Valsts izglītības satura centrs
NACIONĀLAIS ATTĪSTĪBAS PLĀNS 2020
EIROPAS SAVIENĪBA
Eiropas Sociālais fonds
IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

Projekta numurs: 8.3.2.1/16/I/002

Nacionāla un starptautiska mēroga pasākumu īstenošana izglītojamo talantu attīstībai

Fizikas valsts 68. olimpiāde
Trešā posma uzdevumi 11. klasei

Jums tiek piedāvāti trīs uzdevumi. Par katru uzdevumu maksimāli iespējams iegūt 10 punktus. Katra uzdevuma risinājumu vēlams veikt uz atsevišķas rūtiņu lapaspuses. Neaizmirstiet uzrakstīt risināmā uzdevuma soļa numuru. Baltais papīrs paredzēts melnrakstam - to žūrijas komisija neskatīsies. Laiks - 180 minūtes

1. uzdevums
KINĒTISKĀS ENERĢIJAS REĢENERĀCIJAS SISTĒMAS

Vai esat kādreiz aizdomājušies, cik neefektīvi tiek izmantota kinētiskā enerģija automobilim bremzējot? Visa kinētiskā enerģija tiek pārvērsta siltumā. Tas būtu ieguvums, ja šo enerģiju varētu uzkrāt un atkal izmantot, lai paātrinātos. Šādas sistēmas jau pastāv un tās lieto gan dažādās autosacīkstēs – Lemānas 24 stundu piedzīvojumu sacīkstēs, Formula 1 u.c., gan ikdienā lietojamos automobiļos – elektromobiļos, hibrīdautomašīnās u.c.

Kinētiskās enerģijas reģenerācijas (KER) sistēmas – sistēmas, kas spēj uzkrāt kinētisko enerģiju. Galvenais KER sistēmas raksturlielums ir maksimāli uzkrātās enerģijas attiecība pret sistēmas masu. KER sistēma būs efektīvāka, ja tā spēs uzkrāt vairāk enerģijas un svērs mazāk.

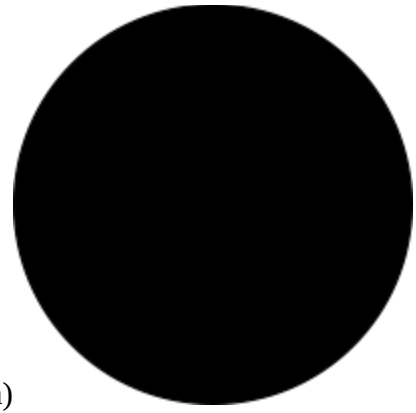
Aprēķināsim šo attiecību 3 dažādām KER sistēmām

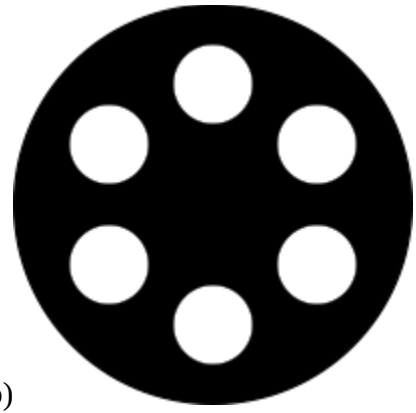
A
Elektriskā KER sistēmā enerģiju uzkrāj un glabā baterijās. Cik liela ir maksimālās enerģijas attiecība pret masu AA tipa Li jonu akumulatoru baterijai ar EDS 1.2 V, ja tās ietilpība ir 2000 mAh un masa 23 g?
Piezīme: Automašīnās lieto baterijas, kas ir ievērojami lielākas par AA baterijām, bet to darbības princips un uz masas vienību uzkrātā enerģija ir līdzvērtīga AA baterijai. [1 punkts]

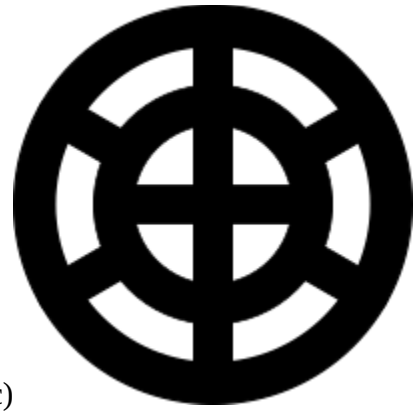
B
Enerģiju īslaicīgi var uzkrāt kondensatorā. Kondensatora maksimālās uzkrātās enerģijas attiecību pret masu nosaka materiāls, kas atrodas starp kondensatora plāksnēm (kondensatora plākšņu un korpusa masu neņemt vērā). Izmantosim kondensatoru ar labu dielektriķi, kuram dielektriskā caurlaidība ε = 200, caursites spriegums uz garuma vienību (caursites elektriskā lauka intensitāte) $\frac{U}{d} = 35\ \frac{V}{\mu m}$ un blīvums ρ = 0.92 $\frac{g}{cm^3}$. Cik liela ir maksimālās uzkrātās enerģijas attiecība pret masu šādam kondensatoram? [2 punkti]

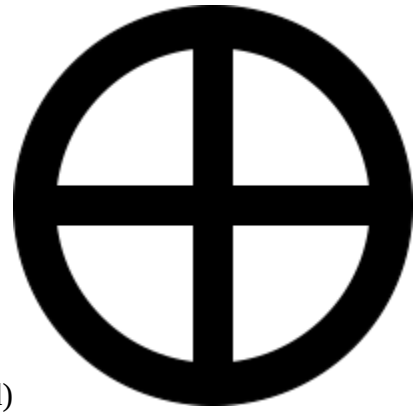
C

Mehāniskā KER sistēmā enerģija tiek uzkrāta spararatā. Kurš no spararatiem pie vienādas rotācijas frekvences būs uzkrājis visvairāk enerģijas? Visiem spararatiem ir vienāda masa un ārējais rādiuss, kā arī tie rotē ap rotācijas asi, kas iet caur spararata centru perpendikulāri zīmējuma plaknei. Visiem spararatiem masa ir vienmērīgi sadalīta pa tumšo apgabalu (baltie apgabali ir caurumi). Atbildes izvēli pamatot ar formulu vai skaidrojumu! [1 punkts]

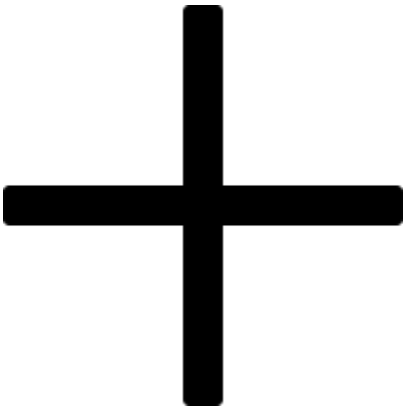
a) 

b) 

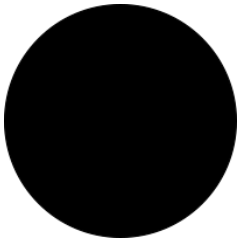
c) 

d) 

e)

f) 

D



Izvēlēsimies vienkāršāko no šiem spararatiem jeb disku ar vienmērīgi sadalītu masu. Cik lielu enerģijas daudzumu uz masas vienību uzkrāj šis spararats pirms diska ārējie punkti rotējot pārvar skaņas ātrumu 300 m/s? *Piezīme. Virs skaņas ātruma ievērojami pieaug enerģijas zudumi.* [2 punkti]

E

Autosacīkstēs, kur motora maksimālā izdalītā jauda ir ierobežota, papildus jaudu ir iespējams iegūt no KER sistēmas. Tāpēc svarīgs KER sistēmas raksturlielums ir arī jaudas attiecība pret masu.

Automašīnās lietotai Li jonu baterijai (m = 450 kg, EDS 240 V, ietilpība 220 Ah) iekšējā pretestība r = 3 Ω. Cik liela ir maksimāli iespējamā izdalītā jauda ārējā ķēdē? Aprēķināt šīs jaudas attiecību pret KER sistēmas masu. *Piezīme. KER sistēma ar kondensatoru un mehāniskā KER sistēma var attīstīt ievērojami lielāku jaudu.* [2 punkti]

F

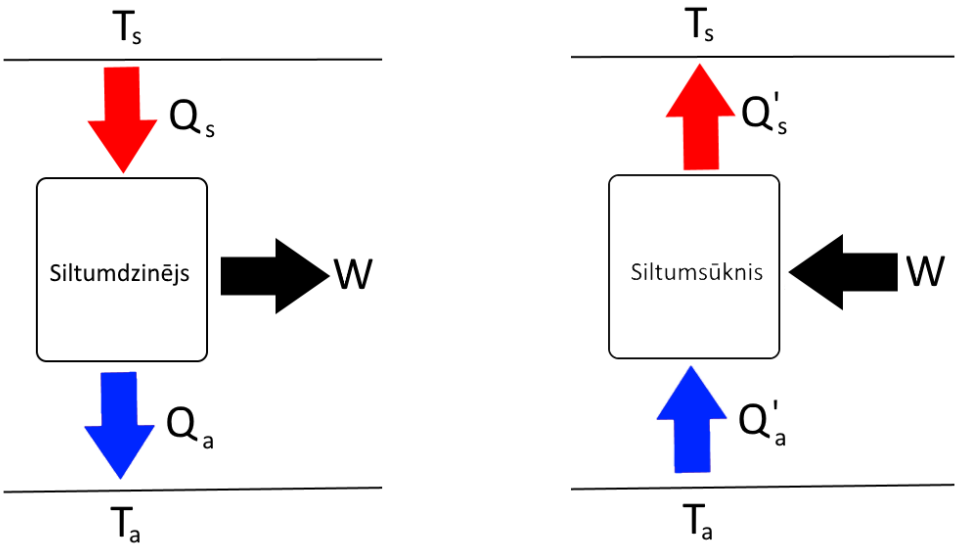
Novērtēsim, cik smagu KER sistēmu ir jēga uzstādīt. Sacīkšu formulai ar masu 1000 kg, tika uzstādīta KER sistēma, kas spēj 30% no bremzēšanā zaudētās enerģijas pārvērst atpakaļ kinētiskajā enerģijā (paātrināšanās laikā). Cik liela drīkst būt KER sistēmas masa, lai tā samazinātu enerģijas patēriņu, t.i., veicot daudzus apstāšanās un paātrināšanās ciklus līdz vienam un tam pašam ātrumam – ar KER sistēmu patērē mazāk enerģijas nekā bez KER sistēmas? [2 punkti]

2. uzdevums

OTRAIS TERMODINAMIKAS LIKUMS UN SILTUMDZINĒJI

Mūsdienās otrā termodinamikas likuma formulējums balstās uz entropijas pieaugšanas principu, bet vēsturiski sākotnējie formulējumi nebija tik vispārīgi. Tajā pašā laikā tiem piemīt ļoti eleganta un vienkārša struktūra, kas atklāj daudz no maza pieņēmumu skaita. Termodinamika lielā mērā attīstījās industriālās revolūcijas laikā, kad siltumdzinēju uzlabošana bija zinātnieku uzmanības centrā, tāpēc arī šajā uzdevumā fokusēsimies uz tiem. Reāli siltumdzinēji ir daudz sarežģītāki, bet visa mums nepieciešamā fizika ir aptverta relatīvi vienkāršā modelī.

Siltumdzinējs ir cikliska iekārta, kas darbojas starp diviem rezervuāriem - vienu aukstu ar temperatūru *T*a un vienu siltu ar temperatūru *T*s. Katra cikla laikā tas saņem siltumu *Q*s no siltā rezervuārā, pastrādā darbu W un atbrīvo siltumu *Q*a aukstajā rezervuārā. Siltumsūknis ir dzinējs, kas palaists pretējā virzienā.



2.1. attēls. Shematisks attēlojums siltumdzinēja un siltumsūkņa darbības principiem. Ievērojiet, ka *Q*a = *Q*a' un *Q*s = *Q*s', tikai tad, ja dzinējs ir atgriezenisks.

A

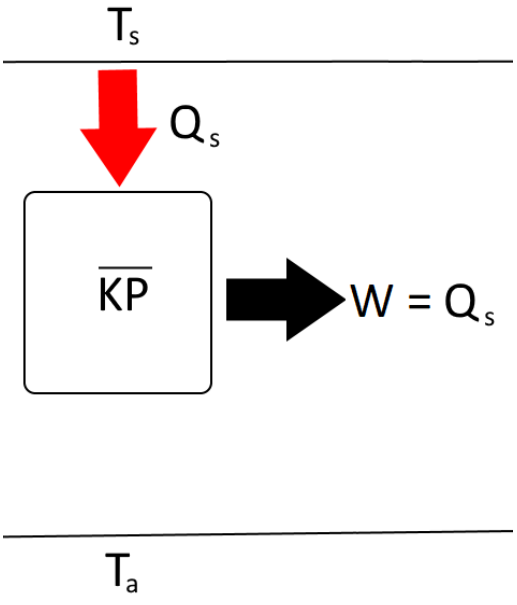
Izmantojot enerģijas nezūdamības likumu (pirmo termodinamikas likumu), atrodiet saistību starp lielumiem *Q*a, *Q*s un W. [1 punkts]

B

Siltumdzinēja lietderības koeficientu definē kā $\eta = \frac{W}{Q_s}$, un vienīgā robeža, ko uzliek pirmais termodinamikas likums, ir $\eta \leq 1$, bet realitātē *Q*a nav iespējams padarīt patvaļīgi mazu. Šis uz daži citi novērojumi noveda 19. gs. fiziķus pie sekojošajiem diviem principiem.

Kelvina-Planka postulāts: Nav iespējams konstruēt tādu dzinēju, kura vienīgā darbība ir pārvērst visu ienākošo siltumu darbā.
Klauziusa postulāts: Nav iespējams konstruēt tādu sūkni, kura vienīgais rezultāts ir pārvietot siltumu no auksta rezervuāra uz karstu (balstīts uz novērojuma, ka siltums plūst no karstiem ķermeņiem uz aukstiem).

2.2. attēlā parādīts dzinējs $\overline{KP}$, kurš pārkāpj Kelvina-Planka postulātu. Uzzīmējiet sūkni $\overline{K}$, kurš pārkāpj Klauziusa postulātu. [1 punkts]



2.2. attēls. Siltumdzinējs, kurš pārkāpj Kelvina - Planka postulātu

C

Izmantojot konstrukciju, kas sastāv no $\overline{K}$ un parasta siltumdzinēja, parādiet, ka $\overline{K}$ eksistence pārkāpj arī Kelvina-Planka postulātu.

Līdzīgā veidā iespējams pierādīt, ka dzinējs $\overline{KP}$ pārkāpj Klauziusa postulātu, kas nozīmē, ka abi postulāti īstenībā ir ekvivalenti.

[2 punkti]

D

Atgriezenisks siltumdzinējs ir tāds, kuru palaižot pretējā virzienā (pārvēršot to par siltumsūkni) *Q*a un *Q*s vērtības nemainās. Tagad pierādīsim slaveno Karno teorēmu.

Pierādiet, ka atgriezeniska dzinēja lietderības koeficients η_k vienmēr ir lielāks vai vienāds ar jebkura neatgriezeniska dzinēja lietderības koeficientu. (Padoms: Pieņemiet, ka eksistē neatgriezenisks dzinējs, kura lietderības koeficients ir lielāks nekā η_k. Tad parādiet, ka apvienojot to ar atgriezenisku dzinēju tiek pārkāpts Klauziusa postulāts.) [3 punkti]

E

Ir iespējams parādīt, ka visu atgriezenisku dzinēju lietderības koeficients ir $\eta_k = 1 - \frac{T_a}{T_S}$.

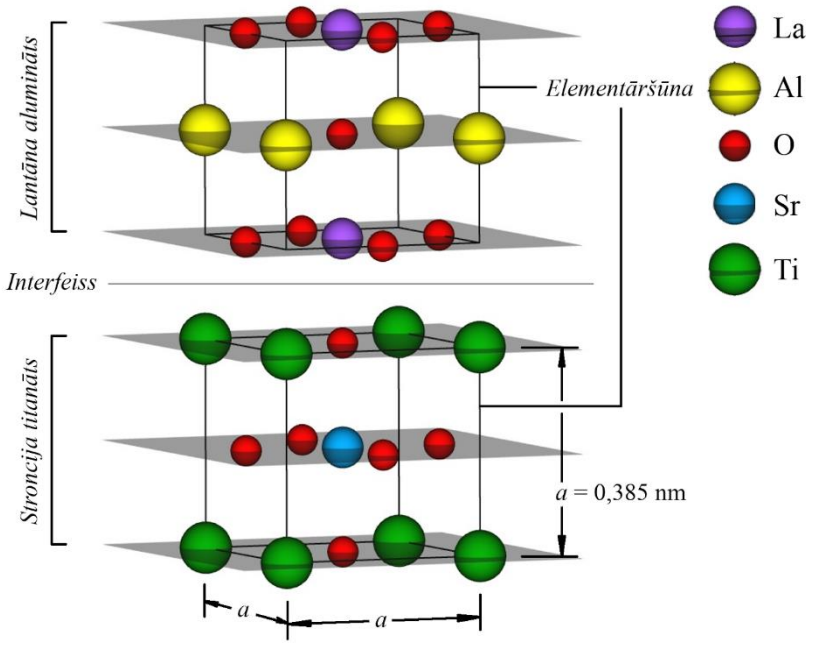
Izmantosim šo rezultātu, lai aprēķinātu kāda ledusskapja iekšējo temperatūru. Pieņemsim, ka šī ledusskapja dzinējs ir atgriezenisks, ledusskapis atrodas istabā ar temperatūru $T_S = 20\ ^0C$ un tā efektīvā jauda ir $P = 120$ W. Siltuma zudumus, kas rodas nepilnīgas siltumizolācijas rezultātā, apraksta jauda $P_Z = kT$, kur siltumvadīšanas koeficients $k = 140\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}}$ un ΔT ir temperatūras starpība starp ledusskapja iekšpusi un istabu.

Atrodiet temperatūru *T*a ledusskapja iekšienē. [3 punkti]

3. uzdevums

SAVIENOJUMI JEB PEROVSKITU INTERFEISI

Noteiktā veidā savienojot divus dažādus materiālus, var gadīties, ka jaunajam šādā veidā izveidotam materiālam būs krasi atšķirīgas, dažreiz pat negaidītas īpašības. Šajā uzdevumā apskatīsim, kas notiks, ja uz stroncija titanāta ($SrTiO_3$) pamatnes uzklāj lantāna aluminmāta ($LaAlO_3$) plānu kārtiņu. Abi šie savienojumi ir dielektriķi un, tātad, strāvu nevada, bet eksperimentāli ir pierādīts, ka, tos uzklājot vienu uz otra, rezultātā iegūtais materiāls var būt diezgan labi vadošs.



3.1. att.

3.1. attēlā ir parādīta apskatītā struktūra, ko tuvināti var modelēt ar lādētām plaknēm. Plakni, kas nodala $LaAlO_3$ kārtiņu no $SrTiO_3$ pamatnes sauc par interfeisu. Simetrijas dēļ, apskatot šādu struktūru var apskatīt nelielu tās daļu — elementāršūnu — kas attēlā ir iezīmēta ar melnām līnijām. Elementāršūna abām šīm vielām ir kubs ar malas garumu a = 0,385 nm. Par interfeisa elementāršūnu sauksim interfeisa kvadrātu ar malu a.

Apskatīsim gadījumu, kad gan $SrTiO_3$ pamatne, gan $LaAlO_3$ kārtiņa ir ļoti biezas, un brīvo elektronu uz interfeisa nav. Paraugu ievietoja homogēnā elektriskajā laukā tā, lai lauka spēka līnijas būtu perpendikulāras interfeisam. Relatīvā dielektriskā caurlaidība $LaAlO_3$ ir 23,5, bet $SrTiO_3$ — 300.

A

Cik liels ir saistīto lādiņu virsmas blīvums uz interfeisa, ja ārējā lauka intensitāte ārpus materiāla ir E_0 = 5 V/cm? [3 punkti]

$LaAlO_3$ veidojošie slāņi ir lādēti, līdz ar to kārtiņas iekšā pastāv elektriskais lauks. Šajā uzdevuma daļā pieņemsim, ka slāņu lādiņi sakrīt ar formāliem lādiņiem (slāņu ieejošo elementu oksidācijas pakāpju summu), t.i. LaO slāņa elementāršūnas (violetās un sarkanās lodītes zīmējumā) lādiņš ir +1e, bet AlO_2 slāņa elementāršūnas (dzeltenās un sarkanās lodītes zīmējumā) lādiņš ir –1e.

B

Grafiski attēlojiet, kā mainās elektriskā lauka intensitātes vertikālā komponente Ez atkarībā no attāluma līdz interfeisam z, ja kārtiņas slāņu skaits ir pāra skaitlis. Paskaidrojiet savu domu gaitu. [1.5 punkti]

C

Grafiski attēlojiet, kā mainās elektriskā lauka potenciāls φ atkarībā no attāluma līdz interfeisam z. Uzskatiet, ka potenciāls uz paša interfeisa ir nulle. Paskaidrojiet savu domu gaitu. [1.5 punkti]

Reālajā dzīvē lauks tādā veidā uzvesties nevar, un pie noteikta kārtiņas biezuma lādiņi sāk pārdalīties. Vienkāršākajā gadījumā elementāršūnā no augšējā AlO_2 slāņa uz interfeisam tuvāko TiO_2 slāni vidēji „pārlec“ lādiņš q = – 0.5e.

D
Cik liels ir maksimālais spriegums *U* starp interfeisam tuvāko TiO_2 slāni un kādu izvēlētu punktu kārtiņas iekšā? [2 punkti]

E
Cik liela ir vidējā elektriskā lauka intensitāte kārtiņā pēc šādas lādiņu pārdalīšanās? [1 punkts]

F
Eksperimentāli ir noteikts, ka uzklājot 10 elementāršūnu biezo $LaAlO_3$ kārtiņu uz $SrTiO^3$ pamatnes, struktūra paliek elektrovadoša, un brīvu lādiņu virsmas blīvums uz interfeisa ir 0,272 C/m². Cik daudz brīvu elektronu vidēji pienākas uz vienu interfeisa elementāršūnu? [1 punkts]