ППМГ „АКАД. НИКОЛА ОБРЕШКОВ“
V ППМГ БУРГАС CHALLENGE

Състезание по физика, 24 юни 2023 г.

Тема за 11-12 клас

Задача 1. Amuse-gueule.

Задачата се състои от три независими части.

1.1. Летящи топчета.

Две еднакви топчета се хвърлят от земята. Едното топче е хвърлено със скорост $v_1 = 8\,\mathrm{m/s}$ вертикално нагоре. В момента, в който то достига върха на траекторията си, то се удря еластично от другото топче, при което двете се разлитат. След време $\tau = 0.5\,\mathrm{s}$ едно от топчетата достига земята първо. Тогава разстоянието между топчетата е $L = 3\,\mathrm{m}$.

1.1.1. С каква скорост v_2 е хвърлено от земята другото топче?	**3 т.**

1.2. Ако не ви се брои...

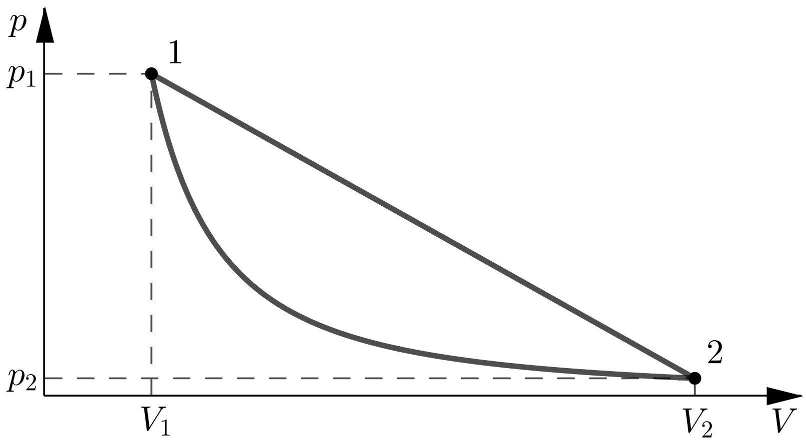
Монохроматична светлина от кохерентен източник пада перпендикулярно на екран с четен брой N еднакви тънки успоредни процепи на равно разстояние един от друг. Дифрактиралата светлина се наблюдава върху екран. Максималният интензитет върху екрана е I_0. Сега едната половина от поредицата процепи се закрива. На мястото, където преди е бил интерферечният минимум от първи порядък, сега се измерва интензитет $I \equiv qI_0$.

1.2.1. Изчислете N при $q = 0.1031$.	**2.5 т.**

1.2.2. Намерете стойността на q за дифракционна решетка с успоредни процепи.	**0.5 т.**

1.3. Коефициент на безполезно действие.

Топлинен двигател работи с идеален газ по цикъла, показан на $p-V$ диагарамата от Фигура 1. Първо газът се привежда от състояние 1 до състояние 2 с процес, при който налягането зависи линейно от обема. След това газът се свива обратно до състояние 1 с квазистатичен адиабатен процес. Степента на свиване на цикъла е $\alpha \equiv \frac{V_1}{V_2}$, а показателят на адиабатата на газа е γ.



Фигура 1

1.3.1. Изразете КПД η на двигателя в зависимост от γ и α. **3.3 т.**

1.3.2. Изчислете η за едноатомен газ при $\alpha \to 0$. Изчислете η за многоатомен газ при $\alpha = \frac{1}{2}$. Вибрационните степени на свобода на молекулите не са активни. **0.7 т.**

Задача 2. Тесла, волт, кулон.

Задачата се състои от три независими части.

2.1. Подобрена магнитна спирачка.

Системата, показана на Фигура 6, е сглобена от три еднакви пръчки с дължина $b = 120\,\mathrm{cm}$. Лявата пръчка е закрепена неподвижно към стена и е свързана към средната пръчка с две еднакви проводящи пружини, имащи коефициент на еластичност $k = 4\,\mathrm{N/m}$ и дължина в неразтегнато състояние $l_0 = 5\,\mathrm{cm}$. Най-дясната пръчка е закрепена неподвижно към тавана на хоризонтално отстояние $l_1 = 10\,\mathrm{cm}$ от лявата пръчка. Тя е свързана към средната пръчка с две леки метални жици с дължина $L = 1\,\mathrm{m}$.

2.1.1. Намерете разтягането Δx_0 на пружините, когато средната пръчка е в равновесно положение, ако масите на пръчките са $m_0 = 200\,\mathrm{g}$. **1.0 т.**

Сега цялата система се поставя в магнитно поле $B = 1.5\,\mathrm{T}$, насочено вертикално нагоре. Съпротивлението на пръчките е $R = 2\,\Omega$. Самоиндуктивността на системата се пренебргева.

2.1.2. За какви стойности на масите m средната пръчка ще прави затихващи трептения около равновесното си положение? **2.5 т.**

Указание: Препоръчително е да се работи в рамките на приближенията $L \gg l_0$, $L \gg l_1$.
Указание: Ако тяло с маса m е отместено на разстояние x от равновесното си положение и има скорост v, при което изпитва връщаща сила $-kx$ и сила на съпротивление $-\gamma v$, то ще прави затихващи трептения само при $4mk > \gamma^2$.

2.2. Черна кутия с транзистор.

Транзисторите са сложни електронни компоненти, използващи свойствата на полупроводниците. Обикновено те имат поне три извода, като потенциалната разлика между определени два извода може да регулира тока през други два извода. Разглеждаме MOSFET[1] с три извода – гейт G, сорс S и дрейн D, – като гейтът е изолиран от сорса и дрейна (Фигура 2). Сорсът и дрейнът се свързват с останалата електрическа верига, а потенциалната разлика ΔV между гейта и сорса определя ВАХ[2] на канала S-D на транзистора. По-конкретно, когато ΔV надвишава определено прагово напрежение V_{th}, транзисторът е отпушен, и токът I от D към S зависи от пада на напрежението $V_{\mathrm{D}} - V_{\mathrm{S}} \equiv V$ посредством

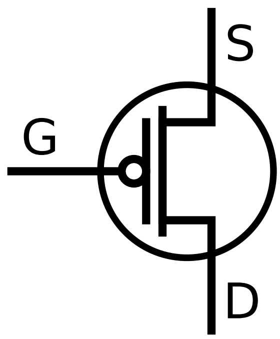
$$I = \begin{cases} A\left(\Delta V V - \frac{V^2}{2}\right), & V < \Delta V, \\ A\frac{\Delta V^2}{2}, & V \geq \Delta V, \end{cases}$$

където A е константа за конкретния транзистор. Ток от S към D не се пропуска.

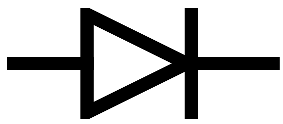
[1] Съкращението идва от metal-oxide-semiconductor field-effect transistor.

[2] Волт-амперната характеристика (ВАХ) на елемент от електрическа схема представлява зависимостта на тока през елемента от напрежението върху него. Обичайно ВАХ се представя чрез графика на тока от напрежението.

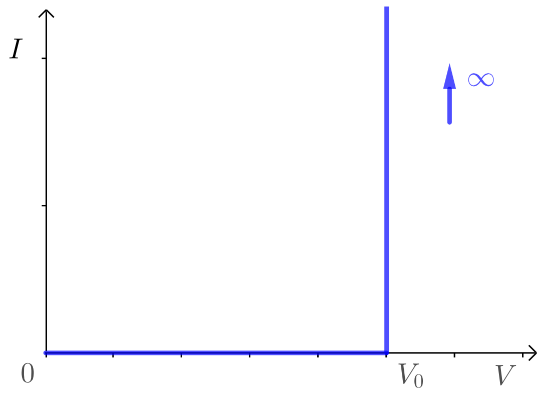
Реалният диод е компонент, който също пропуска токове само в едната посока (от ляво надясно за Фигура 3). При това между двата му извода се поддържа фиксирана потенциална разлика V_0. При по-малка потенциална разлика диодът не пропуска ток, както е видно от ВАХ на Фигура 4.



Фигура 2



Фигура 3



Фигура 4

В черна кутия са свързани по неизвестен начин отпушен MOSFET с параметър A и гейт-сорс потенциална разлика ΔV, реален диод с прагово напрежение V_0 и резистор със съпротивление R. Между изводите на веригата се подава някакво напрежение U от източник, при което може да се измери единствено тока I през източника. Докато се променя U, разликата ΔV се поддържа постоянна по начин, от който няма да се интересуваме. Получената ВАХ е дадена на Фигура 5.

2.2.1. Нарисувайте схемата в черната кутия. Обосновете се. **1.7 т.**

Указание: Нужно е само да се укаже свързването на D-S канала с останалата верига. Механизмът на регулиране на потенциала на G не ни касае.

2.2.2. Определете параметрите R, V_0, ΔV и A. **1.0 т.**

Когато $\Delta V < V_{\text{th}}$, транзисторът е запушен и не пропуска никакъв ток. Сега разглеждаме веригата при именно такава стойност на ΔV.

2.2.3. Постройте графика за волт-амперната характеристика на веригата при запушен MOSFET в диапазон между 0 и 10 V. **0.8 т.**

2.2.4. Намерете отношението η на мощностите, отделени във веригата при напрежение на източника $U = 7\,\text{V}$, съответно за запушен и отпушен MOSFET. **0.5 т.**

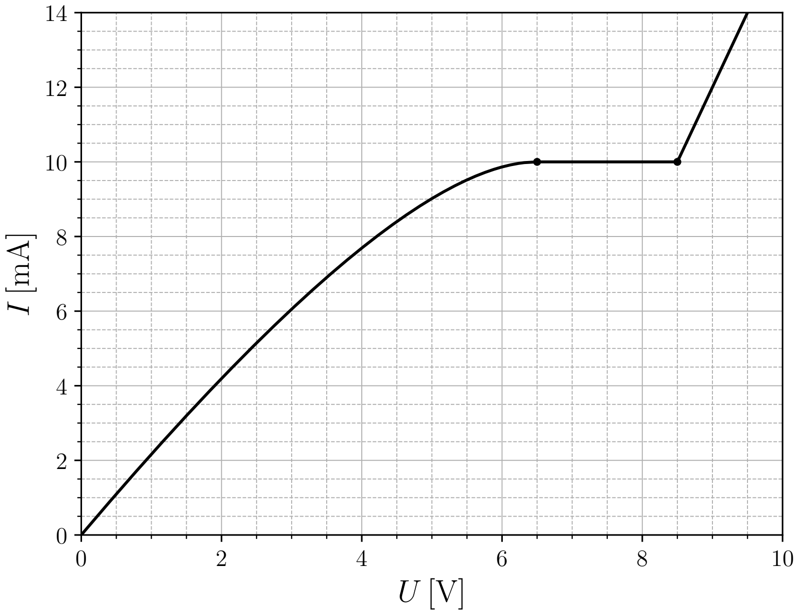
2.3. Заряд и пластина.

Заряд q е разпределен равномерно върху плоска диелектрична пластина с формата на равностранен триъгълник със страна a. На разстояние $\frac{a}{2\sqrt{6}}$ над центъра над пластината се поставя точков заряд q_0 със същия знак.

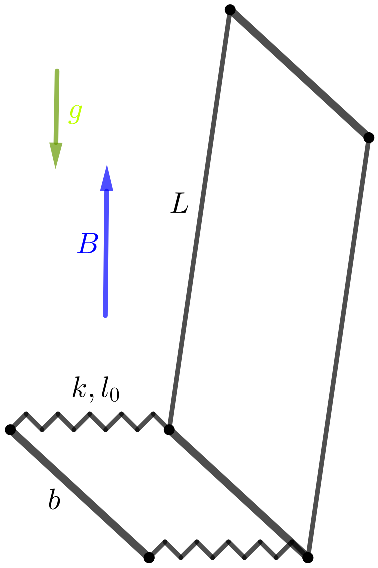
2.3.1. Намерете силата на взаимодействие F_1 между заряда и пластината. **1.6 т.**

Зарядът се премества до ново положение на разстояние $\frac{a}{\sqrt{6}}$ над центъра над пластината.

2.3.2. Намерете силата на взаимодействие F_2 между заряда и пластината. **0.9 т.**



Фигура 5



Фигура 6

Задача 3. Пиранометрия.

По елиптична орбита около Слънцето е пусната да обикаля космическа станция, захранваща се от прикачен към нея слънчев панел. Равнината на панела винаги се поддържа перпендикулярна на направлението към Слънцето. На Фигура 9 е дадена графиката на интензитета E на слънчевата светлина върху панела в зависимост от времето t. Дежурният на станцията експериментатор Гошо не само е забравил да оразмери оста на времето, а и е разлял айрян върху графиката.

3.1. Определете голямата полуос a и ексцентрицитета e на орбитата на станцията. **3.0 т.**

Указание: Ще бъде нужно да направите множество точни измервания по графиката. Ако не разполагате с принтер, може да правите измерванията си в ***3.1.*** *с линия върху увеличената на екрана графика.*
Указание: Ако не можете да определите голямата полуос и ексцентрицитета, продължете решението си със стойности $a = 1.8 \times 10^{11}$ m, $e = 0.40$.

3.2. Оразмерете оста на времето по графиката. **0.5 т.**

Указание: Ако не разполагате с принтер, като отговор на ***3.2.*** *или предайте снимков файл с правилно оразмерена ос на времето, или пречертайте графиката в писмената си работа, представяйки я с оразмерена ос.*

3.3. Намерете общата енергия на единица площ J (в [J/m^2]), която панелът събира за една пълна обиколка около Слънцето. **2.5 т.**

3.4. На какъв ъгъл β спрямо Слънцето се завърта станцията между първия момент на максимална осветеност по графиката и момента t_a? **1.0 т.**

Същият слънчев панел се монтира на екватора на Луната, някъде по далечната ѝ страна. Равнината на панела е фиксирана хоризонтално.

3.5. През какъв интервал от време T_r слънчевите лъчи ще падат перпендикулярно на равнината на този панел? **0.8 т.**

3.6. Оценете общо каква енергия на единица площ J_0 (в [J/m^2]) би попаднала върху повърхността на този панел за период $T_0 = 100\,\mathrm{yr}$. Ще дава ли този панел повече енергия за фиксиран дълъг период от време? **2.2 т.**

В приближение, орбитата на Земята около Слънцето е кръгова. Луната обикаля около Земята по кръгова орбита, която лежи в една равнина със земната. Това става в същата посока като орбиталното движение на Земята. Оста на въртене на Луната е перпендикулярна на равнината на орбитите. Периодът и посоката на околоосно въртене на Луната са такива, че тя винаги остава обърната по един и същ начин към Земята.

Справочни данни:
Земно ускорение – $g = 10\,\mathrm{m/s^2}$
Гравитационна константа – $G = 6.67 \times 10^{-11}\,\mathrm{m^3\,kg^{-1}\,s^{-2}}$
Константа на Стефан-Болцман – $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-4}}$
Ефективна температура на Слънцето – $T_\odot = 5770\,\mathrm{K}$
Радиус на Слънцето – $R_\odot = 696\,000\,\mathrm{km}$
Маса на Слънцето – $M_\odot = 1.99 \times 10^{30}\,\mathrm{kg}$
Орбитален период на Луната – $T_L = 27.32\,\mathrm{d}$
Орбитален период на Земята – $T_E = 365.25\,\mathrm{d}$

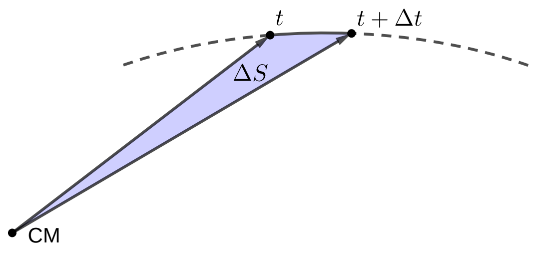
Полезна физика:
1. Траекторията на малко тяло относно звезда под действие на гравитационната сила представлява елипса, единият от фокусите на които е в звездата.

2. Проследявайки траекторията на тялото относно звездата, за време Δt радиус-векторът се променя и обира определена площ ΔS (Фигура 7). Величината $\sigma \equiv \frac{\Delta S}{\Delta t}$ се нарича секторна скорост и показва обраната площ за единица време. Моментната секторна скорост $\sigma|_{\Delta t \to 0}$ е еднаква по цялата траектория, тоест за равни интервали от време радиус-векторът ще обира равни площи.

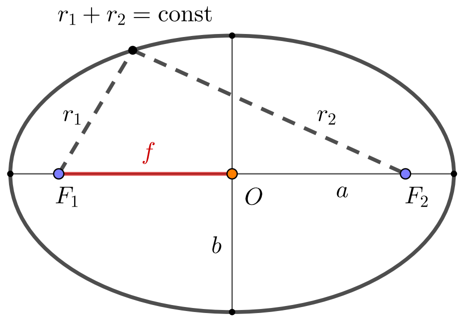
3. За малко тяло по орбита около звезда с маса M е изпълнено $\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$, където a е голямата полуос на елиптичната орбита, T е орбиталният период, а G е гравитационната константа.

Полезна математика:
1. Под радиус-вектор на тяло се разбира вектор, започващ от координатното начало и завършващ в тялото. Той описва позицията на тялото в избраната координатната система.

2. За всяка точка от дадена елипса (Фигура 8) сборът от разстоянията до двата ѝ фокуса е един и същ. Центърът на елипсата е по средата между двата фокуса. Разстоянието между център и фокус се нарича фокусно разстояние f. Най-дългата хорда през него се нарича голяма ос, а най-късата се нарича малка ос. Удобно е елипсата да се характеризира с половините им – голямата си полуос a и малката си полуос b. Площта на елипса тогава е $S = \pi ab$. За елипса може да се дефинира $f = ea$, където e е ексцентрицитет – параметър, изразяващ сплеснатостта на елипсата.

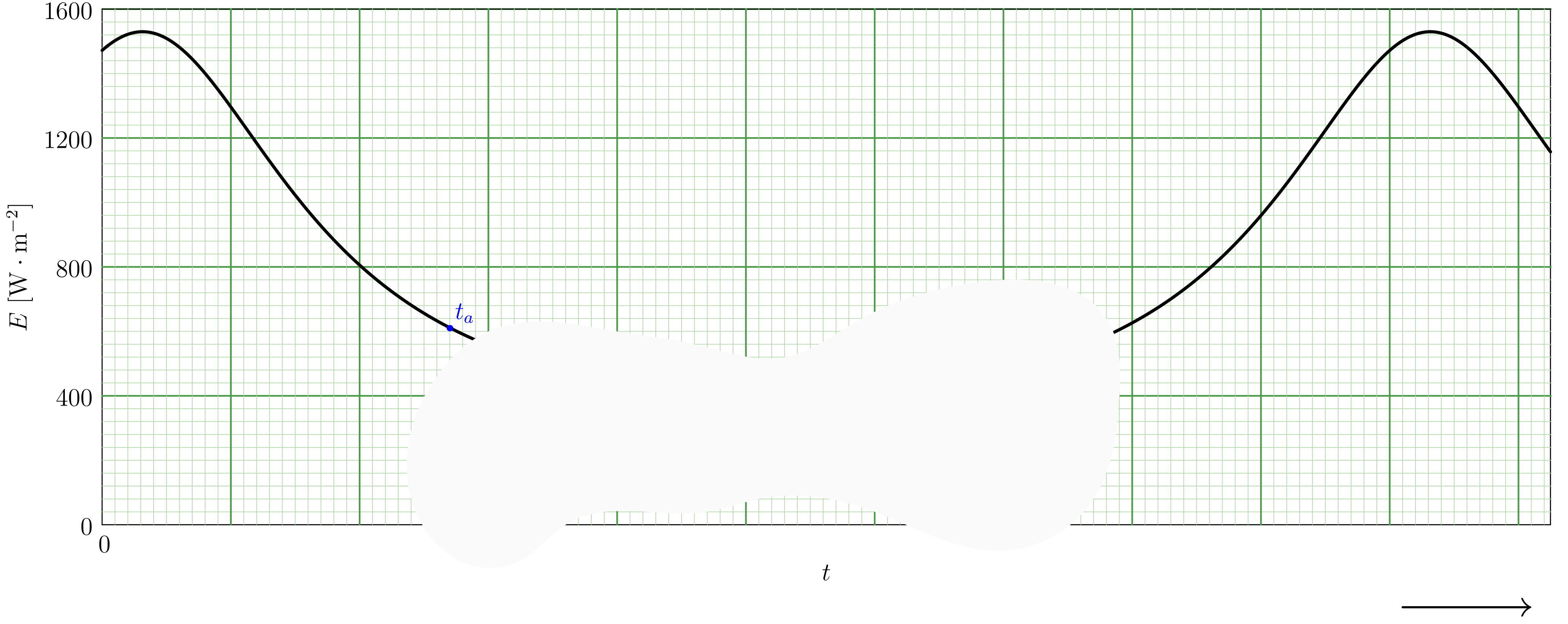


Фигура 7



Фигура 8

Време за работа – 4 часа.
Успех!



Фигура 9