

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
ПРОЛЕТНО НАЦИОНАЛНО СЪСТЕЗАНИЕ ПО ФИЗИКА
7 МАРТ 2026 г., София
Специална тема (седма състезателна група)

Някои подусловия са независими

Задача 1. Международна космическа станция (ISS)

а) Спътник с маса m се движи около планета с маса M по кръгова орбита с бавно намаляващ радиус $r(t)$, при което $\frac{dr}{dt} = \text{const.} = B < 0$. Нека предположим, че силата на триене F_T , която му действа, зависи от скоростта му v така: $|F_T| = \alpha v^n$. Гравитационната константа е γ . Определете n и изразете α чрез дадените параметри. [2 т.]

б) Топка с радиус r_0 се движи в газ с плътност ρ с голяма скорост v_0 , такава, че $v_0 \gg v_m$, където v_m е средната скорост на топлинното движение на молекулите в газа. Масата на всяка от молекулите е m_m . Ударите между молекулите на газа и топката са идеално еластични. Изразете силата на триене F_T , която действа на топката, чрез дадените параметри. [2 т.]

в) Спътник обикаля със скорост $v(r_1)$ около планета (Земята) с маса M по кръгова орбита с радиус r_1 . Трябва да премине на друга кръгова орбита с радиус r_2 ($r_2 - r_1 = h \ll r_1, r_2$), където ще се движи със скорост $v(r_2)$. За тази цел той за кратко време си увеличава скоростта до v_1 . С тази скорост v_1 той започва да се движи по елиптична орбита с перигей r_1 и апогей r_2 . Когато достигне апогея си със скорост v_2 , той наново за кратко време си увеличава скоростта до $v(r_2)$. Изразете приближено $\Delta v_1 = v_1 - v(r_1)$ и $\Delta v_2 = v(r_2) - v_2$ чрез γ, M, h, r_1 и /или r_2 . [2 т.]

г) Международната космическа станция (ISS) през последните две години лети на средна височина $H = 417$ km над земната повърхност. Заради триенето в атмосферата тя бавно „пада“. Затова двигателите на скачениите с нея кораби периодично се включват за кратко време и я „издигат“. На графиката е дадена зависимостта на височината от времето $H(t)$. Използвайки графиката, намерете средната скорост на падане $\frac{dH}{dt}$ на ISS в единици km/месец и m/s. [1 т.]

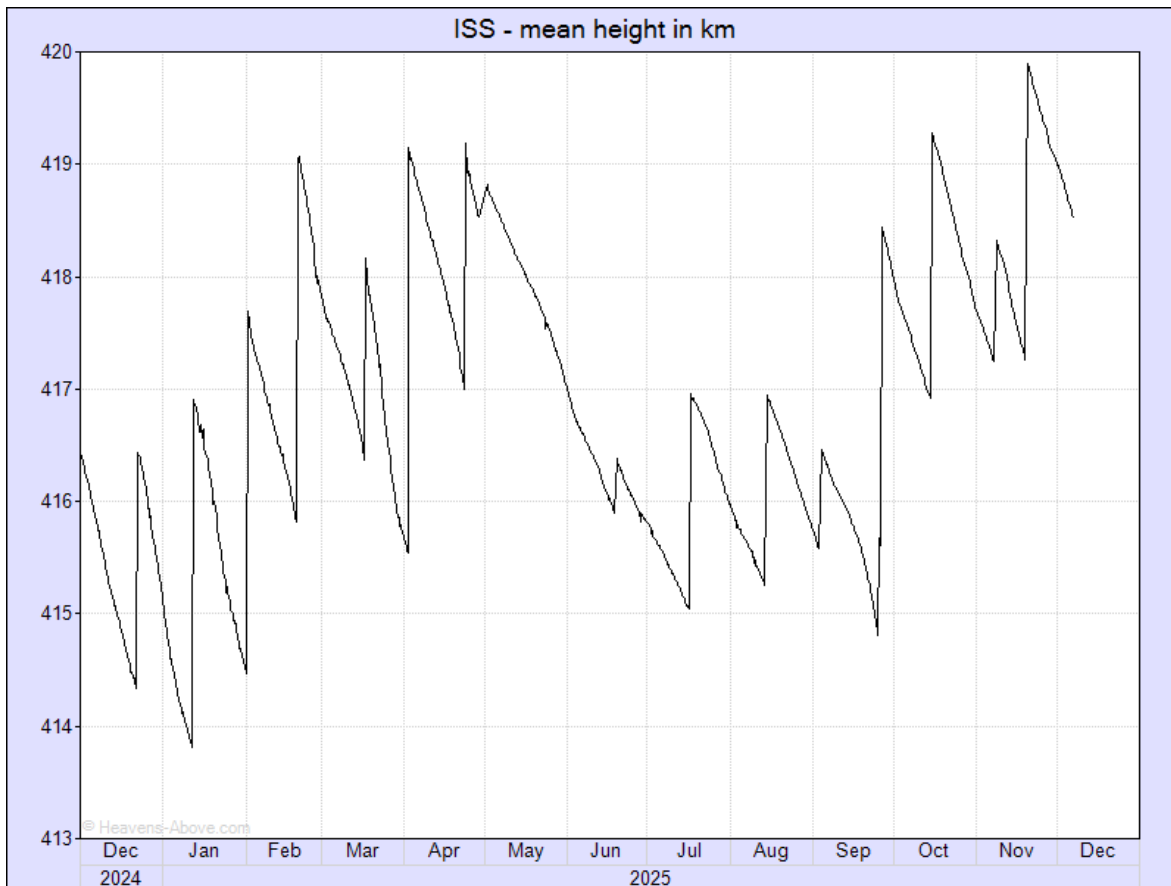
д) Приемете, че силата на триене, която действа на ISS, се описва с формулата, получена в подусловие б). Масата на ISS е $m = 450 \cdot 10^3$ kg. Земното ускорение (на земната повърхност) е $g = 9,81$ m/s², а радиусът на Земята е $R_3 = 6400$ km. Плътността на атмосферата на височината, на която лети ISS, е $\rho = 3,0 \cdot 10^{-12}$ kg/m³. Получете формула за „ефективната площ“ („ефективното сечение“) S на ISS и използвайте резултата от подусловие г) изчислете нейната стойност. [2 т.]

е) ISS трябва да си коригира кръговата орбита, като си увеличи височината с 3 km. Изчислете стойностите на Δv_1 и Δv_2 от подусловие в). [0.5 т.]

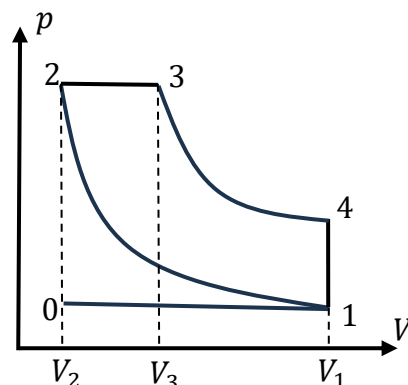
ж) За тази корекция на орбитата ISS използва двигател, създаващ реактивна сила $F_p = 3,0$ kN. Силата е тангенциална на орбитата. За колко време t_d (за всяко включване) трябва да е включен този двигател? [0.5 т.]

Задача 2. Дизелов двигател

Двигател работи по цикъла на Дизел (даден на $p - V$ диаграма). Той се състои от две адиабати 1-2 и 3-4, изобара 2-3 и изохора 4-1. Разглеждаме един цилиндър от двигателя. В началното положение „0“ обемът в цилиндъра е минимален (буталото е най-близко до клапаните, т. нар. „горна мъртва точка“) всмукателният клапан се отваря и цилиндърът започва да се пълни с въздух при атмосферно



налягане. В положение „1“ (буталото е най-далеч от клапаните, т. нар. „долна мъртва точка“), всмукателният клапан се затваря и въздухът в цилиндъра започва да се свива адиабатно. В положение „2“ в цилиндъра се впръсква гориво. То се samozапалва и изгаря по такъв начин, че може да се приеме че 2–3 е изобарен процес. В състояние „3“ горенето приключва. След това газът продължава да се разширява адиабатно до „4“. Тогава се отваря изпускателният клапан и налягането мигновено пада до атмосферното. От „1“ до „0“ изпускателният клапан стои отворен и отработеният газ напуска цилиндъра. След това всичко се повтаря. Адиабатната константа е винаги една и съща, равна на γ , $\frac{V_1}{V_2} = r$ (нарича се степен на сгъстяване), а $\frac{V_3}{V_2} = \alpha$. За всеки процес от



цикъла газът може да се приеме, че е идеален.

а) Получете формула за коефициента на полезно действие за този цикъл $\eta = \eta(\gamma, r, \alpha)$. [5 т.]

б) Нека $\gamma = 1.4$, $r = 20$ и $\alpha = 2.0$. Изчислете η . [0.4 т.]

Разглеждаме конкретен дизелов двигател. Той е 4 цилиндри и има общ обем 2,0 L (литра) (т.е. $V_1 = 0,5$ L). Коляновият му вал се върти с ъглова скорост $\omega = 3000$ rpm (оборотата в минута). В цилиндрите влиза въздух при атмосферно налягане $p_0 = 1,0 \cdot 10^5$ Pa с температура 300 K и моларен химичен състав 80% N_2 и 20% O_2 . Приемаме, че дизеловото гориво съдържа само един вид молекули C_nH_{2n+2} ($n = 16$, хексадекан, наричан още цетан). Приемаме, че при реакцията на $C_{16}H_{34}$ с O_2 (горенето) продуктите на реакцията са само CO_2 и H_2O .

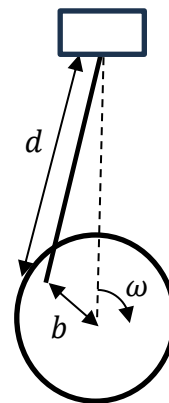
в) Изчислете колко мола O_2 са необходими за изгарянето на 1 mol $C_{16}H_{34}$. [0.4 т.]

г) Изчислете максималната консумация q [$\text{в } \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ и $\frac{\text{L}}{\text{h}}$ (литри в час)] на течното дизелово гориво при дадената ъглова скорост ω на колянвия вал и степен на сгъстяване $r = 20$, т.е. в цилиндрите постъпва точно толкова гориво, колкото може да изгори, без да остава неизгорено гориво и неизползван кислород. Плътноста на течният хексадекан е 773 kg/m^3 , моларната му маса е $\mu_H = 226,4 \text{ g/mol}$, а моларната маса на кислорода е $\mu_{O_2} = 16,0 \text{ g/mol}$. Универсалната газова константа е $R = 8,314 \text{ J/mol.K}$ [2.4 т.]

д) Ако топлината на изгаряне на дизеловото гориво е $\lambda = 45 \text{ MJ/kg}$, колко е теоретично максималната мощност P_{max} на този двигател при дадените обороти? Изчислете P_{max} в единици kW и к.с. („конска сила“). $1 \text{ kW} = 1,36 \text{ к.с.}$ [0.4 т.]

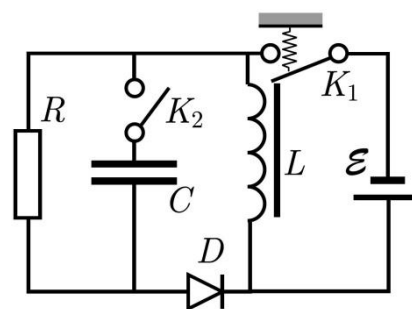
е) Автомобил с разглеждания двигател се движи на магистрала със скорост 120 km/h . При тази негова скорост ъгловата скорост на колянвия му вал е $\omega = 3000 \text{ rpm}$. За да поддържа тази скорост, е достатъчно да подава гориво наполовина от максималното (изчислено в подусловие д)). Изчислете разхода на гориво от автомобила при тези условия (в единици $\text{L}/100 \text{ km}$). [0.4 т.]

ж) Буталото във всеки от цилиндрите е свързано с колянвия вал чрез мотовилка с дължина d . Тя е закачена на разстояние b от оста на вала. Той се върти с ъглова скорост ω . Получете формула за ускорението на буталото, когато то се намира в „горната мъртва точка“. [1 т.]



Задача 3. Преобразувател на постоянно напрежение

Електрическа схема съдържа идеален източник на напрежение с електродвижещо напрежение E , кондензатор с капацитет C , резистор със съпротивление R , диод D , ключ K_2 и електромагнитно реле. При напрежения на диода $U_D \in (-\infty, U_0)$ той е запушен. Когато диодът е отпушен ($I_D \in (0, \infty)$), напрежението върху него е U_0 . Електромагнитното реле се състои от намотка с подвижна феромагнитна сърцевина и ключ K_1 . Намотката има индуктивност L и пренебрежимо съпротивление. Феромагнитната сърцевина е свързана с ключ K_1 . Когато токът през намотката е $I_L \in [0, I_0)$, ключът K_1 е затворен. Когато токът $I_L \geq I_0$, ключът K_1 е отворен. Обаче, дори токът I_L да спадне под I_0 , е необходимо някакво време τ_K , докато ключът K_1 успее отново да се затвори. Всички отговори трябва да изразите чрез дадените параметри E, C, R, U_0, L и I_0 .



а) Нека първоначално K_2 е отворен и $I_L = 0$. Получете формула за времето τ_L , след което ключът K_1 ще се отвори. [1 т.]

б) Нека са изпълнени неравенствата $\frac{L}{R} \ll \tau_K \ll \tau_L$ и $R \cdot I_0 \gg U_0$. Начертайте графиката на $I_L(t)$ за $t \in [0, 3\tau_L]$ и обяснете защо изглежда така. [1.5 т.]

в) Колко е максималното напрежение U_{max} върху резистора? [0.5 т.]

г) Колко е средната топлинна мощност P , отделяна на диода? [1.5 т.]

д) Нека сега разгледаме случая, когато ключът K_2 е затворен от самото начало. Нека за простота приемем, че $U_0 = 0$, а също така $RC \gg \tau_L \gg \tau_K > \pi\sqrt{LC}$. Нека схемата е работила дълго и върху резистора (и кондензатора) се е установило почти постоянно (слабо вариращо) напрежение U_{av} . Получете формула за U_{av} [2.5 т.]

е) Ако напрежението на резистора се мени в интервала от $U_{1\text{min}}$ до $U_{1\text{max}}$, определете амплитудата на напрежението $u = \frac{1}{2}(U_{1\text{max}} - U_{1\text{min}})$. [1.5 т.]

ж) Нека елементите в схемата имат следните стойности: $E = 5,0 \text{ V}$, $L = 2,0 \text{ H}$, $C = 10 \mu\text{F}$, $R = 50 \text{ k}\Omega$, $U_0 = 0,5 \text{ V}$, $I_0 = 0,1 \text{ A}$. Изчислете стойностите на τ_L , U_{max} , P , U_{av} и u . [1.5 т.]