

НАЦИОНАЛЕН КРЪГ НА XXXII ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА

19–20 май 2000 г., Стара Загора

На 19 и 20 май 2000 г. в гр. Стара Загора се проведе националният кръг на XXXII олимпиада по физика. Участваха 40 ученици от 9. до 12. клас (съответно IV курс на техникумите) от цялата страна.

Първенци на националната олимпиада са:

1. Николай Константинов Павлов — 10. кл., МГ “В. Друмев”, В. Търново с преподавател Борислав Марковски — 100 т.

2. Атанас Иванов Павлов — 11. кл., МГ “Ив. Гюзелев”, Габрово с преподавател Донка Стефанова — 91 т.

3. Николай Ангелов Иванов — 10. кл., МГ “Акад. Н. Обрешков”, Казанлък с преподавател Теодосий Теодосиев — 85 т.

4. Пламен Валентинов Боков — 11. кл., МГ “Акад. Ив. Ценов”, Враца с ръководител Мариана Ганчева — 67 т.

5. Генчо Йовков Жилков — 10. кл., НПМГ “Акад. Л. Чакалов”, София с преподавател доц. Максим Максимов — 61 т.

6. Васил Крумов Петров — 10. кл., НПМГ “Акад. Л. Чакалов”, София с преподавател доц. Максим Максимов — 57 т.

7. Трифон Анчев Трифонов — 11. кл., МГ “Д-р П. Берон” с ръководител Петя Константинова — 52 т.

8. Светослав Стойчев Иванов — 10. кл., ГПЧЕ, Стара Загора с ръководители Теодосий Теодосиев и Мариана Русенова — 48 т.

9. Джелил Сабахатин Руфат — 9. кл., ГПЧЕ “Хр. Ботев”, Кърджали с ръководител Бончо Бончев — 45 т.

10. Мавроди Павлов Карамихалев —

IV курс, ТМТ, Бургас с преподавател Янка Шурелова — 45 т.

Първите пет ученици сформират националния ученически отбор по физика, който ще представя страната ни на XXXI международна олимпиада по физика от 8 до 16 юли 2000 г. в гр. Лийсестер, Англия.

Атанас Иванов Павлов и Николай Ангелов Иванов са медалисти от XXX МОФ през 1999 г. в Италия. Най-младият първенец на олимпиадата — Джелил Сабахатин Руфат, е първенец от Международната олимпиада по астрономия през 1999 г. Той е и един от първенците на Националния кръг на олимпиадата по астрономия през 2000 г.

За провеждането и организирането на националния кръг на олимпиадата по физика допринесоха спонсори, които са съхранили добрите си чувства и уважение към таланта на младите хора с интереси в областта на физиката. Организациите, които проявиха разбиране към финансовото притеснение на Централната комисия за организиране и провеждане на олимпиадата по физика и желанието й достойно да приключи XXXII национална олимпиада по физика, са:

1. Фондация “Хеми Монт” — 3500 лв.

2. Фондация “Бъдеще за България” — 1000 лв.

3. Издателство “Просвета” — София — 300 лв.

4. Издателство “Просвета” — София — 70 книги “53 + 15” с автор доц. Христо Попов.

5. Издателство “Булвест 2000” — папки, грамоти и сертификати.

Искрено се надяваме, че ще се намерят още добри хора, които да финансират и участието на българския национа-

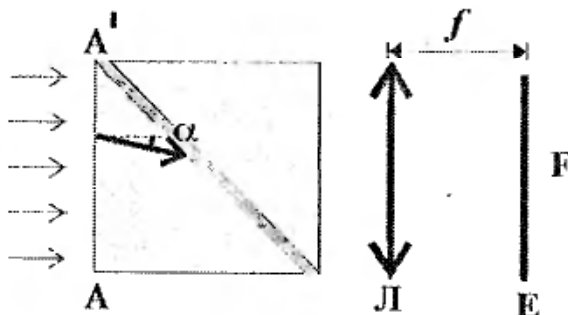
лен отбор в международната олимпиада по физика.

доц. Димитър Мърваков

Председател на Централната комисия за организиране и провеждане на XXXII национална олимпиада по физика

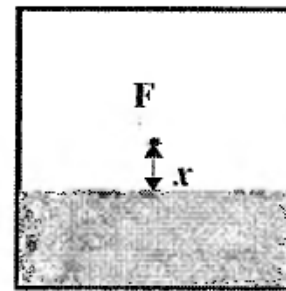
Задача 1. Две еднакви стъклени призми, с основа равнобедрен, правоъгълен триъгълник, са разположени така, че между тях се образува тесен процеп с успоредни стени (фиг. 1 а; реалната дебелина на процепа е много по-малка от дължината на ръба на призмата). Коэффициентът на пречупване на стъклото, от което са изработени призмите, е $n_0 = 1,74$. Процепът е запълнен с прозрачна течност, с коэффициент на пречупване $n < n_0$. Повърхността AA' на едната призма е матирана, така че падащата върху нея светлина се разсейва равномерно във всички посоки при навлизане в стъклото. Зад призмите е поставена събирателна леща L с фокусно разстояние $f = 5$ cm и екран E , който е разположен във фокалната равнина на лещата.

а) Светлинен лъч навлиза в първата призма, под ъгъл α спрямо оптичната ос на лещата (фиг. 1 а). Изобразете графично хода на лъча до неговото попадане върху екрана. Получете израз за разстоянието спрямо фокуса на лещата, на което лъчът пресича екрана.



Фиг. 1а

б) Повърхността AA' е осветена от външен източник на светлина. При това върху екрана се наблюдават светла и тъмна области, границата между които се намира на разстояние $x = 5$ mm от фокуса на лещата (фиг. 1 б). Определете коэффициента на пречупване на течността.



Фиг. 1б

Задача 2. Електрон се притиска към повърхността на течен хелий от хомогенно електростатично поле с интензитет $\epsilon = 100$ V/cm, перпендикулярно на повърхността на хелия. Същевременно електронът не може да проникне в хелия (независимо от неговата енергия) и когато достига повърхността му се отразява от нея, т.е. на повърхността на хелия потенциалната енергия на електрона става безкрайно голяма.

а) Да се покаже, че електронът се намира в потенциална яма;

б) Да се намери средното състояние на електрона от повърхността на хелия в състояние с минимална енергия;

в) Да се определи минималната енергия на електрона в близост до повърхността на хелия.

Масата на електрона е $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, а неговият заряд по големина $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Задача 3. Мюонът е елементарна частица с единичен, елементарен електричен заряд. Свободният мюон е нестабилен и притежава, в състояние на покой, време на полуразпадане $\tau = 1,5 \cdot 10^{-6}$ s. От ускорител излиза успореден сноп мюони със скорост $v = 0,8c$, където c е скоростта на светлината във вакуум.

а) На какво разстояние, по посока на движението на снопа, концентрацията на мюони намалява 8 пъти.

б) При навлизане във вещество, мюоните (μ^-) взаимодействат с протоните (p^+) в атомните ядра посредством реакцията: $\mu^- + p^+ \rightarrow n + \nu$,

където n е означен неутрон, а с ν — неутрино, което е елементарна частица с нулев заряд и нулева маса в покой. Ако предположите, че неутрино се излъчва в посоката на движение на падащите мюони, определете големината и посоката на скоростта на отделения неутрон, в единици c .

Данни:

Маса в покой на мюона:

$$m = 1,884 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$$

Маса в покой на протона:

$$m_p = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Маса в покой на неутрона:

$$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Скорост на светлината във вакуум:

$$c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Задача 4. С един mol идеален, едноатомен газ с начално налягане $2p_0$ и обем V_0 се извършва свободно адиабатно разширение (т.е. разширение във вакуум) до обем $2V_0$. След това газът се свива изобарно от обем $2V_0$ до обем V_0 . Накрая газът се нагрява при постоянен обем, докато неговото налягане се изравни с началното.

а) Представете графично цикличния процес на p - V диаграма. Обърнете специално внимание на процеса 1—2 (свободно адиабатно разширение);

б) Докажете с помощта на този цикъл съотношението на Майер, т.е. $C_p - C_v = R$, където C_p и C_v са моларните топлинни капацитети при постоянно налягане и постоянен обем на газа;

в) Процесът 1—2 се заменя с процес, чиято графика на p - V диаграмата е отсечка, свързваща състоянията 1 и 2. Определете топлинния капацитет за този процес.

г) Намерете стойностите на обема, при който изотермата и адиабатата се допират до графиката на процеса 1—2.

Масата на електрона е $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, а неговият заряд по големина $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Задача 3. Мюонът е елементарна частица с единичен, елементарен електричен заряд. Свободният мюон е нестабилен и притежава, в състояние на покой, време на полуразпадане $\tau = 1,5 \cdot 10^{-6}$ s. От ускорител излиза успореден сноп мюони със скорост $v = 0,8c$, където c е скоростта на светлината във вакуум.

а) На какво разстояние, по посока на движението на снопа, концентрацията на мюони намалява 8 пъти.

б) При навлизане във вещество, мюоните (μ^-) взаимодействат с протоните (p^+) в атомните ядра посредством реакцията: $\mu^- + p^+ \rightarrow n + \nu$,

където n е означен неутрон, а с ν — неутрино, което е елементарна частица с нулев заряд и нулева маса в покой. Ако предположите, че неутрино се излъчва в посоката на движение на падащите мюони, определете големината и посоката на скоростта на отделения неутрон, в единици c .

Данни:

Маса в покой на мюона:

$$m = 1,884 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$$

Маса в покой на протона:

$$m_p = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Маса в покой на неутрона:

$$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Скорост на светлината във вакуум:

$$c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Задача 4. С един mol идеален, едноатомен газ с начално налягане $2p_0$ и обем V_0 се извършва свободно адиабатно разширение (т.е. разширение във вакуум) до обем $2V_0$. След това газът се свива изобарно от обем $2V_0$ до обем V_0 . Накрая газът се нагрява при постоянен обем, докато неговото налягане се изравни с началното.

а) Представете графично цикличния процес на p - V диаграма. Обърнете специално внимание на процеса 1—2 (свободно адиабатно разширение);

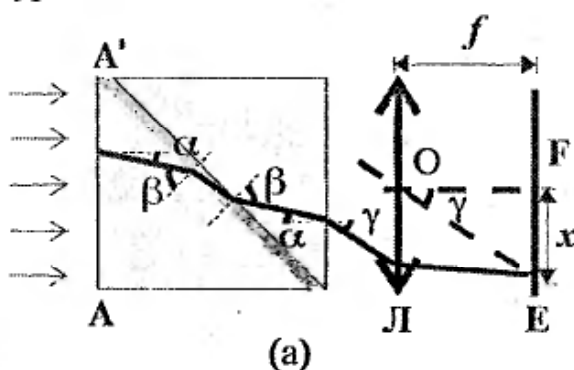
б) Докажете с помощта на този цикъл съотношението на Майер, т.е. $C_p - C_v = R$, където C_p и C_v са моларните топлинни капацитети при постоянно налягане и постоянен обем на газа;

в) Процесът 1—2 се заменя с процес, чиято графика на p - V диаграмата е отсечка, свързваща състоянията 1 и 2. Определете топлинния капацитет за този процес.

г) Намерете стойностите на обема, при който изотермата и адиабатата се допират до графиката на процеса 1—2.

РЕШЕНИЯ НА ЗАДАЧИТЕ ОТ НАЦИОНАЛНИЯ КРЪГ НА ОЛИМПИАДАТА ПО ФИЗИКА

Задача 1. а) Ходът на лъча е даден на фигурата:



Разстоянието x се определя, като се разгледа лъч, който е успореден на първия и минава през оптичния център на лещата O: $x = fg(\gamma)$

Тъй като $\sin(\gamma) = n_0 \sin(\alpha)$, получаваме:

$$(1) \quad x = \frac{n_0 f \sin(\alpha)}{\sqrt{1 - n_0^2 \sin^2(\alpha)}}$$

б) Максималния ъгъл β , при който лъчът може да проникне в слоя течност, се определя от условието за пълно вътрешно отражение: $\sin(\beta_{\max}) = n/n_0$. При $\alpha > \beta_{\max} - 45^\circ$ върху екрана не попадат лъчи и се наблюдава тъмна област. Оттук определяме:

$$(2) \quad n = n_0 \sin(45^\circ + \alpha_{\max}) = \\ = n_0(\sin(\alpha_{\max}) + \cos(\alpha_{\max}))/\sqrt{2} = \\ = n_0(\sin(\alpha_{\max}) + \sqrt{1 - \sin^2(\alpha_{\max})})/\sqrt{2}.$$

За определяне на $\sin(\alpha_{\max})$ използваме уравнение (1):

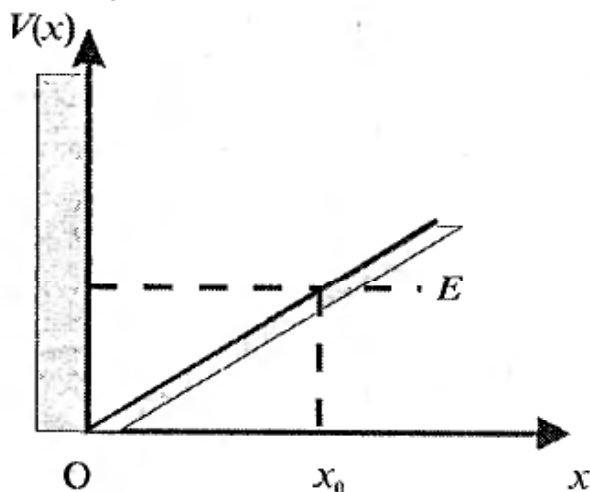
$$\sin(\alpha_{\max}) = \frac{x}{n_0\sqrt{x^2 + f^2}} = 0,0572.$$

При заместване в уравнение (2): $n \approx 1,30$.

Задача 2. а) Нека насочим оста Ox перпендикулярно на повърхността на хелия. Силата $F = q\epsilon$ е насочена към повърхността. Тогава, използвайки аналогията със силата на тежестта, за потенциалната енергия на електрона можем да

$$\text{запишем: } V(x) = \begin{cases} \infty, & x < 0 \\ q\epsilon x, & x > 0. \end{cases}$$

Графично потенциалната енергия е представена на фигурата и представлява потенциална яма:



б) Електронът е квантов обект и средното разстояние при минимална енергия се оценява чрез съотношенията за неопределеност. Пълната енергия на

$$\text{електрона е: } E = \frac{p^2}{2m} + q\epsilon x.$$

Нека приемем неопределеността в положението на електрона при тази енергия $\Delta x = x_0$. Тогава: $p \propto \hbar / \Delta x = \hbar / x_0$.

$$\text{Следователно: } E = \frac{\hbar^2}{2mx_0^2} + q\epsilon x_0.$$

Минималната енергия се достига при

$$E'(x_0) = -\frac{\hbar^2}{mx_0^3} + q\epsilon = 0 \text{ и следователно:}$$

$$x_0 = \left(\frac{\hbar^2}{mq\epsilon} \right)^{1/3} \approx 9 \text{ \AA}.$$

в) Минималната енергия на електрона в близост до повърхността на хелия е:

$$E_{\min} = \frac{3}{2} \left(\frac{\hbar^2 q^2 \epsilon^2}{m} \right)^{1/3} \approx 0,2 \text{ meV}.$$

Задача 3. а) Времето на полуразпадане в лабораторната отправна система е по-голямо от това в покой, поради релативистично удължение на времевите интервали: $\tau' = \tau / \sqrt{1 - v^2/c^2}$.

От дадена група N_0 mioни, след време t ще останат неразпаднали се $N = N_0 / 2^{t/\tau'} = N_0 / 2^{x/v\tau'}$, където x е изменението от mioните път. Тъй като $N_0/N = 8$,

следва, че $\frac{x}{v\tau'} = 3$, откъдето:

$$x = 3 \cdot v \cdot \tau / \sqrt{1 - (v/c)^2} = 1800 \text{ m}.$$

б) При реакцията са изпълнени законите за запазване на импулса:

$$(1) \quad m_{\mu}v/\sqrt{1-(v/c)^2} =$$

$$= p_{\nu} + m_n v_1/\sqrt{1-(v_1/c)^2}$$

и на пълната енергия:

$$(2) \quad m_{\mu}c^2/\sqrt{1-(v/c)^2} + m_p c^2 =$$

$$= E_{\nu} + m_n c^2/\sqrt{1-(v_1/c)^2},$$

където p_{ν} и E_{ν} са съответно импулсът и енергията на неутриното, а v_1 е търсената скорост на неутрона. Тъй като неутриното има нулева маса на покой, между енергията и импулса е изпълнено съотношението: $p_{\nu} = E_{\nu}/c$. Като изключим енергията на неутриното от уравнение (2) и заместим импулса в уравнение (1), получаваме:

$$\sqrt{\frac{c-v_1}{c+v_1}} = \frac{m_p}{m_n} + \frac{m_{\mu}}{m_n} \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} = k = 1,0357,$$

откъдето:

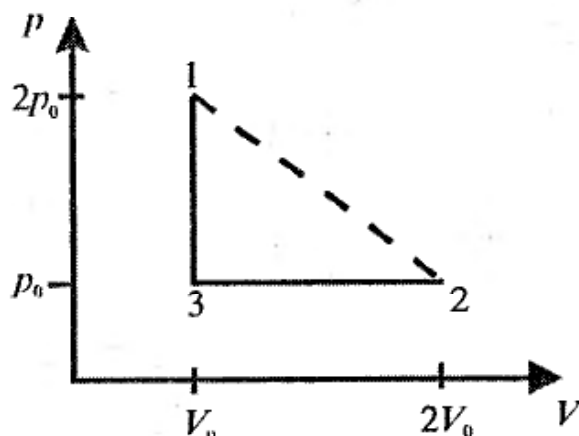
$$v_1 = c \frac{1-k^2}{1+k^2} \approx c(1-k) = -0,0357c.$$

Знакът “-” показва, че скоростта на неутрона е насочена назад, спрямо посоката на излъчване на неутриното.

Задача 4. а) Ще определим налягането на състояние 2. От първия принцип на термодинамиката, за процеса на свободно адиабатно разширение имаме: $\Delta U = Q + A$.

Тъй като $Q = 0$ (адиабатно разширение), $A = 0$ (външното налягане е нула) следва $\Delta U = 0$. Вътрешната енергия на идеалния газ зависи само от температурата и следователно в състояние 2 газът има същата температура, както в състо-

яние 1. Следователно



б) За цикличния процес 1-2-3 изменението на вътрешната енергия $\Delta U = 0$ и следователно $Q + A = 0$.

$$\text{Тъй като } Q_{23} = c_p(T_3 - T_2),$$

$$Q_{31} = c_v(T_1 - T_3),$$

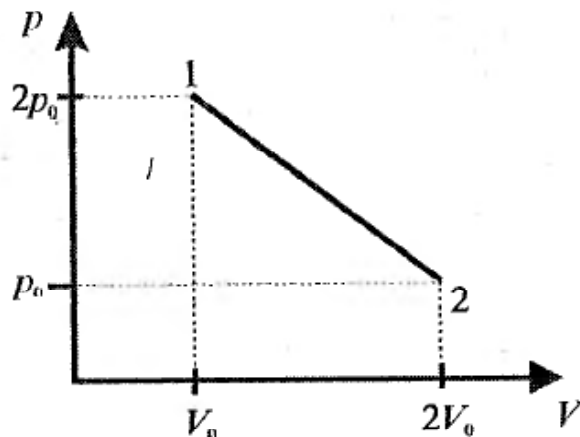
$$A_{23} = -p_0(V_0 - 2V_0) = p_0V_0,$$

намираме

$$c_p(T_3 - T_1) + c_v(T_1 - T_3) + p_0V_0 = 0.$$

Освен това $p_0V_0 = R(T_1 - T_3)$ (използваме уравнението на състояние) и следователно $c_p - c_v = R$.

в) На фигурата е показан процесът 1-2.



Топлинният капацитет се определя по

формулата: $c = c_v + p \left(\frac{\Delta V}{\Delta T} \right)$, където ΔV

и ΔT са малки изменения на обема и температурата. Уравнението на процеса е $p = \alpha V + \beta$, където $\alpha = -p_0/V_0$, $\beta = 3p_0$.
Тогава

$$T = \frac{p_0}{R} \left(3V - \frac{V^2}{V_0} \right)$$

и следователно

$$\Delta T = \frac{p_0}{R} \left(3 - 2 \frac{V}{V_0} \right) \Delta V.$$

Окончателно определяме:

$$c = c_V + R \frac{3 - V/V_0}{3 - 2V/V_0} = R \frac{15/2 - 4V/V_0}{3 - 2V/V_0}.$$

г) При изотермен процес $c \rightarrow \infty$, при адиабатен $c = 0$. Следователно стойността на обема, при който изотермата допира графиката на процеса 1—2 е

$$V' = \frac{3}{2} V_0, \text{ а допирната точка между ади-}$$

абатата и процеса е $V'' = \frac{15}{8} V_0$.

ТОП 10 ВЪВ ФИЗИКАТА

Списанието на Британския институт по физика World Physics интервюира 100 водещи физици и определи следната класация на най-големите имена във физиката:

1. Алберт Айнщайн
2. Исак Нютон
3. Джеймс Кларк Максвел
4. Нилс Бор
5. Вернер Хайзенберг
6. Галилео Галилей
7. Ричард Файнман
8. Пол Дирак
9. Ервин Шрьодингер
10. Ърнест Ръдърфорд