

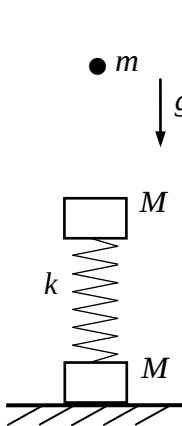
МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА

Национална олимпиада по физика

Враца, 6 април 2015 г.

Тема за 10.–12. клас

Задача 1. Трупчета на пружина



Фиг. 1

Върху хоризонтална повърхност е поставена система от две трупчета с маси M , свързани с пружина с коефициент на еластичност k и пренебрежима маса, както е показано на фиг. 1. От височина h над горното трупче е пуснато свободно малко топче с маса m . Приема се, че ударът между топчето и горното трупче е мигновен и идеално еластичен, а земното ускорение е g .

А) Нека височината h е такава, че скоростта на горното трупче става нула преди трупчетата да се ударят. Намерете максималното свиване d на пружината спрямо неразтегнатото ѝ състояние (когато го няма горното трупче).

6 точки

Б) Определете максималната сила на натиск N , която долното трупче оказва на хоризонталната повърхност.

2 точки

В) Ако долното трупче не се отделя от повърхността, каква е амплитудата A на възникващите хармонични трептения?

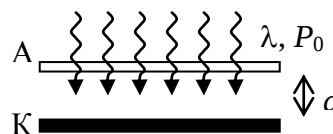
1 точки

Г) Каква трябва да бъде минималната височина $h_{\min}$, от която е пуснато топчето, за да може долното трупче да се отдели от хоризонталната повърхност? Намерете големината на скоростта u на средата на пружината в момента на отлепяне на долното трупче от повърхността.

6 точки

Задача 2. КПД на фотоклетка

Фотоклетка се състои от два плоски успоредни електрода – катод К с отделителна работа $W = 2.0 \text{ eV}$ и прозрачен анод А, който изцяло пропуска падащата светлина. Площта на електродите е $S = 5 \text{ cm}^2$, а разстоянието между тях е $d = 1 \text{ mm}$. Върху фотоклетката пада сноп монохроматична светлина с дължина на вълната $\lambda = 500 \text{ nm}$ и с мощност $P_0 = 0.01 \text{ W}$.



А) Фотоклетката не е свързана в електрическа верига. Колко е напрежението U_0 между електродите ѝ в този случай? Означете на чертеж поляриностите на двата електрода и пресметнете заряда Q , натрупан върху тях.

2,5 точки

Б) Фотоклетката се характеризира с т.нар. „квантова ефективност” $k = N_e/N_\phi$, която се дефинира като отношението на броя избити от катода електрони N_e

към броя паднали фотони $N_{\text{ф}}$. Максималната теоретично възможна квантова ефективност на фотоклетка се дава с изрази:

$$k = 1 - \frac{\lambda}{\lambda_{\text{max}}}$$

където λ_{max} е червената граница на фотоефекта за катода. Пресметнете квантовата ефективност на дадената фотоклетка, ако приемете, че тя е равна на максималната теоретична стойност. **1,5 точки**

В) Електродите на фотоклетката са свързани накъсо чрез проводник с нулево съпротивление. Пресметнете тока I_0 , който тече във веригата в този случай. **3 точки**

Г) Когато мощността на падащата светлина е постоянна, фотоклетката е еквивалентна на източник с постоянно електродвижещо напрежение $\mathcal{E}$ и с определено вътрешно съпротивление r . Определете $\mathcal{E}$ и r на фотоклетката при дадената мощност на падащата светлина. **3 точки**

Д) Към електродите на фотоклетката е свързан консуматор със съпротивление R . Коефициентът на полезно действие (КПД) на фотоклетката се дефинира като отношението:

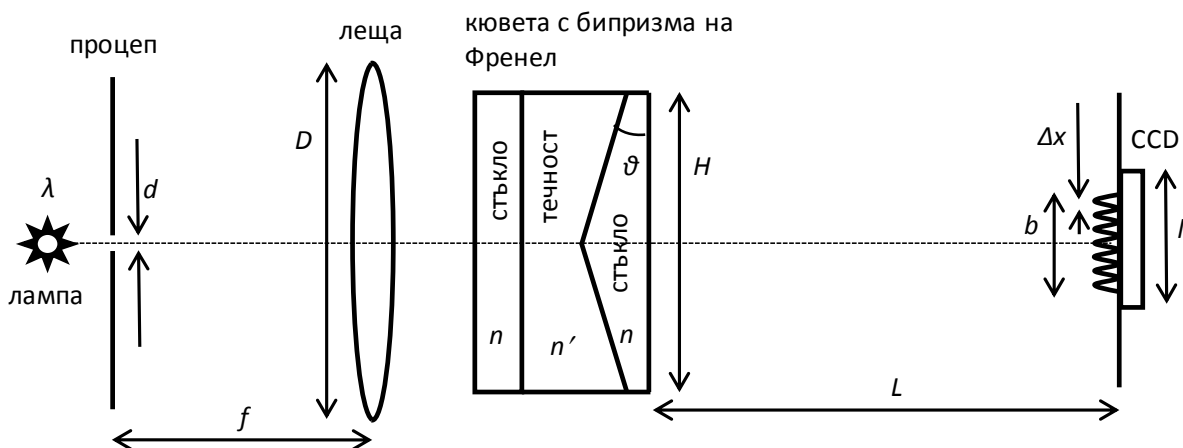
$$\eta = \frac{P_R}{P_0}$$

където P_R е мощността на тока през консуматора. При какво съпротивление на консуматора КПД на фотоклетката е максимален? Изразете максималния КПД η_{max} чрез данните от условието и пресметнете неговата стойност. **5 точки**

Данни

- скорост на светлината във вакуум: $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$;
- елементарен електричен заряд: $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- електрична проницаемост на вакуума: $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$;
- константа на Планк: $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Задача 3. Бипризма на Френел.



На фигурата (машабът на обектите и разстоянията не са верни!) е дадена експериментална установка за наблюдаване на двулъчева интерференция. Източник на светлина (натриева лампа) осветява процеп с широчина d (до последното подусловие на задачата широчината на процепа е пренебрежимо малка) с монохроматична светлина с дължина на вълната $\lambda = 589,3 \text{ nm}$. Процепът се намира във фокуса на събирателна леща с диаметър $D = 10 \text{ cm}$ и фокусно разстояние $f = 0,90 \text{ m}$. Преминалата през лещата светлина изцяло и равномерно осветява кювета (съд за течност) с височина $H = 5,00 \text{ cm}$. Предната стена на кюветата е плоскопаралелна пластинка, а задната е бипризма (две призми с обща основа) със стени, сключващи ъгъл $\theta = 0,07186 \text{ rad}$ ($= 4,117^\circ$). Стените на кюветата са от стъкло с показател на пречупване $n = 1,5000$, а тя е пълна с течност с неизвестен показател на пречупване n' . На разстояние $L = 0,900 \text{ m}$ от бипризмата се намира детектор. Той е от тип CCD, $10,3 \text{ Mpx}$ (3936×2630 пиксела), има размери $27,00 \text{ mm} \times 18,00 \text{ mm}$, като по-дългият му размер $l = 27,00 \text{ mm}$ е в равнината на чертежа. Детекторът регистрира интерференчна картина с широчина b и разстояние Δx между съседните интерференчни максимуми. По-долу за всички малки ъгли ω приемете, че $\sin \omega \approx \tan \omega \approx \omega$.

А) Какъв е снопът светлина между лещата и кюветата (разходящ, успореден или сходящ)?

1 точка

Б) Ако върху кюветата пада лъч, успореден на нейната оптична ос (пунктираната линия на чертежа), намерете формула за ъгъла φ , който преминалият през кюветата лъч сключва с оптичната ос.

2 точки

В) Ако два успоредни снопа кохерентна монохроматична светлина с дължина на вълната λ сключват помежду си малък ъгъл β , какво ще е разстоянието Δu между съседните максимуми на интерференчната картина, наблюдавана на екран, перпендикулярен на един от сноповете (или на ъглополовящата на ъгъла β)?

1 точка

Г) Получете формула за разстоянието Δx между съседните интерференчни максимуми (изразено чрез параметрите на установката), което ще регистрира детекторът.

2 точки

Д) Изчислете критичния показател на пречупване $n'_{\text{кр}}$ на неизвестна течност, за който широчината b на интерференчната картина ще е максимална.

1 точка

Е) Нека показателят на пречупване на неизвестната течност n' е по-голям от $n'_{\text{кр}}$. Изразете широчината b на интерференчната картина чрез дадените параметри.

1 точка

Ж) За две конкретни течности (дестилирана вода с $n'_0 = 1,3330$ и 65 тегловни % захарен воден разтвор с $n'_1 = 1,4532$) изчислете разстоянието Δx между съседните максимуми на интерференчната картина, широчината b на интерференчната картина и броя N интерференчни максимуми, регистрирани от CCD.

3 точки

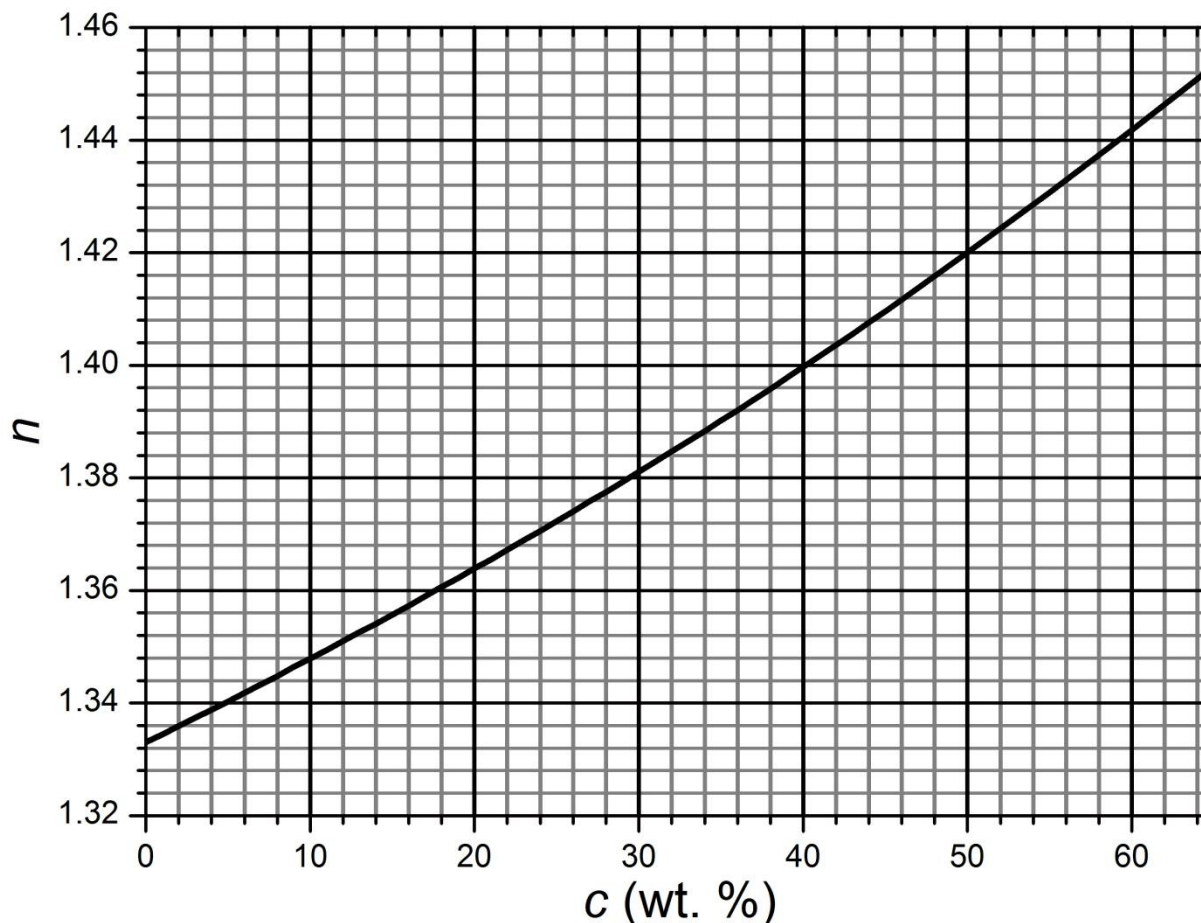
З) Ако искате да използвате тази установка за измерване на неизвестен показател на пречупване n' на течности, една възможност е автоматизирано (софтуерно) да се изчислява броят N на наблюдаваните интерференчни максимуми от CCD. Получете формула, която изразява n' чрез N .

1 точка

И) CCD регистрира интерференчна картина с $N_x = 300$ максимума за захарен воден разтвор с неизвестна концентрация. Изчислете показателя на пречупване n'_x на този

разтвор и концентрацията му c_x , използвайки дадената на фигурата зависимост на показателя на пречупване на захарни водни разтвори от тяхната масова (тегловна) концентрация.

1 точка



К) Оценете колко е абсолютната грешка на изчисления показател на пречупване в подусловие и), ако точността на броя измерени максимуми е $\Delta N = \pm 1$.

1 точка

Л) Оценете грубо до каква максимална стойност на широчината на процепа $d_{\max}$ все още ще се регистрира интерференчна картина от CCD.

1 точка

Задача 4. Определяне на масата на покой на Λ^0 бариона

Ламбда нула барионът (Λ^0) е съставен от трите най-леки кварка (uds). Той е нестабилна електронейтрална частица, която се ражда при взаимодействие между други частици с високи енергии и след това се разпада. Подобни процеси могат да се изследват с мехурчеста камера.

Сноп от отрицателно заредени K^- мезони с много голяма енергия (релятивистки сноп) попада в мехурчеста камера, запълнена със смес от органични течности. K^-

мезоните взаимодействат с неутрони, които се съдържат в течностите, и протича реакцията:



Много кратко време след раждането си ламбда барионите се разпадат на протони и пи минус мезони (π^-):



Фотография на описаните по-горе събития е показана на *фиг. 1а* (на отделен лист). Λ^0 барион се ражда в точка *A* в резултат на реакцията (1). Той достига по права линия точка *B*, където се разпада. Заредените частици (K^- , p и π^-) взаимодействат с молекулите на течностите, изпълващи камерата, и се появяват мехурчета, които правят пътя на заредените частици видим – наблюдават се следи (трекове) на частиците. Незаредените частици не оставят следи. Пунктираните линии не са част от оригиналната фотография. Те са дадени за нагледност и да ви помогнат при решаването на задачата. Всички частици се движат в равнината на снимката (листа). Протоните и π^- мезоните постепенно губят своята кинетична енергия в резултат на взаимодействието с молекулите на средата и накрая спират. На *фиг. 1б* е показана зависимостта на дължината на пробега (трека) на двете частици от тяхната начална кинетична енергия. Известни са енергията на покой на протона $E_{0p} = 938,3 \text{ MeV}$ и на π^- мезона $E_{0\pi} = 139,6 \text{ MeV}$.

Като използвате *фиг. 1а* и *фиг. 1б*, определете стойностите на изброените по-долу величини и направете оценка на грешката.

А) Измерете дължините на пробега на протона и на π^- мезона и определете тяхната начална пълна релативистка енергия E_p и E_π (в единици MeV). **7 точки**

Б) Определете (в единици MeV/c, където c е скоростта на светлината) началните импулси p_p , p_π на протона и на π^- мезона и импулса p_Λ на Λ^0 бариона непосредствено преди разпадането му. **5 точки**

В) Определете масата на покой на Λ^0 бариона (в единици MeV/c²). **3 точки**

Указание. В подусловие А) се изисква определяне на грешките на всички измерени или пресметнати величини. В другите подусловия приемерте, че относителната грешка на пресметнатите величини е 1 %, пресметнете абсолютната грешка на всяка от тези величини и запишете коректно крайните резултати.

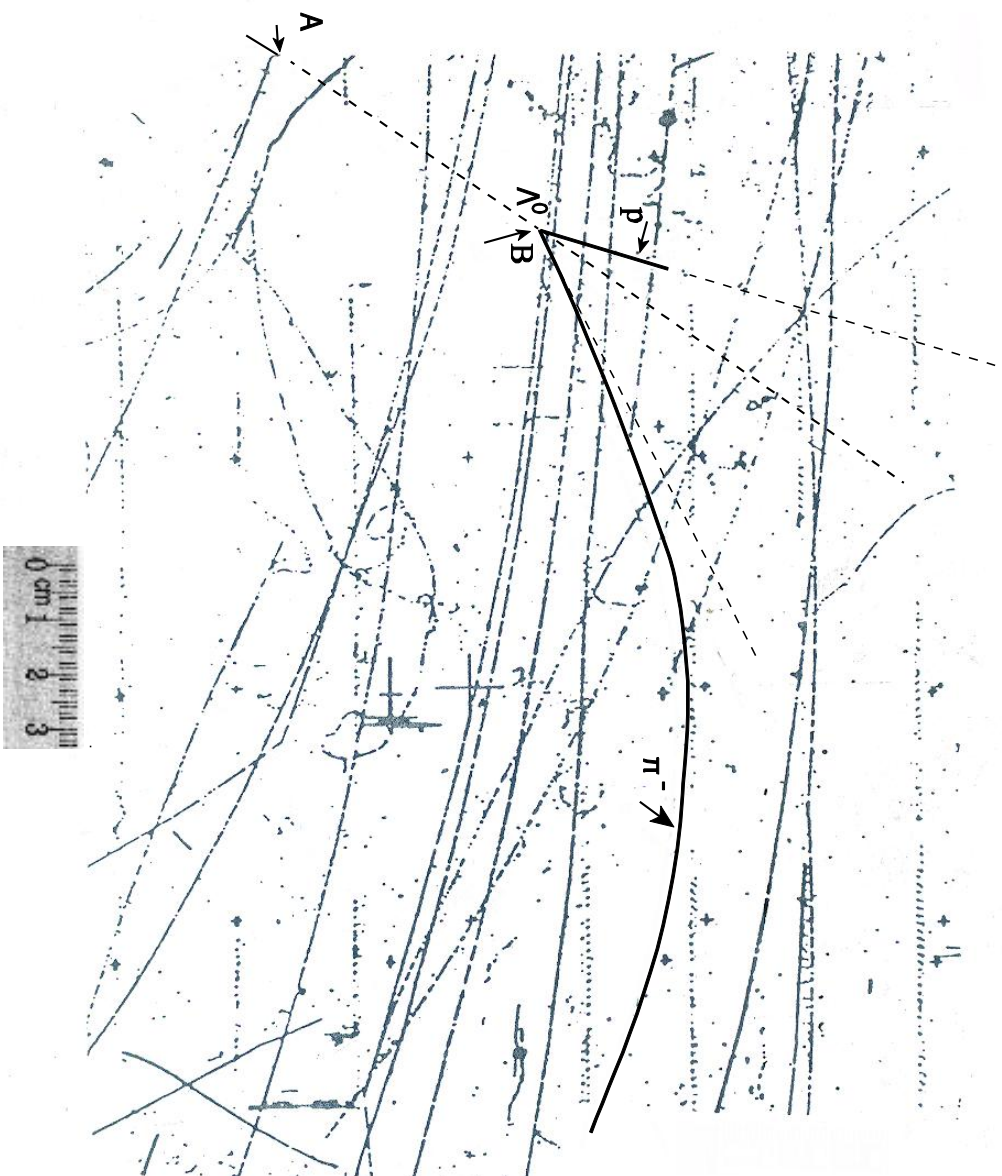
Полезна формула за релативистки импулс:

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{E^2 - E_0^2}$$

където E е пълната релативистка енергия на частицата, E_0 е нейната енергия на покой, а c е скоростта на светлината.

Фиг. 1а

Мащаб



Фиг. 16

