

КОНКУРСИ, ОЛИМПИАДИ

КОНТРОЛНИ РАБОТИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НАЦИОНАЛНИЯ ОТБОР ЗА УЧАСТИЕ В XXXVII МЕЖДУНАРОДНА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА

*Виктор Иванов, Мирослав Абрашев, Димитър Мърваков
Физически факултет на СУ „Св. Климент Охридски“*

XXXVII международна олимпиада по физика се състоя от 08.07 до 17.07.2006 г. в Сингапур. В състезанието участваха 384 ученици от 92 страни. Българският отбор беше представен от петима ученици: Свилен Кънев, ПМГ, Казанлък; Георги Субашки, НПМГ, София; Йордан Маджунков, ПМГ, Плевен; Георги Герганов, ПМГ, Плевен; Веселин Александров, ПМГ, Казанлък.

Представянето на нашия отбор може да се определи като много добро (най-доброто за последните пет години) — Йордан Маджунков получи сребърен медал, а Свилен Кънев, Георги Субашки, Георги Герганов и Веселин Александров — бронзови медали. Съгласно със статута на олимпиадата състезанието е индивидуално и не се обявява официална класация по държави. Подготовката на отбора и участието в олимпиадата се осъществи с финансовата подкрепа на Американската фондация за България, за което отборът горещо ѝ благодари.

По-долу представяме задачите от теоретичните и експерименталните контролни работи, дадени на разширения състав от 9 ученици, по време на тяхната подготовка от 12 до 24 юни 2006 г. във Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“.

Задачи от теоретичните контролни работи

Три отделни контролни работи по 40 мин.

Задача 1. (5 т.) Плътен еднороден цилиндър с маса m и радиус r лежи върху хоризонтална повърхност. В най-високата си част е закачен на две дълги еднакви хоризонтални пружини (всяка една с коефициент на еластичност k и пренебрежима маса), които са перпендикулярни на оста на цилиндъра. В равновесното положение на цилиндъра пружините не са натегнати. При хлъзгане на цилиндъра по повърхността силата на триене е нула. Земяното ускорение е g .

Намерете периода на малки трептения на цилиндъра около равновесното си положение.

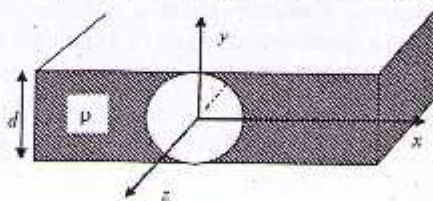
Задача 2. (5 т.) Далеч е плосък слой (безкраен в равнината xy) с дебелина d , зареден с постоянна плътност на заряда

ρ . В направление на оста z е разположена цилиндрична кухина с диаметър, равен на дебелината на слоя.

а) Получете изрази за компонентите E_x и E_y на интензитета на електричното поле в кухината.

б) Получете израз за електричния потенциал ϕ в кухината.

Изразете отговорите чрез координатите x и y и чрез зададените параметри.



Задача 3. (5 т.) Кривата на фазово равновесие на течната и твърдата фаза на хелий-3 минава през точката на p - T равнината с координати

$$T_1 = 0,12 \text{ K}, p_1 = 31 \text{ atm.}$$

а) Намерете кривата на фазово равновесие, т.е. $p = p(T)$. При тези температури моларната ентропия на течността е $S_{\text{течн.}} = R \frac{T}{\Theta}$, където $\Theta = 0,46 \text{ K}$, а моларната ентропия на твърдия хелий-3 не зависи от температурата и е равна на $S_{\text{тв.т.}} = R \ln 2$. Разликата между моларните обеми на течния и твърдия хелий-3 е постоянна и равна на

$$\Delta V = V_{\text{течн.}} - V_{\text{тв.т.}} = 1,25 \text{ cm}^3/\text{mol}.$$

б) При какво налягане p_2 течната и твърдата фаза ще са в равновесие при температура $T_2 = 0,42 \text{ K}$?

в) При какви налягания при $T = 0$ съществува само твърда фаза?

г) Разгледайте изобарата $p_1 = 31 \text{ atm}$ в температурния интервал $0 \text{ K} < T < 1 \text{ K}$ и опишете всички възможни преходи.

Контролна работа 5 часа (10 задачи по 3 т.)

Задача 1. Намерете инерционния момент I на плътен еднороден равнобедрен триъгълник със страна l спрямо ос, минаваща през центъра на масата му и перпендикулярна на равнината му.

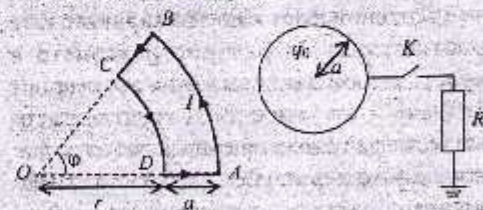
Задача 2. Разглеждайки отраженията на далечни предмети от двойно изпъкнала симетрична сферична тънка леща, може да се забележи, че в нея се виждат два образа. Ако двата образа изглеждат еднакво големи, когато око на наблюдателя е на разстояние l от лещата, намерете радиуса на кривина R на повърхностите и оптичната сила Φ на лещата. Показателят на пречупване на стъклото е n . Изчислете тези величини, ако $n = 1,5$ и $l = 12 \text{ cm}$.

Задача 3. Тънък диск с радиус R с тънка ос (минаваща през центъра му и перпендикулярна на него) е поставен в цилиндрична кухина с радиус, малко по-голям от R . Междините между повърхностите на диска и кухината са успоредни, равни и имат големина h . Кухината е запълнена с течност с вискозитет η . Намерете каква мощност P на външна сила, действаща на оста, е необходима, за да се върти дискът

с постоянна ъглова скорост ω . Ръбните ефекти да се пренебрегнат. Изчислете P , ако $R = 10 \text{ cm}$, $h = 1 \text{ mm}$, $\eta = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$ и $\omega = 10$ оборота в секунда.

Задача 4. а) Получете израз за индукцията B на магнитното поле, което създава проводящият контур $ABCD$ в т. O . Изразете отговора чрез параметрите I , a , φ (в радиани), r и магнитната константа μ_0 .

б) В случай, че $a \ll r$, представете изрза за B като функция на r , I и магнитната константа μ_0 , където $p = IS$ е магнитният диполен момент на намотката (S е площта на контура).



в) През т. O , перпендикулярно на равнината на намотката, преминава прав дълъг проводник, по който тече ток I_1 (от равнината към вас). Получете израз за въртящия момент M , който действа на проводника и изобразете вектора на въртящия момент върху чертежа. Изразете отговора чрез параметрите I , I_1 , a , φ , r и магнитната константа μ_0 (приемете, че приближението от т. б) не е в сила).

Задача 5. На метално кълбо с радиус a е придаден заряд q_0 . Кълбото е заземено през резистор със съпротивление R , както е показано на фигурата. Намерете:

а) времето T след затваряне на ключа K , в продължение на което зарядът на кълбото ще намалее наполовина;

б) количеството топлина Q , което се отделя в резистора за това време.

Задача 6. Електрически неутрална частица X се разпада на два гама-кванта, които се разлитат под прав ъгъл един спрямо друг с енергии $E_1 = 53 \text{ MeV}$ и $E_2 = 172 \text{ MeV}$. Получете изрази и пресметнете числено:

а) Скоростта v на частицата X преди

разпадането (в единици с);

б) масата в покой M на частицата X (в енергетични единици — MeV).

Задача 7. Оценете специфичния топлинен капацитет на монета от една стотинка при стайна температура (да се смята, че стайната температура е висока температура). Да се приеме, че монетата е направена от мед (с атомна маса 63,5 и плътност $\rho = 8,9 \text{ g/cm}^3$).

Задача 8. При ниски температури (около 30 K) термодинамичните свойства на диелектричен кристал се определят от хармоничните трептения на атомите. Тези трептения имат квантов характер и те съответстват на разпространението в кристала на механични вълни със скорост $5 \cdot 10^3 \text{ m/s}$. Съвкупността от трептящи атоми може да се замени с идеален газ от фонони, които заемат обема на кристала и налягането, което те пораждат върху стениите му, е $p = \frac{1}{3} u(T)$. Тук $u(T)$ е плътността на вътрешната енергия. Оценете (по порядък) налягането на фонония газ при тези условия.

Задача 9. Според класическите представи атомното ядро може да привлече близко до себе си електрон. От друга страна, съгласно със съотношения за неопределеност на Хайзенберг, силно нараства кинетичната енергия на електрона и енергията му на покой става пренебрежима. Какъв трябва да бъде атомният номер на трансураниевия елемент, който може да удържа електрона близо до ядрото си, ако самият елемент е устойчив?

Задача 10. В рамките на теорията на Бор за водородния атом пресметнете индукцията на магнитното поле в центъра на атома, което създава електронът в основно състояние.

Задачи от експерименталните контролни работи

Задача 1. (10 т.) Измерване на капацитет на кондензатор с омметър и часовник

Принципната схема на омметъра е представена на фиг. 1. Може да се приеме, че той съдържа източник на напрежение E , амперметър A и има вътрешно съпротивление r . При включване на измерваното съпротивление R показанията на амперметъра са градуирани така, че той директно да отчита стойността на R .

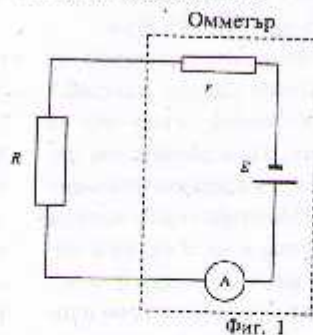
Ако към омметъра вместо неизвестно съпротивление R се включи незареден кондензатор с капацитет C (фиг. 2), напрежението върху кондензатора $U(t)$ зависи от времето t така: $U(t) = E(1 - e^{-t/rC})$.

1. Получете формула за зависимостта на показанията на омметъра $R(t)$ от времето t ($t = 0$ в момента на затварянето на веригата).

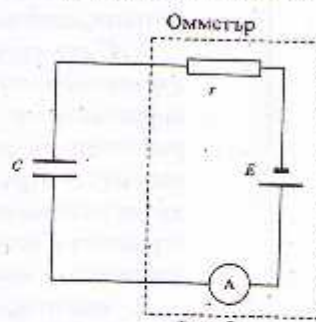
2. Намерете приближена формула за зависимостта на показанията на омметъра $R(t)$ от времето t , приемайки, че $e^x \approx 1 + x + \frac{x^2}{2}$ при $x \ll 1$.

3. Намерете такива променливи $x(R, t)$ и $y(R, t)$, така че зависимостта на y от x да е линейна.

4. Използвайте обхвата „20 kΩ“ на ом-



Фиг. 1



Фиг. 2

метъра. При започване на измерванията включете черния извод на кондензатора към буксата „COM“ на омметъра, а другия извод — към букса „ Ω “. Затварянето на веригата трябва да стане едновременно с началото на отчитането на времето.

5. Съберете достатъчно данни за зависимостта на показанията на омметъра $R(t)$ от времето t .

6. Преди началото на всяко измерване разреждайте кондензатора.

7. Представете получените данни графично (в удобните променливи $x(R, t)$ и $y(R, t)$) и от получената линейна зависимост пресметнете капацитета C на кондензатора и вътрешното съпротивление r на омметъра.

8. Оценете от графиката грешката на получените стойности за C и r .

Задача 2. (10 т.) Измервания със стреличка за дартс. Разполагате със стреличка за игра на дартс с маса $m = 6,32$ g. Тя се състои от пластмасово тяло и постоянен магнит с форма на тънка цилиндрична таблетка, разположен във „върха“ на стреличката. Диполният момент на магнита е по оста на стреличката. Центърът на масата C на стреличката е близо до границата между металната и пластмасовата ѝ част. Разполагате също така с намотка, съставена от 4 навивки с радиус $r = 6$ cm, по която може да пускате постоянен ток от токоизправител. Помощни материали са линейка, часовник, карфици, конци и кашон, използван за статив. Земното ускорение е $g = 9,81$ m/s². Магнитната константа $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Н/м.

1. С помощта на конец направете от стреличката торзионно махало компас и определете направлението север—юг на работното ви място. Предварително отдалечете от стреличката всякакви феромагнитни материали. Пластмасовата част на стрелката с навинтсена в металната и положението ѝ може да се регулира фино.

2. Ориентирайте кашона така, че направлението север—юг да е перпендикуляр-

но на равнината, в която лежи намотката.

3. Поставете махалото компас така, че магнитът на махалото да е точно в центъра на намотката.

4. Свържете намотката с токоизправителя.

5. Изследвайте зависимостта на периода T на махалото (когато то извършва торзионни (усукващи) трептения в хоризонтална равнина) в зависимост от тока I , течащ по намотката, като тока изменете в интервала $[-4A, 4A]$.

6. Начертайте зависимостта на измерения период от тока в такива променливи така, че зависимостта между новите променливи да съдържа линейни участъци.

7. От получената графика пресметнете големината на земното магнитно поле B_z за мястото, където се намирате. Приемете, че въртящият момент, дължащ се на усукването на концата, може да се пренебрегне.

8. „Закачете“ махалото на вертикална карфица (то ще се „залепи“ за нея поради магнитните сили на привличане; можете да фиксирате карфицата, като пробиеете с нея кашона). Намерете периода T_0 на трептенията му. Изчислете инерционния момент J_0 на стреличката за ос, минаваща през точката O на окачване (върха на карфицата).

9. Пресметнете инерционния момент J_C на стреличката за ос, минаваща през центъра на масата ѝ C и перпендикулярна на оста на стреличката.

10. Използвайки наклона на линейните участъци от графиката от т. 6, намерете големината на магнитния момент p на магнита.

11. Разгледайте следния мислен експеримент: Поставете стреличката вертикално (така, че тя да се поддържа на крилата си) и над нея започвате да доближавате друга стреличка, която е същата, но с обърнати полюси на нейния магнит. При някакво критично разстояние h между върховете на стреличките долната стреличка ще литне и ще се залепи за горната. Използвайки получените в експеримента данни, изчислете това разстояние h .