. Единствената физична константа, която ви е известна, е плътността на водата ρ_0. **[4 т]**

II част: ***Пиафлора***

Пиафлората е синтетична гъба, която има свойството да поема и задържа вода в миниатюрните си кухини. За разлика от домакинската гъба, след напояване пиафлората не може да освободи водата чрез изстискване. Определете каква **част** от обема на сухата пиафлора се заема от кухини? Разполагате с неразграфен съд, парче суха пиафлора във формата на куб, вода, везна и линийка. Опишете експеримента и се обосновете като запишете съответните изрази. Единствената физична константа, която ви е известна, е плътността на водата ρ_0. **[4 т]**

Задача 2. ***Топло ли е млякото?***

За затоплянето на купичка мляко до определена температура е нужно количество топлина $Q_0 = 35000\ \text{J}$. Разполагате с котлон, който се захранва от акумулатор с напрежение $U = 30\ \text{V}$. Котлонът има два нагреватели (резистора), всеки със съпротивление $R = 20\ \Omega$, които могат да бъдат включени само последователно или успоредно към акумулатора (т.е. не може да свържете само един резистор).

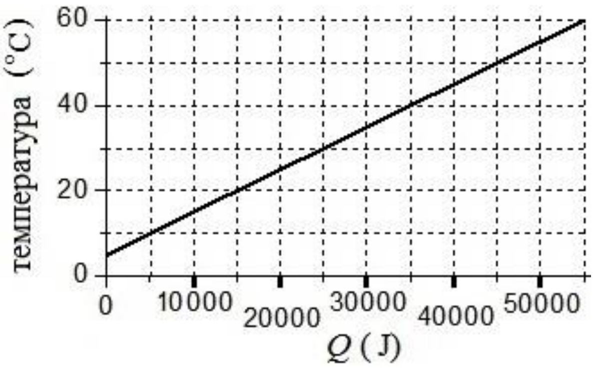
А) Начертайте схема на нагревателите в положение на последователно и успоредно свързване. В кое положение котлонът би трябвало да грее с по-висока мощност? Обосновете отговора си, като запишете съответните изрази. **[2 т.]**

Нека с „**1**” означим положението с по-ниска мощност, а „**2**” – това с по-високата мощност. Първоначално включвате реотаните в положение „**2**”. След време $t_2 = 5\ \text{min}$ забелязвате, че поради неизправност, котлонът грее с 5 пъти по-малка мощност от очакваната. Незабавно превключвате в положение „**1**” и оставяте млякото да се загрява още известно време.

За подточки ***Б)***, ***В)*** *и* ***Г)*** *не забравяйте, че преди превключване на положение „**1**”, котлонът е бил за време* $t_2 = 5\ \text{min}$ *в неизправното положение „**2**”.*

Б) За колко време след превключване на положение „**1**” млякото ще получи необходимото количество топлина Q_0? **[3 т]**

На графиката на **Фиг. 3** е показана зависимостта между отделеното от котлона количество топлина Q и температурата на млякото.



Фиг. 3

В) Каква приблизително ще е температурата на млякото, ако го оставите на котлона в положение „**1**” за $7,4\ \text{min}$ повече от необходимото време в подточка **Б)**? **[2,5 т]**

Г) Известно време след превключване на положение „**1**” установявате, че температурата на млякото е $30^{\circ}\ \text{C}$. Колко време се е топлило млякото на положение „**1**”? **[2,5 т]**

Приемете, че отделеното от котлона количество топлина се приема единствено от млякото, а затоплянето на съда и топлообменът с околната среда са пренебрежими.

Задача 3. В задачата I част и II част са независими.

I част: ***Бягащ хамстер***

Хамстер бяга в колело, което е свързано към генератор на електрическо напрежение. Генераторът е свързан с фенерче, което може да свети с нормална мощност от $P = 2\ \text{W}$. За да осигури нормално светене на фенерчето, хамстерът трябва да бяга в колелото със скорост $v = 1\ \text{m/s}$, при което генераторът осигурява на фенерчето напрежение $U = 5\ \text{V}$.

А) Какъв ток ще протече през фенерчето? **[1 т]**

Б) Колко време ще свети фенерчето, ако за светенето се изразходват $120\ \text{J}$ от енергията на бягащия в колелото хамстер? **[3 т]**

В) Какво разстояние ще измине хамстерът за времето, намерено в подточка Б)? **[1 т]**

II част: ***Мед и мляко***

В цилиндрична чаша с височина $l = 20\ \text{cm}$ има смес от мляко и мед, в която млякото има три пъти по-голям обем от този на меда. Ако плътността на млякото е $\rho_1 = 1000\ \text{kg/m}^3$, а налягането върху дъното на чашата е $p = 2200\ \text{Pa}$, намерете колко е плътността на меда. Приемете, че земното ускорение е $g = 10\ \text{m/s}^2$. **[5 т]**

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
Национална олимпиада по физика, Казанлък, 11 – 13 април 2014 г.
РЕШЕНИЯ на темата за 7. клас

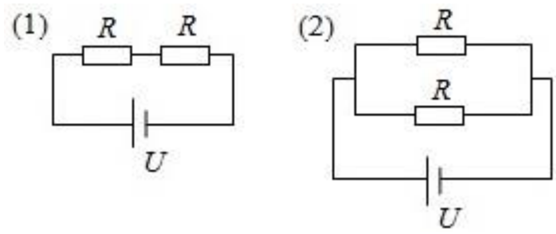
Задача 1.
I част: ***Плаващ грейпфрут***
А) Равновесието няма да се наруши. **[0,5 т]**
Налягането, което създава грейпфрутът, се предава равномерно във всички посоки, включително и по дъното на съда. Равновесието се запазва независимо от мястото, на което сме пуснали плода, стига той да плава без да докосва дъното. **[1,5 т]**

Б) Грейпфрутът се претегля на везната. Отчита се показанието ѝ $M_{\text{плод}}$. **[0,4 т]**
Съдът се пълни с вода до ръба и се претегля на везната. Отчита се показанието на везната M_1 – сума от масата на водата и на съда. **[0,6 т]**
Грейпфрутът се поставя в пълния съд и се натиска, за да се потопи изцяло. **[0,6 т]**
При това действие, част от водата в съда се излива навън. **[0,2 т]**
Грейпфрутът се изважда и частично пълният съд се претегля на везната. Отчита се показанието на везната M_2 – сума от масата на водата и съда. **[0,6 т]**
Масата на излялата се вода m_0 се определя от $m_0 = M_1 - M_2$. **[0,4 т]**
Обемът на излялата се вода е равен на обема на грейпфрута. **[0,4 т]**
Обемът на излялата се вода е $V_0 = \dfrac{m_0}{\rho_0} = \dfrac{M_1 - M_2}{\rho_0}$. **[0,4 т]**
Плътността на грейпфрута $\rho_{\text{плод}}$ се определя от $\rho_{\text{плод}} = \dfrac{M_{\text{плод}}}{V_0} = \rho_0 \dfrac{M_{\text{плод}}}{M_1 - M_2}$. **[0,4 т]**

II част: ***Пиафлора***
С линийката се измерва страната на кубчето пиафлора a. **[0,5 т]**
Обемът на пиафлората е $V_{\text{пиаф}} = a^3$. **[0,4 т]**
Сухата пиафлора се претегля на везната. Отчита се показанието на везната $m_{\text{пиаф}}$. **[0,2 т]**
Пиафлората се поставя в съда и се оставя да се напои с вода. **[0,4 т]**
Напоената с вода пиафлора се претегля на везната. Отчита се показанието на везната M. **[0,4 т]**
Масата на водата в пиафлората m_0 се определя от $m_0 = M - m_{\text{пиаф}}$. **[0,4 т]**
Обемът на водата в пиафлората е равен на обема на кухините. **[0,5 т]**
Обемът на водата в пиафлората се определя от $V_0 = \dfrac{m_0}{\rho_0}$. **[0,6 т]**
Частта η от обема на пиафлората, която е заета от кухини, се определя от:
$\eta = \dfrac{V_0}{V_{\text{пиаф}}} = \dfrac{M - m_{\text{пиаф}}}{\rho_0 a^3}$. **[0,6 т]**

Задача 2. ***Топло ли е млякото?***

Ако аналитичните изрази са правилни, но числените резултати не са, то се отнемат по ***0,1 т*** *за грешен числен резултат.*



А) Схемите са дадени на фигурата.

За схемата с успоредно свързване: **[0,2 т]**

За схемата с последователно свързване: **[0,2 т]**

Еквивалентното съпротивление в случая на успоредно свързване е:

$$R_{\text{усп}} = \frac{RR}{R+R} = \frac{R}{2} = 10\ \Omega.$$ **[0,25 т]**

Еквивалентното съпротивление в случая на последователно свързване е:

$$R_{\text{посл}} = R + R = 2R = 40\ \Omega.$$ **[0,25 т]**

Мощността на котлона в случая на успоредно свързване е:

$$P_{\text{усп}} = \frac{U^2}{R_{\text{усп}}} = \frac{2U^2}{R} = 90\ \text{W}.$$ **[0,45 т]**

Мощността на котлона в случая на последователно свързване е:

$$P_{\text{посл}} = \frac{U^2}{R_{\text{посл}}} = \frac{U^2}{2R} = 22,5\ \text{W}.$$ **[0,45 т]**

Котлонът грее с по-голяма мощност при успоредно свързване на нагревателите. **[0,2 т]**

Положението с последователно свързване на нагревателите се означава с „**1**”, а това с успоредно свързване – с „**2**”, както е показано на фигурата.

Б) В неизправното положение „**2**” котлонът грее с мощност:

$$\frac{1}{5}P_{\text{усп}} = 18\ \text{W}.$$ **[0,5 т]**

Млякото се топли на тази мощност за време:

$$t_2 = 5\,\text{min} = 5 \cdot 60\ \text{s} = 300\ \text{s}.$$ **[0,5 т]**

Отделеното количество топлина за това време е:

$$Q_2 = \frac{1}{5}P_{\text{усп}}t_2 = 5400\ \text{J}.$$ **[0,6 т]**

Количеството топлина, което млякото трябва да получи от котлона в положение „**1**” е:

$$Q_1 = Q_0 - Q_2 = 29600\ \text{J}.$$ **[0,7 т]**

Количеството топлина Q_1 се отделя от котлона в положение „**1**” за време:

$$t_1 = \frac{Q_1}{P_{\text{посл}}} \approx 1315\ \text{s}$$ (алтернативно: $t_1 \approx 22\ \text{min}$). **[0,7 т]**

В) Млякото се топли в положение „**1**” за допълнително време:

$$t_{\text{доп}} = 7,4 \cdot 60\ \text{s} = 444\ \text{s}.$$ **[0,5 т]**

За това време котлонът (в положение „**1**”) отдава допълнително количество топлина:

$Q_{\text{доп}} = P_{\text{посл}}t_{\text{доп}} = 9990\ \text{J}$, т.е. приблизително $10000\ \text{J}$. **[0,6 т]**

Общо за целия си престой на котлона млякото получава количество топлина:

$$Q = Q_0 + Q_{\text{доп}} = 44990\ \text{J} \approx 45000\ \text{J}.$$ **[0,6 т]**

Според графиката, на това количество топлина отговаря температура от $50^{\circ}\,\text{C}$. **[0,8 т]**

Г) На температурата от $30^{\circ}\,\mathrm{C}$ отговаря получено количество топлина от $25000\ \mathrm{J}$. **[0,8 т]** Млякото е получило $Q_2 = 5400\ \mathrm{J}$ от положение „**2**". Следователно, от престоя си на положение „**1**", млякото е получило:

$Q_{\text{ост}} = Q_0 - Q_2 = 19600\ \mathrm{J}$. **[0,8 т]**

При съответната мощност, отделянето на това количество топлина става за време:

$t_{\text{ост}} = \dfrac{Q_{\text{ост}}}{P_{\text{посл}}} = \dfrac{19600\ \mathrm{J}}{22{,}5\ \mathrm{W}} \approx 871\ \mathrm{s}$ (алтернативно: $t_{\text{ост}} \approx 14{,}5\ \mathrm{min}$). **[0,9 т]**

Задача 3.

I част: *Бягащ хамстер*

А) Токът през фенерчето е $I = \dfrac{P}{U} = 0{,}4\ \mathrm{A}$. **[1 т]**

Б) Означаваме изразходваната енергия с W. Търсеното време е $t = \dfrac{W}{P} = 60\ \mathrm{s}$. **[3 т]**

В) Изминатото от хамстера разстояние е $s = vt = 60\ \mathrm{m}$. **[1 т]**

II част: *Мед и мляко*

Нека F е теглото на сместа в чашата, а S е площта на дъното на чашата. Изпълнено е $p = \dfrac{F}{S} = \dfrac{mg}{S} = \dfrac{\rho V g}{S}$, където ρ е средната плътност на сместа, а $V = Sl$ е обемът на чашата. От тук получаваме $p = \rho g l$ или $\rho = \dfrac{p}{gl} = 1100\ \mathrm{kg/m^3}$. **[2 т]**

Средната плътност на сместа се намира от $\rho = \dfrac{m}{V} = \dfrac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{V}$, където ρ_2 е плътността на млякото, а V_1 и V_2 са съответно обемите на млякото и меда, за които $V_1 = \dfrac{3}{4}V$ и $V_2 = \dfrac{1}{4}V$.

От тук намираме $\rho = \dfrac{3}{4}\rho_1 + \dfrac{1}{4}\rho_2$, откъдето $\rho_2 = 4\rho - 3\rho_1 = 1400\ \mathrm{kg/m^3}$. **[3 т]**

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА

Национална олимпиада по физика, Казанлък, 11 – 13 април 2014 г.

ТЕМА за 8. клас

Задача 1. Дървено трупче 1 с маса M се премества с ускорение a_1 по хоризонтален дървен плот под действие на хоризонтална сила. Намиращото се върху него друго дървено трупче 2 с маса m се движи с ускорение a_2. Триенето между плота и долното трупче, а така също между двете трупчета, се характеризира с един и същ коефициент на триене. Земното ускорение е равно на g.

А) Начертайте всички сили, които действат на трупчетата.

Б) Намерете коефициента на триене k.

В) Определете хоризонталната сила F.

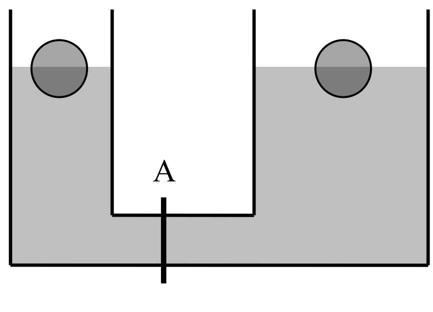
Г) С какво ускорение a ще се движи долното трупче, след като горното падне от него?

Задача 2. В задачата част А и част Б са независими.

Част А. На фиг. 2.1 са показани два скачени цилиндрични съда със сечения съответно S и $2S$. В тях е налята вода с плътност ρ, като нивото на водата в двете колена е едно и също. В съдовете се поставят две еднакви дървени топчета с маса m, които плават.

А) С колко и в каква посока (повишаване или понижаване) се е изменило нивото на водата?

Б) Каква маса M вода е преминала през сечението A след поставянето на топчетата?



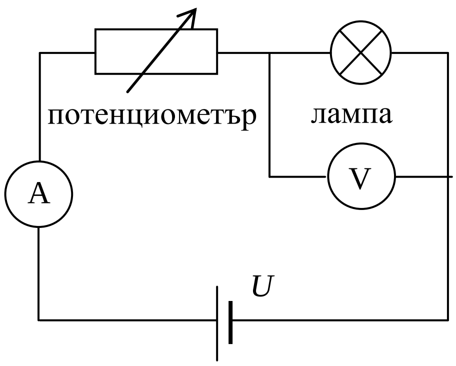
фиг. 2.1

Част Б. Балон се спуска с постоянна скорост. За да се спре спускането му, от него се изхвърля баласт с маса m, след което балонът започва да се издига със същата по големина скорост. Като приемете, че силата на съпротивление на въздуха се определя от скоростта на движение:

А) Посочете по големина и посока силите, които действат на балона, при движението му съответно надолу и нагоре.

Б) Определете големината на силата на съпротивление на въздуха R? Използвайте, че земното ускорение е g.

Задача 3. За да се регулира силата на светене на лампа, която трябва да работи при напрежение $U_0 = 6\ \mathrm{V}$, последователно на лампата е включен потенциометър (фиг. 3.1). Потенциометърът е резистор, чието съпротивление може да се променя плавно от нула до някаква максимална стойност. Когато лампата свети най-силно и най-слабо, показанията на амперметъра и волтметъра във веригата са съответно $I_1 = 0{,}5\ \mathrm{A}$, $U_1 = 6\ \mathrm{V}$ и $I_2 = 0{,}45\ \mathrm{A}$, $U_2 = 5{,}4\ \mathrm{V}$.



фиг. 3.1

А) На колко е равно съпротивлението на потенциометъра, когато лампата свети най-силно?

Б) Определете съпротивлението и мощността на лампата, когато тя свети най-силно.

В) Определете съпротивлението на потенциометъра, когато лампата свети най-слабо. Какво количество топлина в единица време отделя потенциометърът в този режим на работа?

Г) На колко е равно съпротивлението на лампата, когато тя свети най-слабо? Какъв извод можете да направите от получения резултат?

Всяка задача се оценява максимално с 10 точки.

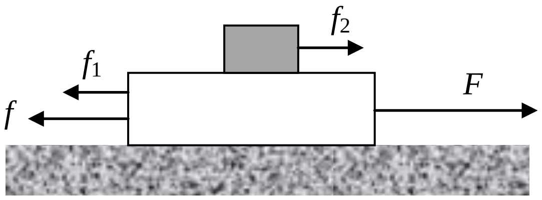
МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА

НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА

Казанлък, 11 – 13 април 2014 г.

Решения на темата за 8. клас

Задача 1. А) На фиг. 1 са означени следните сили: движещата сила F, силата на триене f, действаща на тялото 1, силите на триене f_1 и f_2, породени от триенето между телата и действащи съответно на тяло 1 и тяло 2. (За всяка правилно означена сила – **[0,5 т.]** или общо за пункт **а) [2 т.]**.



фиг. 1

Б) Трупчето 2 се движи под действие на силата $f_2 = kmg$ **[0,5 т.].** От уравнението на Нютон

$ma_2 = f_2 = kmg$ **[0,5 т.]** следва $a_2 = kg$ **[0,5 т.],**

откъдето намираме

$$k = \frac{a_2}{g}.$$ **[0,5 т.]**

В) От уравнението на движение за трупчето 1, когато трупчето 2 е върху него, имаме

$$Ma_1 = F - f - f_1.$$ **[1 т.]**

Като отчетем, че $f = k(m+M)g$ **[0,5 т.]** и $f_1 = f_2 = kmg$ (трети принцип) **[0,5 т.],** намираме

$$F = Ma_1 + (2m+M)a_2.$$ **[1 т.]**

Г) След като второто трупче падне, първото се движи с ускорение, което се определя от уравнението на движение

$$Ma = F - kMg.$$ **[1 т.]**

От него намираме $a = a_1 + 2\frac{m}{M}a_2$. **[2 т.]**

Задача 2.

Част А. А) След потопяването на топчетата нивото на водата се повишава с h във всеки от двата скачени цилиндрични съда **[0,5 т.]**, при което при повишаване на нивото обемът на водата в първия съд се увеличава с hS **[0,5 т.]**, а във втория – с $2hS$ **[0,5 т.]**. Тъй като топчетата плават, тяхното тегло се уравновесява от теглото на изместената от тях вода, т.е.

$$2mg = Sh\rho g + 2Sh\rho g,$$ **[0,5 т.]**

откъдето следва $h = \frac{2m}{3\rho S}$. **[0,5 т.]**

Б) Тъй като след потопяването на топчетата, увеличаването на обема вода в широкия съд е по-голямо от увеличаването на обема вода в тесния съд, през сечението A ще премине известно количество вода от тесния към широкия съд **[0,5 т.]**. Ако двата съда не бяха скачени, топчето в тесния съд щеше да измести при плаването си вода с обем

$$V_1 = \frac{m}{\rho},$$ **[0,5 т.]**

вместо обема $V_0 = hS$. Тогава търсената маса на водата, преминала от тесния в широкия съд е

$$M = (V_1 - V_0)\rho = m - \frac{2m}{3} = \frac{1}{3}m.$$ **[1 т.]**

Част Б. А) При спускане на балона на него му действат следните сили: силата на тежестта на балона без баласт G, насочена надолу; силата на тежестта на баласта mg, насочена надолу; Архимедовата сила F_A, насочена нагоре; силата на съпротивление на въздуха R, насочена нагоре. (За всяка правилно посочена сила по **[0,5 т.] –** общо **[2 т.]**).

При издигане на балона на него му действат силите: силата на тежестта на балона без баласт G, насочена надолу; Архимедовата сила F_A, насочена нагоре; силата на съпротивление на въздуха R, насочена надолу. Те имат същата големина, както при спускането на балона. (За всяка правилно посочена сила по **[0,5 т.] –** общо **[1,5 т.]**).

Б) Тъй като в двата случая движението на балона е равномерно, действащите сили са уравновесени, т.е. в сила са равенствата

$$G + mg = F_A + R,$$ **[0,5 т.]**

$$G + R = F_A.$$ **[0,5 т.]**

Като извадим почленно двете равенства, намираме $R = \frac{mg}{2}$. **[1 т.]**

Задача 3. А) Потенциометърът и лампата са свързани последователно **[0,5 т.]**. В режим на най-силно светене работното напрежение на лампата съвпада с напрежението на източника **[0,5 т.]**. Следователно напрежението между краищата на потенциометъра е нула **[0,5 т.]**. Тъй като през него тече ток, съпротивлението му е $R = 0$ **[0,5 т.]** .

Б) Съпротивлението на лампата в режим на най-силно светене е

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = 12\ \Omega\ , \qquad \textbf{[1 т.]}$$

а нейната мощност –

$$P_1 = U_1 I_1 = 3\ \mathrm{W}\,. \qquad \textbf{[1 т.]}$$

В) Напрежението между краищата на потенциометъра е $U_{\text{п}} = U - U_2$ **[1 т.]**. Тогава имаме

$$R_{\text{п}} = \frac{U - U_2}{I_2} \approx 1{,}3\ \Omega\,. \qquad \textbf{[1 т.]}$$

Отделеното количество топлина в единица време числено съвпада с мощността на потенциометъра **[0,5 т.]**. Следователно имаме

$$q = P_{\text{п}} = (U - U_2) I_2 = 0{,}27\ \mathrm{W}\,. \qquad \textbf{[1 т.]}$$

Г) Съпротивлението на лампата при най-слабо светене е

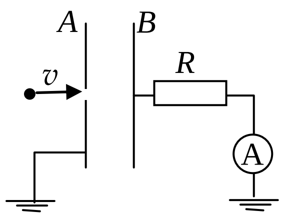
$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} = 12\ \Omega\,. \qquad \textbf{[1 т.]}$$

То съвпада със съпротивлението на лампата при най-силно светене **[0,5 т.]**. Следователно в разглеждания интервал на напрежения и токове лампата има постоянно съпротивление **[1 т.]**.

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА
Казанлък, 11–13 април 2014 г.
Тема за 9. клас

Задача 1. Измерване на скоростта на електронен сноп

На фиг. 1 е показан уред за определяне на скоростта на електронен сноп. Плочата A на плосък кондензатор е заземена, а плочата B е свързана към земята през резистор със съпротивление R = 10^6 Ω и амперметър, както е показано на фигурата. Електроните навлизат в кондензатора през малък отвор в пластината A, движейки се перпендикулярно към нея. Разстоянието между пластините е d = 5 mm, а площта им – S = 10 cm^2.



Фиг. 1

А) Амперметърът отчита протичане на ток. Пречертайте схемата и означете посоката на тока през амперметъра. Дайте кратко обяснение (1-3 изречения) защо сте избрали тази посока. **[1 т]**

Б) Показанието на амперметъра започва да се увеличава и достига максимална стойност I = 1,5.10^{-5} A. Какво количество заряд Q се е натрупало на пластината B? **[4 т]**

В) С каква начална скорост v електроните навлизат в кондензатора? **[3 т]**

Г) За колко време t електроните изминават разстоянието от пластината A до пластината B? **[2 т]**

Данни

Елементарен електричен заряд, $e = 1{,}6.10^{-19}$ C;

Маса на електрона, $m = 9{,}1.10^{-31}$ kg;

Електрична константа, $\varepsilon_0 = 8{,}85.10^{-12}$ F/m

Задача 2. Батерия

Иван разполагал с голям брой различни резистори, които свързвал един след друг към батерия. За всеки от резисторите измервал тока във веригата и напрежението върху резистора. След това нанесъл данните на графика, свързал нанесените точки и получил линията, показана на фиг. 2 – **вижте последния лист, който трябва да предадете заедно с решението.**

А) Начертайте схема на електрическата верига, която Иван използвал за измерване на тока и на напрежението. **[1 т]**

Б) Колко е най-голямото R_{max} и най-малкото R_{min} съпротивление на резисторите, с които Иван е разполагал? **[2 т]**

В) Отбележете върху графиката точка A, съответстваща на тока и на напрежението за резистор със съпротивление R = 10 Ω. Обяснете как сте построили тази точка. **[3 т]**

Г) Пресметнете електродвижещото напрежение $\mathcal{E}$ и вътрешното съпротивление r на батерията. **[4 т]**

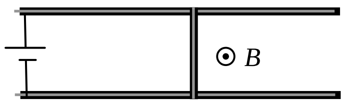
Задача 3.

Двете подусловия на задачата са независими.

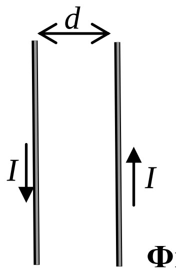
А) **Електромагнитно оръдие**

Върху две успоредни, хоризонтални метални релси е поставена тънка медна жичка. Дължината на жичката е равна на разстоянието между релсите, както е показано на фиг. 3 (а). Напречното сечение на жичката е S = 0,1 mm^2, а плътността на медта – $\rho = 8900\ \mathrm{kg/m^3}$. Релсите се намират в еднородно магнитно поле с индукция B = 0,1 T, насочена от чертежа към вас. Към тях е включен източник, който генерира постоянен ток I = 5 A, течащ по релсите и по жичката.

Пресметнете ускорението a, с което ще започне да се движи жичката и отбележете на чертеж неговата посока. **[4 т]**



Фиг. 3 (а)



Фиг. 3 (б)

Б) **Магнитни взаимодействия**

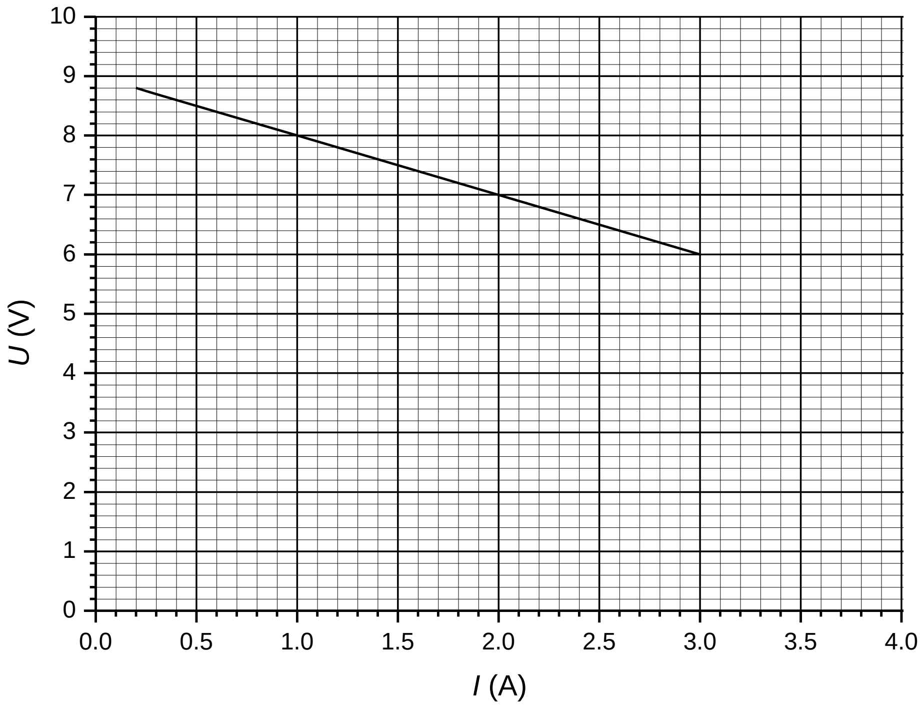
По два дълги успоредни проводника, намиращи се на разстояние d = 10 cm един от друг, текат в противоположни посоки еднакви по големина токове I = 10 A, както е показано на фиг. 3 (б).

- Определете големината B_0 и посоката на магнитната индукция на външно магнитно поле, което трябва да бъде приложено така, че върху проводниците да **не действат** сили. **[2 т]**
- При наличие на такова външно поле B_0, пресметнете големината B и определете посоката на магнитната индукция в точка, разположена по средата между двата проводника. **[4 т]**

Магнитната константа е $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \mathrm{T \cdot m/A}$

Към задача 2.

Внимание! Предайте този лист заедно с решението.

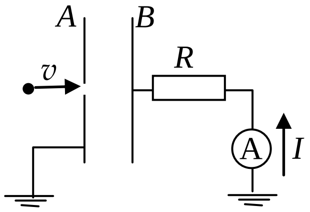


Фиг. 2

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА
Казанлък, 11–13 април 2014 г.
Решения на темата за 9. клас и критерии за оценяване

Задача 1. Измерване на скоростта на електронен сноп

А) Посоката на тока е означена на фигурата.



След като минат през отвора в пластината A, електроните попадат върху пластината B. Оттам те преминават последователно през резистора, амперметъра и земята. Понеже електроните са отрицателно заредени, посоката на тока е противоположна на посоката, в която те се движат.

Б) От закона на Ом следва, че потенциалната разлика между земята и пластината B е:

$$U = IR = 15\ \text{V}$$

Тъй като пластината A е заземена, напрежението между пластините също е U. Следователно, големината на заряда, натрупан върху всяка пластина на кондензатора е:

$$|Q| = CU$$

От формулата за капацитет на плосък кондензатор:

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d} = 1{,}77.10^{-12}\,\text{F}$$

Като вземем предвид, че пластината B е отрицателно заредена, намираме:

$$Q = -1{,}77.10^{-12}\ \text{F} \cdot 15\ \text{V} \approx -2{,}7 \cdot 10^{-11}\ \text{C}$$

В) Понеже електроните се отблъскват от отрицателно заредената пластина B, тяхната скорост намалява при движението им в кондензатора. Върху пластината B се натрупва заряд докато скоростта, с която електроните достигат пластината, не стане равна на нула. От закона за запазване на енергията следва:

$$\frac{mv^2}{2} = eU$$

откъдето:

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = \sqrt{\frac{2.1 \cdot 6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}.15\ \text{V}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}\ \text{kg}}} = 2{,}3 \cdot 10^{6}\ \text{m/s}$$

Г) Електроните в кондензатора се движат равнозакъснително, докато спрат напълно върху пластината B. От законите за скоростта и пътя следва:

$$d = \frac{at^2}{2}$$

$$v = at$$

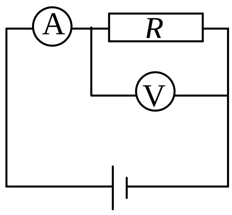
откъдето:

$$t = \frac{2d}{v} = 4{,}35 \cdot 10^{-9}\,\text{s}$$

Схема за оценяване на задача 1

	елемент от решението	**точки**
А)	Означава правилно посоката на тока	0,5
	Обосновава избора на посоката	0,5
Б)	Пресмята напрежението върху кондензатора	1,0
	Изразява заряда чрез напрежението и капацитета	1,0
	Прилага формулата за капацитет на плосък кондензатор	1,0
	Пресмята големината на заряда	0,5
	Съобразява отрицателния знак на заряда	0,5
В)	Съобразява, че електроните достигат с нулева скорост пластината *B*	1,0
	Прилага закона за запазване на енергията	1,0
	Изразява скоростта	0,5
	Пресмята числено скоростта	0,5
Г)	Записва закона за пътя при равнозакъснително движение	0,5
	Записва закона за скоростта при равнозакъснително движение	0,5
	Изразява времето	0,5
	Пресмята числено времето	0,5

Задача 2.
А) Схемата е дадена на фигурата.



.

Б) Най-голямо съпротивление отговаря на левия край на графиката, където напрежението е най голямо: $U_{\max} = 8{,}8$ V, а токът – най-малък:$I_{\min} = 0{,}2$ A. От закона на Ом намираме:

$$R_{\max} = \frac{U_{\max}}{I_{\min}} = 44\,\Omega$$

Най-малко съпротивление отговаря на десния край на графиката, където напрежението е най малко: $U_{\min} = 6$ V, а токът – най-голям:$I_{\max} = 3$ A. От закона на Ом намираме:

$$R_{\min} = \frac{U_{\min}}{I_{\max}} = 2\,\Omega$$

В) За резистор със зададено съпротивление $R = 10\ \Omega$, напрежението и тока са свързани със зависимостта:
$U = RI = 10I$
Графиката на тази зависимост е права, минаваща през началото на координатната система. За да построим графиката, е нужно да намерим още една нейна точка. Ако например положим $I = 1$ A, получаваме $U = 10$ V. Построяваме права, свързваща точките (0,0) и (1,10). Точка *A* е пресечна точка на двете графики.
Г) От закона на Ом за цялата верига:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

намираме:

$U = IR = \mathcal{E} - Ir$

Избираме две произволни точки от графиката, например крайните, и получаваме система от уравнения:

$8{,}8\text{V} = \mathcal{E} - 0{,}2\text{A} \cdot r$

$6\text{V} = \mathcal{E} - 3\text{A} \cdot r$

Оттук намираме:

$r = 1\ \Omega$

$\mathcal{E} = 9\ \text{V}$

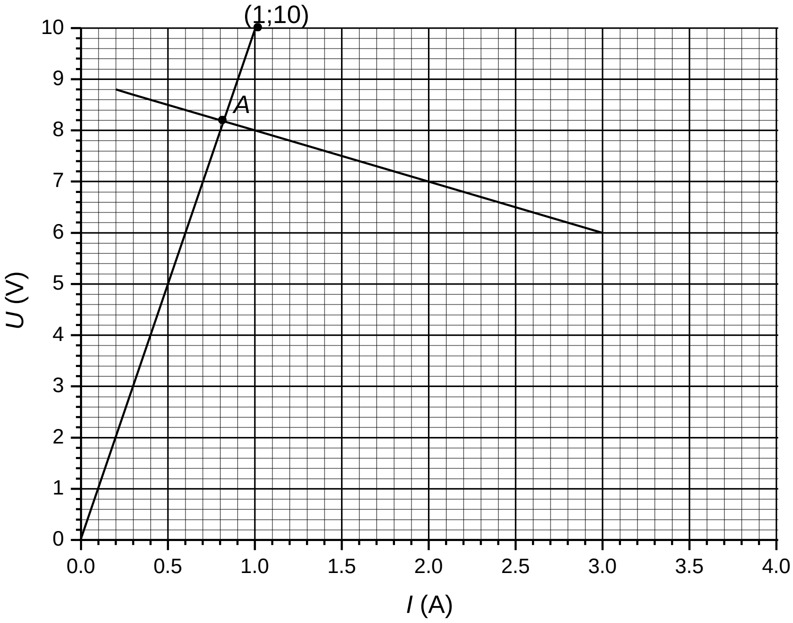
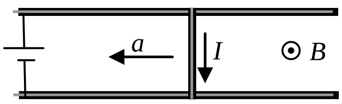


Схема за оценяване на задача 2

	елемент от решението	Точки
А)	Амперметърът е свързан успоредно на резистора.	0,5
	Волтметърът е свързан успоредно на резистора.	0,5
Б)	Посочва, че най-голямо съпротивление съответства на левия край на графиката и отчита съответния ток и напрежение	0,5
	Пресмята R_{max} по закона на Ом	0,5
	Посочва, че най-малко съпротивление съответства на десния край на графиката и отчита съответния ток и напрежение	0,5
	Пресмята R_{min} по закона на Ом	0,5
В)	Записва с формула връзката между ток и напрежение.	0,5
	Построява права по две точки по 0,5 т. на правилно построена точка. 0 т., ако правата не минава през началото на координатната система;	1,0
	Построява т. *A* като пресечна точка на двете графики. (0,5 т. ако точката е подбрана по чрез налучкване)	1,0
	Напрежението, съответстващо на т. *A*, е между 8 и 8.2 V	0.5
Г)	Записва закона на Ом за цялата верига.	1,0
	Извежда връзка между напрежението върху консуматора и тока във веригата.	1,0
	Отчита координатите на две точки и съставя система от уравнения.	1,0
	Пресмята r	0.5
	Пресмята $\mathcal{E}$	0.5

Задача 3.



А) На фигурата е показана посоката на тока през жичката. От правилото на изпънатите пръсти на дясната ръка определяме, че магнитната сила върху жичката, а следователно и нейното ускорение са насочени наляво.

Големината на магнитната сила е:

$F = IBL$

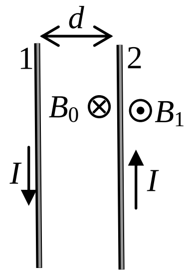
където L е дължината на жичката. Масата на жичката е:

$m = \rho SL$

От II принцип на Нютон намираме:

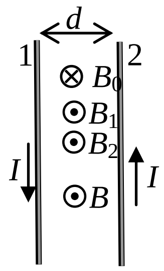
$$a = \frac{F}{m} = \frac{IB}{\rho S} \approx 562\ \mathrm{m/s}^2$$

Б) От правилото на свитите пръсти на дясната ръка определяме, че проводникът 1 създава по линията, на която е разположен проводника 2, магнитна индукция B_1, насочена от чертежа към нас. За да бъде нула силата, действаща на проводника 2, е нужно да приложим външно магнитно поле B_0, насочено към чертежа. Големините на двете полета трябва да бъдат равни:



$$B_0 = B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} = 2 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{T}$$

В точка, разположена между двата проводника, полето е суперпозиция на полетата B_1 и B_2, създадени от проводниците 1 и 2 съответно, и външното поле B_0. От правилото на свитите пръсти на дясната ръка определяме, че B_1 и B_2, са с еднакви посоки – от чертежа към нас. Следователно:



$B = B_1 + B_2 - B_0$

В точка, разположена на еднакви разстояния $d/2$ от двата проводника имаме:

$$B_1 = B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi d / 2} = 2B_0$$

Следователно сумарното поле има големина:

$$B = 3B_0 = 6 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{T}$$

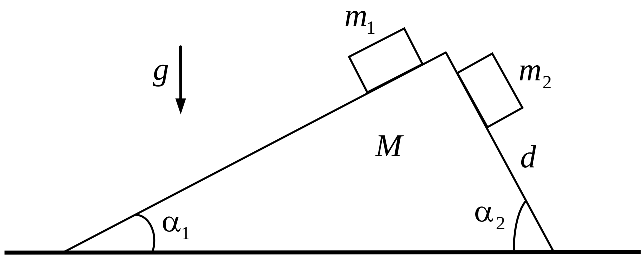
и е насочено от чертежа към нас.

Схема на оценяване на задача 3

	елемент от решението	**точки**
А)	Посочва правилната посока на магнитната сила и на ускорението.	0,5
	Аргументира избора с правилото на изпънатите пръсти на дясната ръка	0,5
	Записва израз за силата на Ампер.	1,0
	Изразява масата на жичката.	0,5
	Получава израз за ускорението.	1,0
	Пресмята ускорението числено.	0,5
Б)	Определя посоката на полето B_1 или обяснява, че между проводници, по които текат токове в противоположни посоки, действа сила на отблъскване.	0,5
	Прави извод, че B_0 е насочена противоположна на B_1 или посочва, че B_0 трябва да е насочена към чертежа, за да може магнитната сила от страна на външното поле да уравновесява силата на отблъскване между проводниците.	0,5
	Получава израз за B_0	0,5
	Пресмята числено B_0	0,5
	Определя посоките на полетата B_1 и B_2, между двата проводника	1,0
	Прилага принципа на суперпозиция и изразява резултантното поле B.	1,0
	Изразява големините на B_1 и B_2, за точка по средата между проводниците.	1,0
	Пресмята големината на резултантното поле B	0.5
	Прави извод, че индукцията B е насочена от чертежа към нас.	0,5

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА
Казанлък, 11 – 13 април 2014 г.
Тема за 10. – 12. клас

Задача 1. Трупчета върху призма



Фиг. 1

Върху идеално гладка равнина е поставена призма с маса M, чиито околни стени представляват идеално гладки наклонени равнини, които сключват ъгли α_1 и α_2 с хоризонта, както е показано на фиг. 1. От най-високата точка на призмата са пуснати без начална скорост две малки трупчета с маси m_1 и m_2.

А) Какво би трябвало да е отношението m_1/m_2, за да остане призмата неподвижна? **[3 точки]**

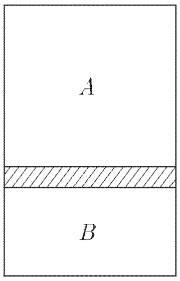
Б) Намерете израз за големината на ускорението a_0, с което ще се движи призмата преди някое от трупчетата да стигне до хоризонталната плоскост, при произволни стойности на параметрите в задачата. Получете изрази за големините на ускоренията a_1 и a_2 на трупчетата спрямо призмата. **[8 точки]**

В) Нека $\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 60^\circ$, $m_1/M = 0{,}1$, $m_2/M = 0{,}2$, а земното ускорение $g = 10\,\text{m/s}^2$. На колко са равни числените стойности на големините на ускоренията a_0, a_1 и a_2? Каква е посоката на движение на призмата? **[2 точки]**

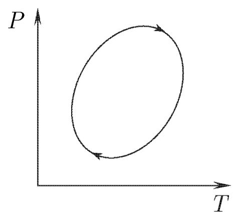
Г) За колко време t второто (дясното) трупче ще достигне хоризонталната плоскост, ако разстоянието, което трябва да измине, е $d = 50$ cm? **[2 точки]**

Задача 2. В задачата част А и част Б са независими.

Част А. Във вертикален цилиндричен съд под и над подвижното бутало се намират еднакви количества идеален газ (фиг. 2.1.) Буталото се движи в цилиндъра без триене. При началната температура отношението на обемите на двата газа е $V_1^A / V_1^B = n$. На колко ще бъде равно отношението $x = V_2^A / V_2^B$, когато температурата е k пъти по-голяма от началната температура? **[9 точки]**



Фиг. 2.1.



Фиг. 2.2.

Част Б. На фиг. 2.2. е представен цикличен процес, който се извършва с фиксирано количество идеален газ.

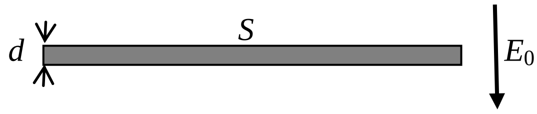
А) Намерете чрез построение точките от графиката на процеса, в които обемът на газа е минимален и максимален. Обяснете построението. **[4 точки]**

Б) Определете участъците от цикличния процес, на който газът се разширява и на който се свива. **[2 точки]**

Задача 3. Електростатична индукция

От уроците по физика знаете, че ако поставите електронеутрално парче метал във външно електростатично поле, върху повърхността на метала се натрупват индуцирани заряди. Знаете ли обаче колко бързо се натрупват тези заряди? Ами няма ли електроните в метала да „свършат”, ако приложеното поле е прекалено силно? Тази задача ще ви помогне да си отговорите на тези въпроси.

Електронеутрална медна пластинка с дебелина d = 1 mm и площ S = 10 cm^2 е поставена във външно електрично поле с интензитет E_0 = 3·10^6 V/m, насочен перпендикулярно на пластината.



А) Пречертайте фигурата и означете знаците на ивдуцираните заряди върху горната и долната повърхност на пластината. Дайте кратка (1–3 изречения) обосновка защо сте избрали тези знаци на зарядите. Приемете, че върху страничните повърхности не се натрупват заряди. **[2 точки]**

Б) Намерете големината Q на зарядите, индуцирани върху горната и долната повърхност след установяване на електростатично равновесие. **[5 точки]**

В) Каква относителна част η от свободните електрони в пластинката се натрупват върху нейната повърхност?

Приемете, че всеки атом на медта отдава един свободен електрон. **[3 точки]**

Г) Веднага след поставянето на пластината във външното поле, върху повърхността й все още няма натрупани заряди. Какъв ток I протича между горната и долната повърхност на пластината в този момент? **[3 точки]**

Не разглеждайте ефекти, свързани с индуктивността на системата и с инертността на електроните.

Д) Приблизително за колко време t ще се натрупат индуцираните заряди върху повърхността? Посочете накратко (1–3 изречения) защо вашата оценка за времето е приблизителна. **[2 точки]**

Данни:

Електрична константа, $\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}$ F/m;

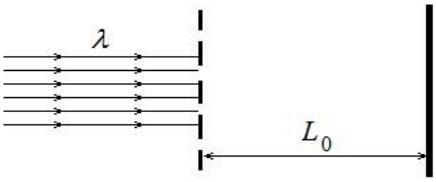
Елементарен електричен заряд, $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C;

Специфично съпротивление на медта, $\rho = 1{,}68 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot \mathrm{m}$;

Плътност на медта, $\rho_w = 8{,}90 \times 10^3$ kg/m^3;

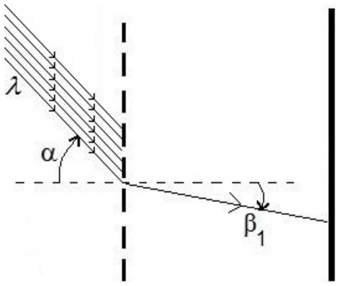
Маса на атома на медта, $M = 1{,}0 \times 10^{-25}$ kg.

<u>Задача 4.</u> В двете подусловия се използва кохерентна монохроматична светлина с дължина на вълната $\lambda = 600\,\text{nm}$.



Фиг. 4.1

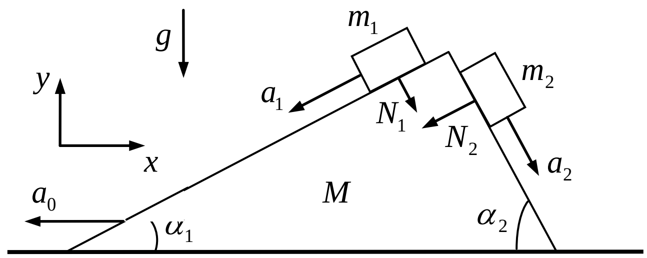
А) Светлинният сноп пада перпендикулярно върху дифракционна решетка с константа d (**Фиг. 4.1**). Дифракционната картина се наблюдава върху екран, разположен на разстояние L_0 от решетката. Опишете качествено как широчината на процепите влияе върху положението на максимумите. На какво разстояние L трябва да се премести екранът, така че положението на максимума от ($m+1$)-ви поря-дък при новото разстояние (т.е. L) да съвпада с положението на максимума от m-ти порядък при старото разстояние (т.е. L_0)? Каква е най-малката константа на решетката, при която може да се наблюдават максимуми от 5-ти порядък? **[4 точки]**



Фиг. 4.2

Б) Светлината пада под ъгъл α върху дифракционна решетка с константа d (**Фиг. 4.2**). На ъгли $\beta_1 \approx 14^\circ$ и $\beta_2 \approx 74^\circ$, измерени от една и съща страна на нормалата, се наблюдават два последователни максимума от дифракционната картина. Определете константата на решетката d. Колко максимума и при какви ъгли β могат да се наблюдават при този ъгъл на падане? Определете порядъците на съответните максимуми и ъгъла на падане α. **[11 точки]**

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА
Казанлък, 11 – 13 април 2014 г.
Решения на темата за 10. – 12. клас



Задача 1. Трупчета върху призма

А) В случая на неподвижна призма големините на силите, с които трупчетата действат на призмата, са $N_1 = m_1 g\cos\alpha_1$ **[0,5 т.]** и $N_2 = m_2 g\cos\alpha_2$ **[0,5 т.]** (посоките им са указани на фиг. 1). Хоризонталната компонента на сумата от техните вектори трябва да е равна на нула **[0,5 т.]**, за да е неподвижна призмата, което ни дава условието $m_1\cos\alpha_1\sin\alpha_1 = m_2\cos\alpha_2\sin\alpha_2$ **[1 т.]**, т.е. $\dfrac{m_1}{m_2} = \dfrac{\cos\alpha_2\sin\alpha_2}{\cos\alpha_1\sin\alpha_1} = \dfrac{\sin(2\alpha_2)}{\sin(2\alpha_1)}$. **[0,5 т.]**

Б) Параметрите са произволни, така че ускорението на призмата няма да има фиксирана посока. Нека приемем, че призмата ще се движи наляво. Ако тя се движи надясно, то a_0 ще бъде отрицателно, като няма да има промяна в получените изрази. Най-удобно е да се работи в отправна система, свързана неподвижно с призмата. **[1 т.]** По направленията, успоредни на наклонените равнини, ще имаме уравненията $m_1a_1 = m_1 g\sin\alpha_1 - m_1a_0\cos\alpha_1$ **[1 т.]** и $m_2a_2 = m_2 g\sin\alpha_2 + m_2a_0\cos\alpha_2$. **[1 т.]** Големините на силите, с които трупчетата действат на призмата, са $N_1 = m_1 g\cos\alpha_1 + m_1a_0\sin\alpha_1$ **[0,5 т.]** и $N_2 = m_2 g\cos\alpha_2 - m_2a_0\sin\alpha_2$. **[0,5 т.]** Вторият принцип на механиката, приложен към движението на призмата, дава $Ma_0 = N_2\sin\alpha_2 - N_1\sin\alpha_1$. **[1 т.]** От последните три уравнения следва, че $a_0 = \dfrac{m_2\sin\alpha_2\cos\alpha_2 - m_1\sin\alpha_1\cos\alpha_1}{M + m_1\sin^2\alpha_1 + m_2\sin^2\alpha_2}g$. **[1 т.]** Като заместим израза за a_0 в първите две уравнения, ще получим, че $a_1 = \dfrac{(M+m_1)\sin\alpha_1 - m_2\sin\alpha_2\cos(\alpha_1+\alpha_2)}{M + m_1\sin^2\alpha_1 + m_2\sin^2\alpha_2}g$ **[1 т.]**, а $a_2 = \dfrac{(M+m_2)\sin\alpha_2 - m_1\sin\alpha_1\cos(\alpha_1+\alpha_2)}{M + m_1\sin^2\alpha_1 + m_2\sin^2\alpha_2}g$. **[1 т.]**

В) Като заместим числените стойности на параметрите в изразите по-горе, ще получим $a_0 = 0{,}37$ m/s^2 **[0,5 т.]**, $a_1 = 4{,}7$ m/s^2 **[0,5 т.]** и $a_2 = 8{,}8$ m/s^2. **[0,5 т.]** a_0 е положително, така че призмата ще се движи наляво. **[0,5 т.]**

Г) Трупчето се движи равноускорително без начална скорост, т.е. $d = a_2 t^2 / 2$. **[1 т.]** Оттук $t = \sqrt{2d/a_2} = 0{,}34\,\mathrm{s}$. **[1 т.]**

Задача 2.

Част А. При начална температура T_1 от уравнението на състояние на всеки газ следва

$$p_1^A V_1^A = CT_1, \quad p_1^B V_1^B = CT_1, \qquad \textbf{[1 т.]}$$

откъдето получаваме

$$\frac{V_1^A}{V_1^B} = \frac{p_1^B}{p_1^A} = n. \qquad \textbf{[0.5 т.]}$$

Аналогично при крайна температура T_2 имаме

$$p_2^A V_2^A = CT_2, \quad p_2^B V_2^B = CT_2, \qquad \textbf{[1 т.]}$$

откъдето следва

$$\frac{V_2^A}{V_2^B} = \frac{p_2^B}{p_2^A} = x. \qquad \textbf{[0.5 т.]}$$

Тъй като обемът на цилиндъра е постоянен, в сила е равенството

$$V_1^A + V_1^B = V_2^A + V_2^B \quad \text{или} \quad V_1^A\left(1+\frac{1}{n}\right) = V_2^A\left(1+\frac{1}{x}\right), \qquad \textbf{[1 т.]}$$

а понеже силата на тежестта, действаща на буталото, се уравновесява от силите, породени от налягането, имаме

$$p_1^B - p_1^A = p_2^B - p_2^A \quad \text{или} \quad p_1^A(n-1) = p_2^A(x-1). \qquad \textbf{[1 т.]}$$

От почленното умножение на равенствата получаваме

$$p_1^A V_1^A \frac{n^2-1}{n} = p_2^A V_2^A \frac{x^2-1}{x}, \qquad \textbf{[1 т.]}$$

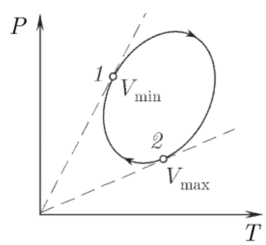
което можем да препишем във вид на квадратно уравнение

$$\frac{x^2-1}{x}=\frac{n^2-1}{n}\frac{T_1}{T_2}=\frac{n^2-1}{nk}\,, \qquad \textbf{[1 т.]}$$

откъдето намираме

$$x=\frac{n^2-1}{nk}+\sqrt{\left(\frac{n^2-1}{2nk}\right)^2+1}\,. \qquad \textbf{[2 т.]}$$

Част Б. А) Тъй като графиката на изобарния процес е част от права, минаваща през началото на $p-T$ диаграмата **[0,5 т.]**, търсените състояния (точки) се получават като общи точки на графиката на изобарен процес и цикличния процес **[0,5 т.]**. Понеже от уравнението на състояние на идеалния газ $p/T \sim 1/V$ **[1 т.]**, допирателната 1 определя обема $V_{\min}$, докато допирателната 2 – обема $V_{\max}$ (вж. фигурата).

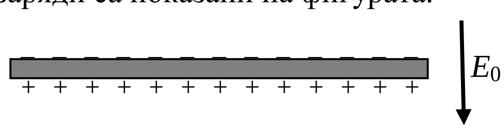


[2 т.]

Б) Газът се разширява в участъка $V_{\min} \to V_{\max}$ **[1 т.]**, а се свива в участъка $V_{\max} \to V_{\min}$. **[1 т.]**

<u>Задача 3.</u> Електростатична индукция

А) Знаците на индуцираните заряди са показани на фигурата.



[1 т]

Електроните, като отрицателно заредени частици, започват да се движат в посока, противоположна на посоката на интензитета и се натрупват по горната повърхност на пластината. Върху долната повърхност остава некомпенсиран положителен заряд. **[1 т]**

Б) Зарядите се натрупват по повърхността, докато създаденото от тях поле $\mathbf{E_{ind}}$ не компенсира изцяло външното поле:

$E_{\text{ind}} = E_0$ **[1 т]**

Електричното напрежение, дължащо се на това поле е:

$U = E_{\text{ind}}d = E_0 d$ **[1 т]**

Ако разгледаме двете повърхности на пластинката като плосък кондензатор, намираме за големината на натрупания заряд:

$Q = CU = CE_0 d$ **[1 т]**

където C е капацитетът на кондензатора. Като вземем предвид формулата за капацитет на плосък кондензатор, намираме:

$Q = \epsilon_0 S\, E_0$ **[1 т]**

Като заместим с числените данни, получаваме:

$Q = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\mathrm{F/m} \cdot 10^{-3}\mathrm{m}^2 \cdot 3 \cdot 10^6\mathrm{V/m} \approx 2{,}7 \cdot 10^{-8}\mathrm{C}$ **[1 т]**

В) Върху горната повърхност са натрупани:

$N_{\mathrm{ind}} = \frac{Q}{e} = 1{,}7 \cdot 10^{11}$електрона **[1 т]**

Общият брой електрони в пластинката е равен на общия брой атоми N. За да го определим, първо определяме масата на пластината:

$m = \rho_w S\, d = 8{,}9 \cdot 10^{-3}\mathrm{kg}$ **[1 т]**

откъдето:

$N = \frac{m}{M} = 8{,}9 \cdot 10^{22}$електрона **[0,5 т]**

Окончателно намираме:

$\eta = \frac{N_{\mathrm{ind}}}{N} = 1{,}9 \cdot 10^{-12}$ **[0,5 т]**

т.е. индуцираните върху повърхността на метала електрони са на много порядъци по-малко от общия брой свободни електрони.

Г) Можем да разглеждаме пластината като проводник с дължина d и напречно сечение S, и съответно със съпротивление:

$R = \frac{\rho d}{S}$ **[1 т]**

Токът, който ще тече веднага след поставянето в електрично поле е:

$I = \frac{U}{R} = \frac{E_0 S}{\rho}$ **[1 т]**

или

$I = \frac{3 \cdot 10^6 \mathrm{V/m} \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}^2}{1{,}68 \cdot 10^{-8}\Omega\cdot\mathrm{m}} = 1{,}78 \cdot 10^{11}\mathrm{A}$ **[1 т]**

Д) Ако приемем, че в пластинката тече постоянен ток докато се установи електростатично равновесие, индуцираният заряд ще се натрупа за време:

$t = \frac{Q}{I} = \epsilon_0 \rho = 1{,}5 \cdot 10^{-19}\mathrm{s}$ **[1 т]**

Направената оценка е приблизителна, защото при натрупване на заряди върху повърхностите на пластинката, напрежението между тях намалява. Съответно токът намялява, докато стане равен на нула, когато натрупването на заряди се преустанови. **[1 т]**

<u>Задача 4.</u>

А) Големината на процепите на дифракционната решетка не оказва влияние върху положението на главните максимуми. **[0,5 т]**

Условието за дифракционни максимуми е $d\sin\theta = m\lambda$, където m е цяло число. **[0,5 т]**

За малки ъгли $\sin\theta \approx tg\theta \approx x_m / L_0$, където x_m е координатата на m-тия максимум при старото разстояние. **[0,75 т]**

Оттук следва, че $x_m = m\lambda L_0 / d$. **[0,25 т]**

Аналогично, за координатата x'_{m+1} на $(m+1)$-вия максимум при новото разстояние получаваме $x'_{m+1} = (m+1)\lambda L / d$. **[0,25 т]**

По условие $x'_{m+1} = x_m$. Следователно $\dfrac{(m+1)\lambda L}{d} = \dfrac{m\lambda L_0}{d}$ или $L = \dfrac{m}{m+1} L_0$. **[0,5 т]**

Максимумите от 5-ти порядък се получават при ъгли θ, за които $\sin\theta = \pm 5\lambda / d$. Необходимо е $\dfrac{5\lambda}{d} \le 1$. **[0,75 т]**

Следователно, най-малката константа на решетката, за която това неравенство е изпълнено е $d = 5\lambda = 3\ \mu\text{m}$. **[0,5 т]**

б) Разликата в ходовете на лъчите, минаващи през два съседни процепа, за ъглите β_1 и β_2 е съответно $\Delta_1 = d\left(\sin\beta_1 - \sin\alpha\right)$ и $\Delta_2 = d\left(\sin\beta_2 - \sin\alpha\right)$ (алтернативно: допуска се $\Delta_{1,2} = d\left(\sin\beta_{1,2} + \sin\alpha\right)$ в случай, че е избрана другата страна на нормалата, като решението ще се промени по съответния начин). **[1 т]**

Условието за максимум е $\Delta = m\lambda$, където m е порядъкът на съответния максимум. **[0,5 т]**

Нека под ъгъл β_1 се наблюдава максимум от порядък m_0, а под ъгъл β_2 се наблюдава максимум от порядък $m_0 + 1$, т.е. следващият. **[0,75 т]**

Следователно е изпълнено $\left| \begin{array}{r} d\left(\sin\beta_1 - \sin\alpha\right) = m_0\lambda \\ d\left(\sin\beta_2 - \sin\alpha\right) = \left(m_0 + 1\right)\lambda \end{array} \right.$. **[0,75 т]**

Изваждаме почленно двете уравнения и получаваме $d\left(\sin\beta_2 - \sin\beta_1\right) = \lambda$, откъдето определяме константата на решетката $d = \lambda / \left(\sin\beta_2 - \sin\beta_1\right) \approx 0{,}83\ \mu\text{m}$. **[0,75 т]**

За максимум от произволен порядък m и за максимум от порядък m_0 имаме: $\left| \begin{array}{l} d\left(\sin\beta_m - \sin\alpha\right) = m\lambda \\ d\left(\sin\beta_1 - \sin\alpha\right) = m_0\lambda \end{array} \right.$, където β_m е ъгълът, под който се наблюдава максимума от m-ти порядък. Изваждаме почленно уравненията и заместваме израза за d, при което получаваме $\sin\beta_m = \sin\beta_1 + \left(m - m_0\right)\left(\sin\beta_2 - \sin\beta_1\right)$. **[1 т]**

Стойностите на m и m_0 трябва да са такива, че $\left|\sin\beta_m\right| \le 1$. **[0,75 т]**

Понеже $\beta_1 \approx 14^\circ$ и $\beta_2 \approx 74^\circ$, горното уравнение става $\sin\beta_m = 0{,}24 + 0{,}72\left(m - m_0\right)$. **[0,5 т]**

При $m-m_0=0$ имаме $\sin\beta_m=\sin\beta_1=0,24$, т.е. $\beta_m=\beta_1\approx 14^{\circ}$. **[0,75 т]**

При $m-m_0=1$ имаме $\sin\beta_m=\sin\beta_2=0,96$, т.е. $\beta_m=\beta_2\approx 74^{\circ}$. **[0,75 т]**

При $m-m_0=-1$ имаме $\sin\beta_m=-0,48$, т.е. $\beta_m\approx -29^{\circ}$. **[0,75 т]**

Други стойности на $m-m_0$ не са позволени. Наблюдават се три максимума. **[0,75 т]**

Алтернативно: могат да се получат други знаци за ъглите в зависимост от избраната посока на измерването им.

От условието за максимуми $d\left(\sin\beta-\sin\alpha\right)=m\lambda$ определяме порядъците на максимумите:

1) $m=0$, $\beta=\beta_1\approx 14^{\circ}$ **[0,5 т]**

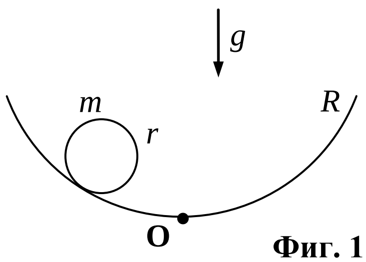
2) $m=1$, $\beta=\beta_3\approx -29^{\circ}$ **[0,5 т]**

3) $m=-1$, $\beta=\beta_2\approx 74^{\circ}$ **[0,5 т]**

Ъгълът на падане е $\alpha=\beta_1\approx 14^{\circ}$. **[0,5 т]**

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА
Казанлък, 11–13 април 2014 г.
Тема за 10.–12. клас – II етап

<u>Задача 1.</u> Търкалящо се кълбо



Фиг. 1

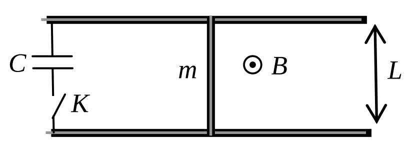
Върху вътрешната страна на неподвижна сфера с радиус $R = 60$ cm е оставено свободно да се търкаля без хлъзгане еднородно кълбо с маса $m = 1$ kg и радиус $r = 7$ cm, както е показано на фиг. 1. В началния момент от времето кълбото е неподвижно. Може да използвате, че инерчният момент на кълбото спрямо ос, минаваща през центъра му, е равен на $I = 2mr^2/5$. Приемете, че земното ускорение е $g = 10$ m/s^2.

А) Ако първоначално центърът на кълбото е на височина $2r$ над най-ниската точка от сферата **O**, намерете големината на скоростта v на центъра на кълбото, когато той се намира в най-ниската точка от своята траектория. **[2 т.]**

Б) На колко е равен периодът T на малките трептения, които извършва кълбото, когато е оставено да се търкаля в непосредствена близост до т. **O**? За малки ъгли в радиани е изпълнено, че $\sin\theta \approx \theta$. **[4 т.]**

<u>Задача 2.</u> Електромагнитно оръдие

Върху две успоредни, хоризонтални метални релси е поставена метална пръчка с маса m = 1,0 g и със съпротивление R = 0.5 Ω. Дължината на пръчката е равна на разстоянието между релсите L = 10 cm, както е показано на фиг. 2. Релсите се намират в еднородно магнитно поле с индукция B = 0,1 T, насочена от чертежа към вас. Към релсите е свързан кондензатор с капацитет C = 1.0 F, зареден до начално напрежение U_0 = 5,0 V. Индуктивността на системата се пренебрегва.



Фиг. 2

А) След затваряне на ключа K, пръчката започва да се движи надясно (да се отдалечава от кондензатора). Означете на чертеж знаците на зарядите върху плочите на кондензатора. **[0,5 т]**

Б) Пресметнете ускорението a_0 на пръчката непосредствено след затварянето на ключа. **[1,0 т]**

В) Получете израз и пресметнете граничната скорост v_∞, която би достигнала пръчката, ако дължината на релсите не беше ограничена. **[3,0 т]**

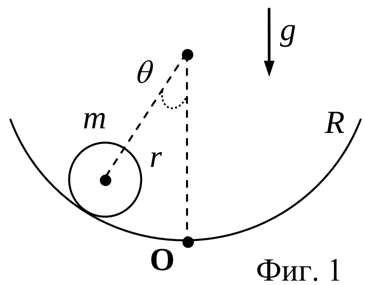
Г) При каква индукция B на полето пръчката би достигнала максимална гранична скорост $v_{\max}$? Пресметнете големината на $v_{\max}$. **[2,5 т]**

<u>Задача 3.</u> Разсейване на Менделщам – Брилюен в течности

В течност с показател на пречупване n се разпространява звукова вълна със скорост u. Течността се облъчва с монохроматичен светлинен лъч с честота ν и с дължина на вълната λ във вакуум. След проникването и взаимодействието му с течността се наблюдават допълнително разсеяни лъчи, които сключват ъгъл θ с падащия лъч, и чиято честота е $\nu' = \nu - \Omega$ и $\nu'' = \nu + \Omega$. Като използвате корпускулярни представи както за светлината (фотони), така и за механичните трептения (фонони), определете честотата Ω. Процесите на взаимодействие включват фотон с честота ν, който излъчва фонон с честота Ω, при което се появява фотон с честота $\nu' = \nu - \Omega$ и взаимодействие на фотон с честота ν, който поглъща фонон с честота Ω, при което се появява фотон с честота $\nu'' = \nu + \Omega$. При пресмятанията използвайте, че скоростта на механичната вълна е много по-малка от скоростта на светлината в течността. **[7 т]**

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА
Казанлък, 11–13 април 2014 г.
Решения на темата за 10.–12. клас – II етап

<u>Задача 1.</u> Търкалящо се кълбо



Фиг. 1

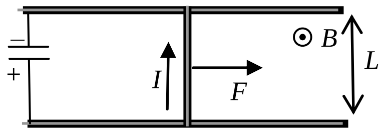
а) В началния момент кинетичната енергия на кълбото е нула, а потенциалната енергия спрямо т. **O** е $2mgr$. В момента, когато центърът на кълбото се намира в най-ниската точка от своята траектория, кинетичната енергия е равна по теоремата на Кьониг на сумата $\frac{mv^2}{2}+\frac{I\omega^2}{2}$, където $\omega=\frac{v}{r}$ е ъгловата скорост на кълбото спрямо моментната ос на въртене, която минава през допирната точка на кълбото със сферата, а потенциалната енергия е mgr. Като използваме закона за запазване на механичната енергия $\frac{mv^2}{2}+\frac{I\omega^2}{2}=mgr$, намираме, че $v=\sqrt{\frac{10gr}{7}}=1$ m/s. **[2 т.]**

б) По време на движението на кълбото нека да означим с θ малкия ъгъл, който сключва правата, която свързва центъра на кълбото с центъра на сферата, с правата, която свързва центъра на сферата с т. **O**, както е показано на фиг. 1. От втория принцип на механиката следва, че $ma=mg\sin\theta-f$, където a е големината на ускорението на центъра на кълбото, а f е силата на триене при търкаляне, която е свързана с ъгловото ускорение на кълбото ε спрямо моментната ос на въртене посредством уравнението $fr=I\varepsilon$. Като използваме, че $\varepsilon=a/r$, получаваме за ускорението на кълбото $a=\frac{mg\sin\theta}{m+I/r^2}=\frac{5g\sin\theta}{7}$.

Търкалянето е без хлъзгане, така че имаме следната връзка: $(R-r)\dot{\theta}=r\dot{\varphi}$, където φ е ъгълът на завъртане на кълбото около моментната ос на въртене. Като използваме също така определението: $\varepsilon=\ddot{\varphi}$, получаваме следното уравнение: $\ddot{\theta}=-\frac{5g\sin\theta}{7(R-r)}$, като отрицателният знак е следствие от факта, че ъгловото ускорение е в посока на намаляване на θ. Като използваме, че за малки ъгли $\sin\theta\approx\theta$, получаваме, че $\ddot{\theta}+\frac{5g\theta}{7(R-r)}=0$, т.е. кълбото извършва хармонични трептения с период $T=2\pi\sqrt{\frac{7(R-r)}{5g}}=1{,}7$ s. **[4 т.]**

<u>Задача 2</u>. Електромагнитно оръдие

А)



(0,5 т)

Б) $I_0 = \dfrac{U_0}{R}$ **(0,2 т)**

$F_0 = I_0 BL = \dfrac{U_0 BL}{R}$ **(0,2 т)**

$\boxed{a_0 = \dfrac{F_0}{m} = \dfrac{U_0 BL}{mR} = 100\,\mathrm{m/s^2}}$ **(0,6 т)**

В) $m\dfrac{dv}{dt} = IBL$ **(0,5 т)**

$I = -\dfrac{dq}{dt}$ **(0,5 т)**

$\Rightarrow mv = BL(q_0 - q) = CBL(U_0 - U)$ **(0,5 т)**

$U_\infty = v_\infty BL$ **(0,5 т)**

$\Rightarrow (m + CB^2L^2)v_\infty = CBLU_0$

$\boxed{v_\infty = \dfrac{CBLU_0}{m + CB^2L^2} = 45.5\,\mathrm{m/s}}$ **(1,0 т)**

Г) $\dfrac{dv_\infty}{dB} = CLU_0 \dfrac{m - CB^2L^2}{(m + CB^2L^2)^2} = 0$ **(0,5 т)**

$\boxed{\Rightarrow B = \dfrac{1}{L}\sqrt{\dfrac{m}{C}} = 0.316\,\mathrm{T}}$ **(1,0 т)**

$\boxed{v_{\max} = \dfrac{U_0}{2}\sqrt{\dfrac{C}{m}} = 79.1\,\mathrm{m/s}}$ **(1,0 т)**

<u>Задача 3</u>. Корпускулярни характеристики са енергията и импулса. Ще разгледаме процес с поглъщане на фонон. За падащия фотон енергията и импулса по големина са равни на $h\nu$ и $h\nu/\bar{c} = nh\nu/c$, за разсеяния фотон са $h\nu''$ и $h\nu''/\bar{c} = nh\nu''/c$, а за фонона – $h\Omega$ и $h\Omega/u$ **[1 т.].** От закона за запазване на енергията имаме

$$h\nu'' = h\nu + h\Omega \Rightarrow \nu'' = \nu + \Omega, \qquad \textbf{[1 т.]}$$

а от закона за запазване на импулса следват равенствата

$$(nh\nu''/c)\cos\theta = nh\nu/c + (h\Omega/u)\cos\alpha \Rightarrow (n\nu''/c)\cos\theta = n\nu/c + (\Omega/u)\cos\alpha, \qquad \textbf{[1 т.]}$$

$$(nh\nu''/c)\sin\theta = (h\Omega/u)\sin\alpha \Rightarrow (n\nu''/c)\sin\theta = (\Omega/u)\sin\alpha\,.$$ **[1 т.]**

Ъгълът между импулса на падащия фотон и импулса на разсеяния фотон е θ, а ъгълът между падащия фотон и фонона е α. Като изключим от горните уравнения ъгъла α и ν'' и отчетем условието $u << c/n$, получаваме квадратното уравнение

$$x^2 - \left(\frac{2nu}{c}\sin\frac{\theta}{2}\right)^2 x - \left(\frac{2nu}{c}\sin\frac{\theta}{2}\right)^2 = 0\,,$$ **[1 т.]**

където $x = \Omega/\nu$. Решението на уравнението е

$$x = \frac{1}{2}\left\{\left(\frac{2nu}{c}\sin\frac{\theta}{2}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{2nu}{c}\sin\frac{\theta}{2}\right)^4 + 4\left(\frac{2nu}{c}\sin\frac{\theta}{2}\right)^2}\right\} =$$

$$= \left(\frac{2nu}{c}\sin\frac{\theta}{2}\right)\left\{\left(\frac{nu}{c}\sin\frac{\theta}{2}\right) + \sqrt{\left(\frac{nu}{c}\sin\frac{\theta}{2}\right)^2 + 1}\right\} \approx$$

$$\approx \frac{2nu}{c}\sin\frac{\theta}{2}\,.$$ **[1,5 т.]**

Тук е отчетено, че $nu/c << 1$, при което намираме

$$\Omega = \frac{2nu\nu}{c}\sin\frac{\theta}{2}\,.$$ **[0,5 т.]**

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЗАДАЧА

Определяне на хоризонталната компонента на магнитното поле на Земята и магнитния момент на постоянен магнит

Теоретична част

Вибрационният магнитометър представлява магнит, окачен хоризонтално на тънка нишка. В покой магнитът се ориентира по магнитното поле на Земята. При малко отклонение от равновесното му положение под действието на земното магнитно поле възниква въртящ момент, който се стреми да върне магнита в равновесно положение. Заради инертността си, магнитът подминава точката на равновесие, при което отново възниква въртящ момент, който се стреми да върне магнита обратно в равновесното му положение. Това води до осцилации с период:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mB_H}}\,, \tag{1}$$

където I е инерчният, а m магнитният момент на магнита, B_H е големината на хоризонталната компонента на магнитното поле на Земята. Инерчният момент на цилиндричен магнит през ос, минаваща през средата му и перпендикулярна на оста му е

$$I = M\,\frac{3r^2 + L^2}{12}\,, \tag{2}$$

където M е масата на магнита, r е неговият радиус, а L е дължината му. Усукващият момент на нишката може да се пренебрегне при осцилациите в тази конфигурация.

Дефлекционният магнитометър се състои от милиметрова скала, компас и постоянен магнит. Постоянният магнит създава по оста си магнитно поле което се дава с израза:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2mx}{(x^2 - l^2)^2}\,, \tag{3}$$

където x е разстоянието от центъра на магнита до произволна точка по оста му извън магнита, а l е полудължината на магнита.

Под действието само на земното магнитно поле стрелката на компаса е в равновесие и се ориентира по него. Под действието на две взаимноперпендикулярни магнитни полета, това на Земята и другото от постоянния магнит, стрелката достига ново равновесно положение при ъгъл θ, спрямо началното равновесно положение.

Така стрелката се ориентира по посока на резултантното магнитно поле, като е изпълнено условието:

$$\tan\theta = \frac{B}{B_H}\,. \tag{4}$$

Уреди и материали

- Компас ....1 бр.
- Поставка с фиксирана към нея милиметрова линия ....1 бр.
- Постоянен магнит..1 бр.
- Държател за магнита ....1 бр.
- Стойка с похлупак ....1 бр.
- Хронометър ....1 бр.
- Архивен кашон ....1 бр.
- Милиметрова хартия. ....1 л.

Указания

- Разположете установките в средата на работната си маса върху предоставения архивен кашон, за да не влияят металните й части върху измерванията.
- Магнитът се състои от 4 броя къси цилиндрични магнита. Използвайте ги заедно.
- Пластмасовия държател за магнита използвайте при измерванията с дефлекционния магнитометър.
- Червената част на стрелката на компаса е северният й полюс.
- Не драскайте по милиметровата линия.

Необходими величини:

- Характеристики на четириелементния постоянния магнит:
    - Намагнитване – двуполюсно по дължина (по оста на цилиндъра);
    - Дължина L = (31.7±0.1)mm
    - радиус r =(9.4±0.1) mm
    - маса M =(42.7±0.1)g

Необходими константи:

- Магнитна проницаемост на вакуум - $\mu_{0=} 4\pi \times 10^{-7}\ TmA^{-1}$

Задачи

1. Определяне на периода на трептене на постоянния магнит с вибрационния магнитометър.
    1.1 Пресметнете инерчния момент на магнита около ос, минаваща през средата му и перпендикулярна на оста му. Определете абсолютната и относителна грешки. **[2 т.]**
    1.2 Определете периода на трептене на магнита, неговата относителна и абсолютна грешки. **[3 т.]**
    1.3 Получете произведението mB_H . Определете грешките в резултата. **[2 т.]**

2. Използвайки дефлекционния магнитометър, изследвайте зависимостта на отклонението на стрелката на компаса от положението на магнита.
    2.1. Определете полюсите на магнита и го поставете по съответния начин в държателя.
    2.2. Начертайте схема на опитната постановка, която ще използвате. Отбележете разположението и полюсите на постоянния магнит, посоката на земното магнитно поле и посоката на завъртане на стрелката на компаса. **[2 т.]**
    2.3. Представете зависимостта $\theta(x)$ таблично, оценете абсолютната грешка на единичното измерване. **[2 т.]**
    2.4. Представете зависимостта от 2.2. в подходящи променливи, така че да е права линия. **[2 т.]**
    2.5. Определете графично отношението m / B_H и оценете грешките. **[3.5 т.]**

3. Определете хоризонталната компонента на магнитното поле на Земята и магнитния момент.
    3.1. Получете изрази за магнитния момент на магнита и хоризонталната компонента на магнитното поле на Земята. **[1.5 т.]**
    3.2. Пресметнете величините от т. 3.1. **[1 т.]**
    3.3. Определете относителните и абсолютни грешки. **[1 т.]**

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЗАДАЧА - РЕШЕНИЕ

Определяне на хоризонталната компонента на магнитното поле на Земята и магнитния момент на постоянен магнит

Теоретична част

Вибрационният магнитометър представлява магнит, окачен хоризонтално на тънка нишка. В покой магнитът се ориентира по магнитното поле на Земята. При малко отклонение от равновесното му положение под действието на земното магнитно поле възниква въртящ момент, който се стреми да върне магнита в равновесно положение. Заради инертността си, магнитът подминава точката на равновесие, при което отново възниква въртящ момент, който се стреми да върне магнита обратно в равновесното му положение. Това води до осцилации с период:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mB_H}}\,, \tag{1}$$

където I е инерчният, а m магнитният момент на магнита, B_H е големината на хоризонталната компонента на магнитното поле на Земята. Инерчният момент на цилиндричен магнит през ос, минаваща през средата му и перпендикулярна на оста му е

$$I = M\,\frac{3r^2 + L^2}{12}\,, \tag{2}$$

където M е масата на магнита, r е неговият радиус, а L е дължината му. Усукващият момент на нишката може да се пренебрегне при осцилациите в тази конфигурация.

Дефлекционният магнитометър се състои от милиметрова скала, компас и постоянен магнит. Постоянният магнит създава по оста си магнитно поле което се дава с израза:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2mx}{(x^2 - l^2)^2}\,, \tag{3}$$

където x е разстоянието от центъра на магнита до произволна точка по оста му извън магнита, а l е полудължината на магнита.

Под действието само на земното магнитно поле стрелката на компаса е в равновесие и се ориентира по него. Под действието на две взаимноперпендикулярни магнитни полета, това на Земята и другото от постоянния магнит, стрелката достига ново равновесно положение при ъгъл θ, спрямо началното равновесно положение.

Така стрелката се ориентира по посока на резултантното магнитно поле, като е изпълнено условието:

$$\tan\theta = \frac{B}{B_H}\,. \tag{4}$$

Уреди и материали

- Компас ....1 бр.
- Поставка с фиксирана към нея милиметрова линия ....1 бр.
- Постоянен магнит...1 бр.
- Държател за магнита ....1 бр.
- Стойка с похлупак ....1 бр.
- Хронометър ....1 бр.
- Архивен кашон ....1 бр.
- Милиметрова хартия. ....1 л.

Указания

- Разположете установките в средата на работната си маса върху предоставения архивен кашон, за да не влияят металните й части върху измерванията.
- Магнитът се състои от 4 броя къси цилиндрични магнита. Използвайте ги заедно.
- Пластмасовия държател за магнита използвайте при измерванията с дефлекционния магнитометър.
- Червената част на стрелката на компаса е северният й полюс.
- Не драскайте по милиметровата линия.

Необходими величини:

- Характеристики на четириелементния постоянния магнит:
    - Намагнитване – двуполюсно по дължина (по оста на цилиндъра);
    - Дължина L = (31.7±0.1)mm
    - радиус r =(9.4±0.1) mm
    - маса M =(42.7±0.1)g
    -

Необходими константи:

- Магнитна проницаемост на вакуум - $\mu_{0=} 4\pi \times 10^{-7}\ TmA^{-1}$

Задачи

1. **Определяне на периода на трептене на постоянния магнит с вибрационния магнитометър.**

1.1 Пресметнете инерчния момент на магнита около ос, минаваща през средата му и перпендикулярна на оста му. Определете абсолютната и относителна грешки. [2 т.]

Стойността на инерчния момент на магнита се пресмята по формула (2) $I = M\dfrac{3r^2 + L^2}{12} = 4.52 \times 10^{-6}\ kg.m^2$ **[1 т.]**

Относителна грешка:

$\dfrac{\Delta I}{I} = \dfrac{\Delta M}{M} + \dfrac{6r\Delta r + 2L\Delta L}{3r^2 + L^2} = 0.01,\ \dfrac{\Delta I}{I} = 1\,\%$ **[0.5 т.]**

Абсолютна грешка: $\Delta I = 0.01 \times I = 0.05 \times 10^{-6}\ kg.m^2$ **[0.5 т.]**

Краен резултат: $I = (4.52 \pm 0.05) \times 10^{-6}\ kg.m^2$

1.2 Определете периода на трептене на магнита, неговата относителна и абсолютна грешки. [3 т.]

За по-добра точност се измерват няколко периода наведнъж (поне $n=10$), няколко пъти (поне $N=5$). **[2 т.]**

N	t, s	n	T=t/n, s	$\bar{T} - T_i$, s	$\left(\bar{T} - T_i\right)^2$, s
1	17.40	10	1.740	-0.01483	0.000220028
2	17.30	10	1.730	-0.00483	0.000023361
3	17.07	10	1.707	0.018167	0.000330028
4	17.39	10	1.739	-0.01383	0.000191361
5	16.93	10	1.693	0.032167	0.001034694
6	17.42	10	1.742	-0.01683	0.000283361
		$\bar{T}$, s	1.725		

Средна стойност на периода: $\bar{T} = 1.725\, s$;

Стандартно отклонение: $\Delta T = \sqrt{\dfrac{\Sigma(\bar{T} - T_i)^2}{N-1}} = 0.02$ s **[0.5 т.]**

Относителна грешка: $\dfrac{\Delta T}{T} = 0.01$, $\dfrac{\Delta T}{T} = 1\%$ **[0.5 т.]**

Краен резултат:
$T = (1.73 \pm 0.02)\, s$

1.3 Получете произведението mB_H. Определете грешките в резултата. [2 т.]

От уравнение (1) се получава: $mB_H = \dfrac{4\pi^2 I}{T^2} = 5.9 \times 10^{-5}\ kgm^2s^{-2}$ **[1 т.]**

Означение $z = mB_H$

Относителна грешка: $\dfrac{\Delta z}{z} = \dfrac{\Delta I}{I} + 2\dfrac{\Delta T}{T} = 0.03$, $\dfrac{\Delta z}{z} = 3\%$ **[0.5 т.]**

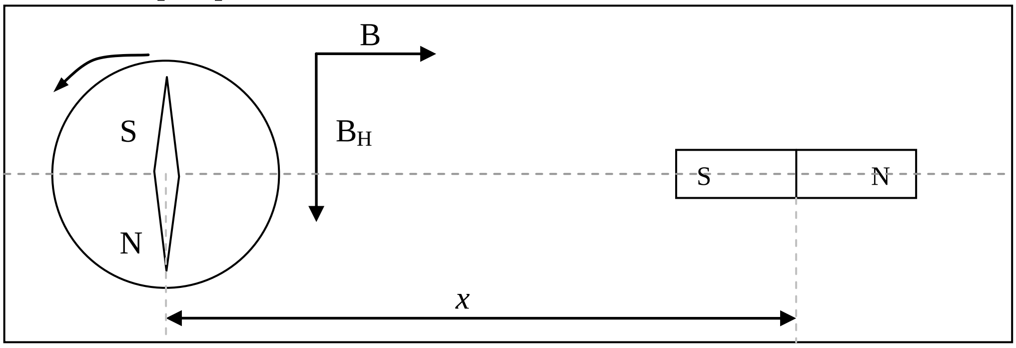
Абсолютна грешка: $\Delta z = z \times 0.03 = 0.2\ kgm^2s^{-2}$ **[0.5 т.]**

Краен резултат: $z = (5.9 \pm 0.2) \times 10^{-5}\ kgm^2s^{-2}$

2. Използвайки дефлекционния магнитометър, изследвайте зависимостта на отклонението на стрелката на компаса от положението на магнита.

2.1. Определете полюсите на магнита и го поставете по съответния начин в държателя.

2.2. Начертайте схема на опитната постановка, която ще използвате. Отбележете разположението и полюсите на постоянния магнит, посоката на земното магнитно поле и посоката на завъртане на стрелката на компаса [2 т.]



2.3. Представете зависимостта $\theta(x)$ таблично, оценете абсолютната грешка на единичното измерване. [2 т.]

Отчитане на ъгъла при поне 5 стойности на *x*. **[1.5 т.]**

x, m	θ, deg
0.352	30
0.337	36
0.317	40
0.300	46
0.283	50
0.271	54
0.254	60
0.240	66
0.223	70
0.212	74
0.182	80

Грешка на единичното измерване: $\Delta x = 2\,mm$; $\Delta\theta = 2^\circ$ **[0.5 т.]**

2.4.Представете зависимостта от 2.3. в подходящи променливи, така че да е права линия. [2 т.]

От уравнения (3) и (4) се получава: $\frac{B_H}{m} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2x}{(x^2-l^2)^2}\frac{1}{\tan\theta}$.

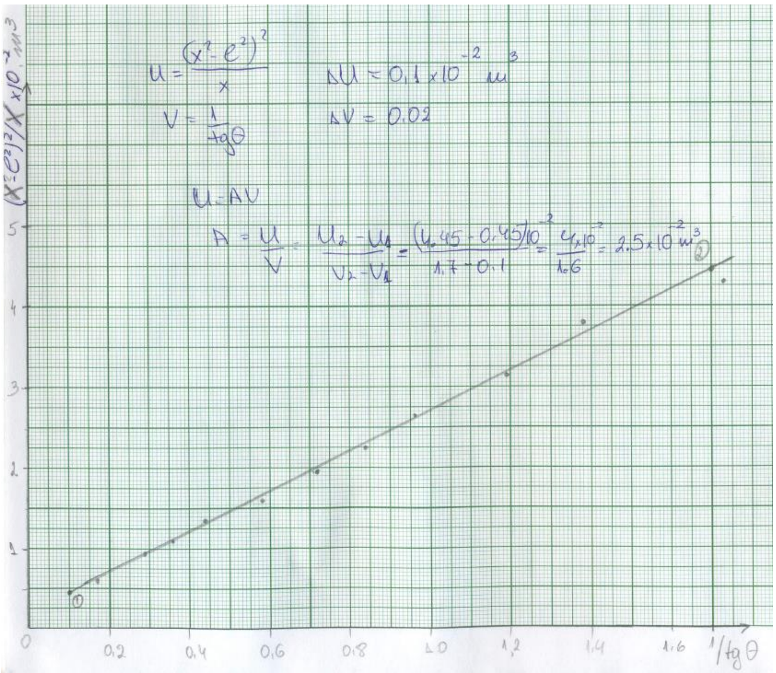
Линейна зависимост: $\frac{(x^2-l^2)^2}{x} = 2\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{m}{B_H}\frac{1}{\tan\theta}$;

Полагаме: $u = \frac{(x^2-l^2)^2}{x}$; $A = 2\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{m}{B_H}$; $v = \frac{1}{\tan\theta}$

Линейната зависимост е $u = Av$.

x, m	$(x^2\text{-}l^{\wedge 2})^2/x.10^{-2}$, m^3	θ, deg	$\tan\theta$	$1/\tan\theta$
0.352	4.32	30	0.577	1.73
0.337	3.78	36	0.727	1.38
0.317	3.15	40	0.839	1.19
0.300	2.66	46	1.036	0.96
0.283	2.23	50	1.192	0.84
0.271	1.96	54	1.376	0.73
0.254	1.61	60	1.732	0.58
0.240	1.35	66	2.246	0.45
0.223	1.08	70	2.747	0.36
0.212	0.93	74	3.487	0.29
0.182	0.58	80	5.671	0.18

2.5.**Определете графично отношението m/B_H и оценете грешките. [3.5 т.]**



За графиката **[1.5 т.]**

От наклона на графиката се определя коефициентът $A = 2.5\times10^{-2}\, m^3$, откъдето $w = \frac{m}{B_H} = \frac{4\pi}{\mu_0}\frac{A}{2} = 1.25\times10^{5}\ Am^2T^{-1}$. **[1 т.]**

Относителна грешка: $\frac{\Delta w}{w} = \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta u}{u} + \frac{\Delta v}{v} = 0.04$; $\frac{\Delta w}{w} = 4\,\%$ **[0.5 т.]**

Абсолютна грешка: $\Delta w = 0.05 \times 10^5\ Am^2T^{-1}$ **[0.5 т.]**

Краен резултат: $w = (1.25 \pm 0.05) \times 10^5\ Am^2T^{-1}$

3. Определете хоризонталната компонента на магнитното поле на Земята и магнитния момент на постоянния магнит.

3.1. Получете изрази за магнитния момент на магнита и хоризонталната компонента на магнитното поле на Земята. [1.5 т.]

От уравненията за z и w се получава: $m = \sqrt{zw}$ и $B_H = \sqrt{\frac{z}{w}}$

3.2. Пресметнете величините от т. 3.1. [1 т.]

$m = 2.716\,Am^2$; $B_H = 2.17 \times 10^{-5}\ T$

3.3. **Определете относителните и абсолютни грешки. [1 т.]**

Относителни грешки:

$\frac{\Delta m}{m} = \frac{1}{2}\frac{\Delta z}{z} + \frac{1}{2}\frac{\Delta w}{w} = 0.04$; $\frac{\Delta B_H}{B_H} = \frac{1}{2}\frac{\Delta z}{z} + \frac{1}{2}\frac{\Delta w}{w} = 0.04$ **[0.5 т.]**

Абсолютни грешки: $\Delta m = 0.04 \times m = 0.1\,Am^2$; $\Delta B_H = 0.04 \times B_H = 0.08 \times 10^{-5}\ T$ **[0.5 т.]**

Краен резултат: $m = (2.7 \pm 0.1)\ Am^2$; $B_H = (2.17 \pm 0.08) \times 10^{-5}\ T$

При липса на размерности на величините, включително в таблици, графики и др. се отнемат по ~0.25 т.