

НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА, 2006 г.

М. Максимов, Д. Мърваков, В. Иванов, М. Абрашев, Ц. Попов, К. Тютюлков,
Физически факултет на СУ „Св. Климент Охридски“

Провеждане и резултати от олимпиадата

Теоретичният кръг на националната олимпиада по физика за учебната 2005—2006 г. се проведе на 6 май във Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“. В олимпиадата взеха участие общо 49 ученици от 8 града. Темата включваше четири задачи, всяка една от тях носеща по 15 точки, за които учениците разполагаха с 5 часа. Победител в теоретичния кръг беше Йордан Маджунков (12. клас, МГ „Гео Милев“, Плевен) с 53,5 т. Двадесетте най-добре представили се в теоретичния кръг бяха допуснати до експерименталния кръг, проведен на следващия ден. Там учениците се състезаваха по две експериментални задачи, всяка една от тях носеща по 20 т., за които учениците разполагаха също с 5 часа. Първенец в окончателното класиране е Георги Субашки (11. клас, НПМГ, София) с общо 81,5 т. Първите 5 участници (лауреати на олимпиадата) са дадени в таблицата по-долу:

№	Име	клас	училище	град	теория	експ.	общо
1	Георги Валериев Субашки	11	НПМГ	София	43,5	38	81,5
2	Свилен Николаев Кънев	11	ПМГ „Н. Обрешков“	Казанлък	50,5	23	73,5
3	Йордан Янков Маджунков	12	МГ „Гео Милев“	Плевен	53,5	17	70,5
4	Георги Владимиров Герганов	12	МГ „Гео Милев“	Плевен	34,5	32	66,5
5	Веселин Станимиров Александров	12	ПМГ „Н. Обрешков“	Казанлък	35	30	65

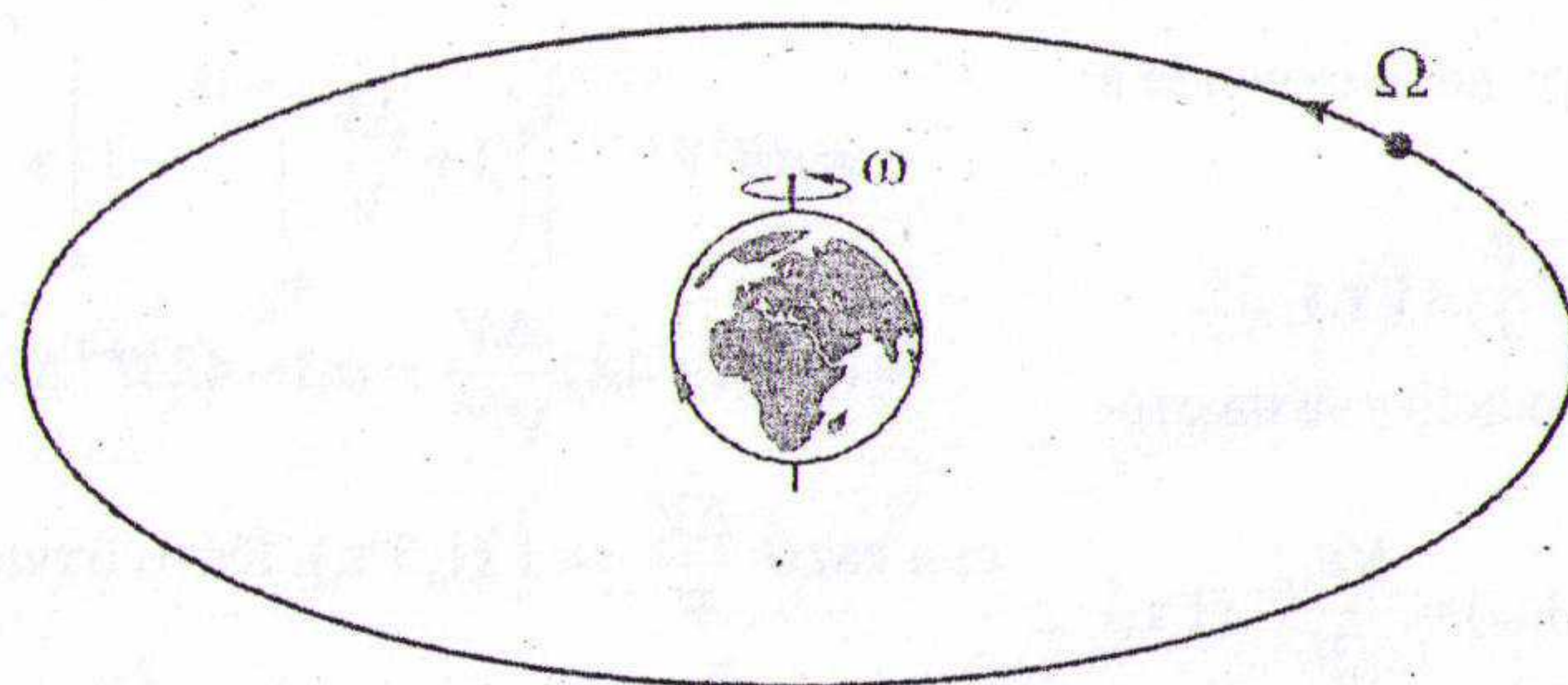
Първите 9 участници ще участват в подготовката на отбора за 37-та международна олимпиада по физика (Сингапур, 09.—18.07.2006 г.). Те ще трябва да преминат през няколко теоретични и експериментални контролни работи по време на подготовката на отбора от 12.06. до 25.06. Тези контролни работи носят допълнително до 65 точки максимум, които ще бъдат сумирани с резултатите от националната олимпиада. Въз основа на общия резултат ще бъдат определени петимата участници в националния отбор.

ЗАДАЧИ ОТ ТЕОРЕТИЧНИЯ КРЪГ

Задача 1. Изменение на периода на въртене на Земята поради приливното триене.

Поради силите на триене движението на водата в океаните и моретата при при-

лив и отлив е съпроводено с отделяне на топлина. Затова механичната енергия на системата Земя—Луна намалява, което води до нарастване на разстоянието r между Земята и Луната и увеличаване на



Фиг. 1

периода на въртене на Земята около нейната ос. За една година разстоянието между Земята и Луната нараства с $\Delta r = 4$ cm.

Разгледайте опростен модел, в който Луната се приема за материална точка с маса $m = 7,33 \cdot 10^{22}$ kg, която се върти около Земята по кръгова орбита с радиус $r_0 = 3,84 \cdot 10^8$ m. Земята е твърдо тяло с маса $M = 5,98 \cdot 10^{24}$ kg и инерчен момент $I = 4,00 \cdot 10^{37}$ kg·m², което се върти около ос на симетрия, перпендикулярна на орбитата на Луната (вж. фиг. 1). Системата Земя—Луна да се разглежда като затворена система. Приемете, че оста на въртене на Земята не променя ориентацията си, а Луната през цялото време се движи по кръгова орбита.

Гравитационната константа е $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11}$ N·m²/kg².

а) Пресметнете ъгловата скорост Ω на орбиталното движение на Луната. (2 т.)

б) Представете ъгловата скорост ω на въртене на Земята около нейната ос като функция на изменението на разстоянието Δr между Земята и Луната. Отчетете, че $\Delta r \ll r_0$. (4 т.)

в) Представете нарастването ΔT на периода на въртене на Земята около нейната ос като функция от Δr . (2 т.)

г) С колко секунди ще нарасне земното денонощие за една година? (1 т.)

д) Представете изменението ΔE на механична енергия на системата Земя—Луна като функция от Δr . (5 т.)

е) С колко джаула ще намалее механичната енергия на системата Земя—Лу-

на за една година поради приливното триене? (1 т.)

Автор: доц. М. Максимов

Задача 2. Газ от фонони

При ниски температури (под 100 K) термодинамичните свойства на диелектричните кристали се определят от хармоничните трептения на атомите. Тези трептения имат квантов характер и на разпространението на механични вълни със скорост v в кристала се съпоставят частици, наречени фонони. По този начин съвкупността от трептящи атоми се заменя с идеален газ от фонони, които запълват обема V на кристала и за които връзката между енергията $\mathcal{E}$ и големината на импулса p е

$$\mathcal{E} = vp.$$

Характерно за този газ е, че броят на фононите е променлив и се определя от температурата T и обема V на кристала.

а) Покажете, че за фонония газ налягането P и плътността на вътрешната енергия $u = \frac{U}{V}$ при термодинамично равновесие са свързани със съотношението

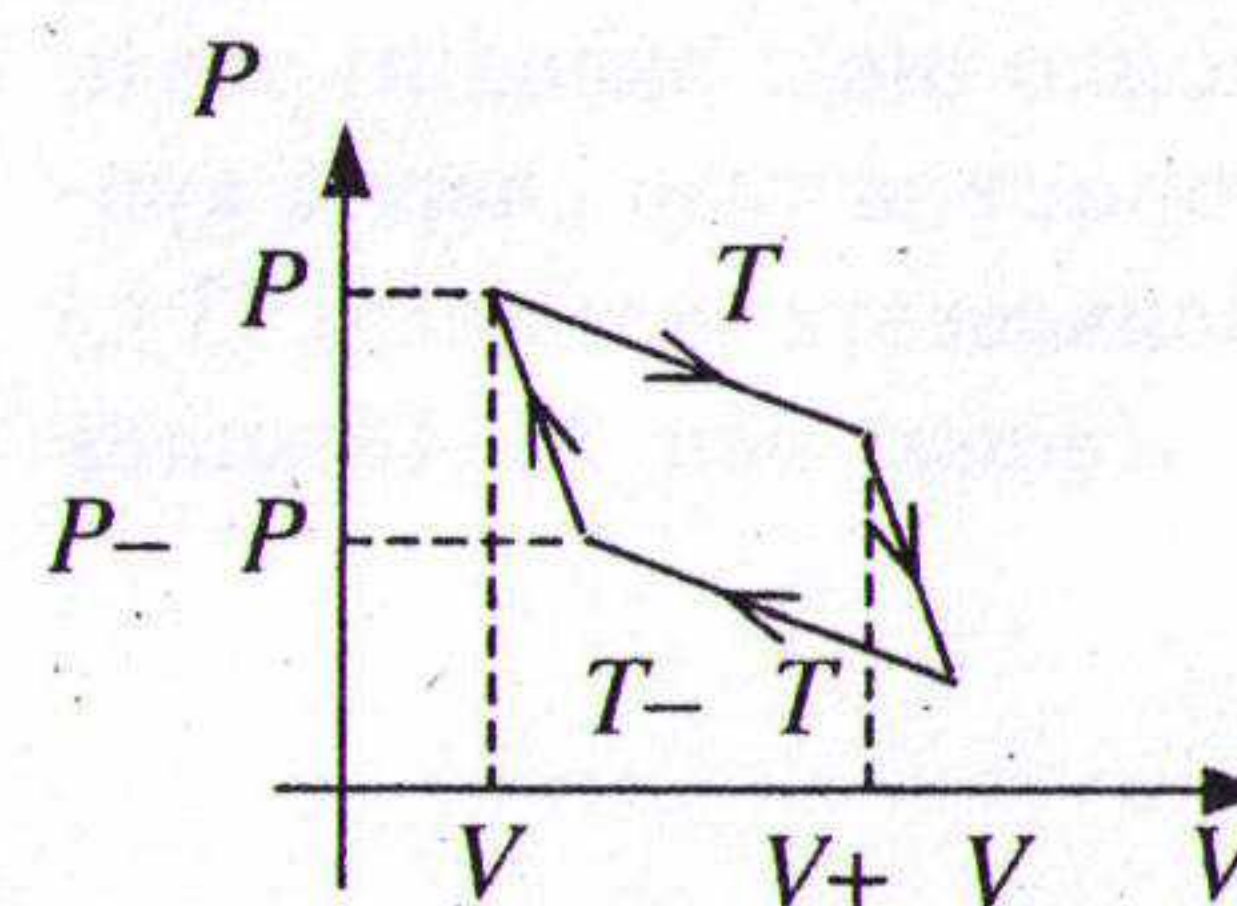
$$P = \frac{1}{3}u.$$

Приемете, че кристалът има формата на куб със страна l . (4 т.)

б) На PV -диаграмата (вж. фиг. 2) е показан цикъл на Карно с изотерми при температури съответно T и $T - \Delta T$. Измененията на налягането ΔP , обема ΔV и температурата ΔT са положителни и малки величини. Като приемете, че площта,

оградена от цикъла е $\Delta P \Delta V$, покажете:

$$\left(\frac{\Delta U}{\Delta V} \right)_{T=\text{const}} = T \left(\frac{\Delta P}{\Delta T} \right)_{V=\text{const}} - P. \quad (4 \text{ т.})$$



Фиг. 2

в) Като отчетете, че за фонония газ u зависи само от температурата T , намерете вида на функцията $u(T)$. (2 т.)

г) Нека фононият газ се разширява по закона $TV^\lambda = \text{const}$, където λ е зададено число. При какви стойности на λ газът поглъща топлина, отдава топлина или се извършва адиабатен процес? (5 т.)

Полезни съотношения.

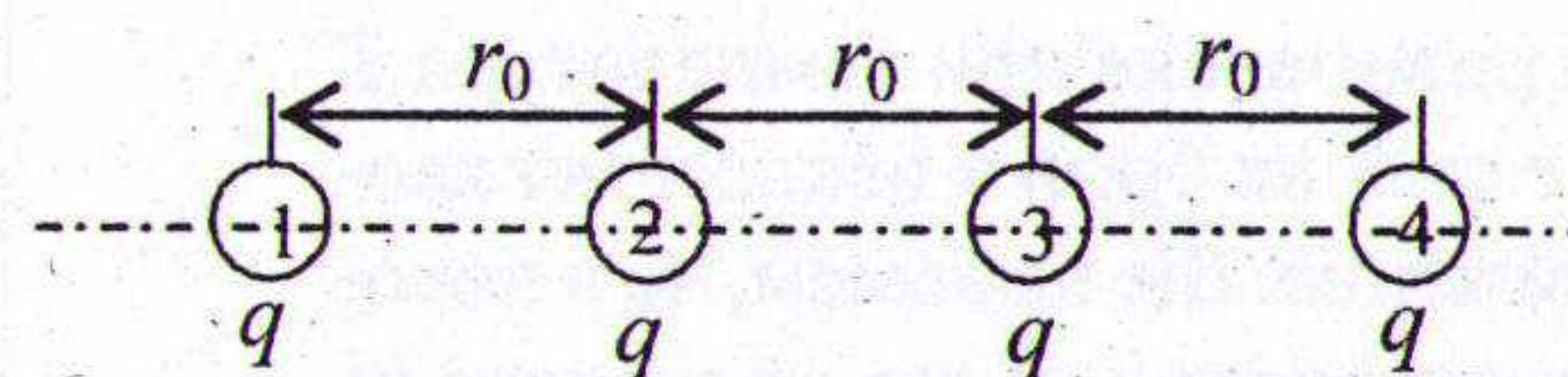
$$1. \text{ Ако } \frac{\Delta y}{y} = \gamma \frac{\Delta x}{x}, \text{ то } y = ax^\gamma, a = \text{const}.$$

2. При $|x| \ll 1$ е в сила приближената формула $(1+x)^\alpha \approx 1+\alpha x$.

Автор: доц. Д. Мърваков

Задача 3. Отблъскващи се частици

Четири частици с еднакви положителни заряди q са разположени върху една права на еднакви разстояния r_0 една от друга (вж. фиг. 3).



Фиг. 3

а) Намерете големините на електричните сили, които действат върху всяка частица. (3 т.)

б) Определете електричната потенциална енергия на системата. (4 т.)

Двете крайни частици (1 и 4) имат еднакви маси m , а частиците между тях (2 и 3) — еднакви маси M . Частиците са оставени да се движат свободно с нулеви начални скорости под действие единствено на електричните сили. При това се оказва, че през цялото време частиците се намират на еднакви разстояния една от друга.

в) Пресметнете отношението на масите на частиците $\frac{M}{m}$. (4 т.)

г) Определете скоростите на частиците, след като се отдалечат една от друга на разстояния, които значително превишават началното разстояние r_0 . (4 т.)

Изразете отговорите чрез заряда на частиците q , масата m на двете крайни частици, началното разстояние r_0 и константата k в закона на Кулон.

Автор: доц. В. Иванов

Задача 4. Планкови дължина, време и маса. Радиус на „черна дупка“

а) Изразете размерността на Планковата константа h и гравитационната константа G чрез мерните единици на величините маса, дължина и време. (2 т.)

б) В съвременните физични теории се предполага, че пространството и времето се квантуват. Ако предположите, че големините на квантите за дължина l_{Pl} и време t_{Pl} зависят само от Планковата константа h , гравитационната константа G и скоростта на светлината c , намерете формули (с точност до безразмерен множител от порядъка на единица) за техните стойности. (6 т.)

в) изчислете l_{Pl} и t_{Pl} , ако

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s},$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2 \text{ и}$$

$$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (1 \text{ т.})$$

г) В съвременните физични теории се предполага, че когато релативистката маса на елементарните частици достигне критична стойност m_{Pl} , гравитационните