



Problema nr. 1 (10 puncte)

Electroni în solide

În această problemă vei analiza mișcarea electronilor de conducție în câteva corpuri solide și vei determina unele mărimi caracteristice acestei mișcări. De asemenea, vei studia apariția efectului Hall într-o probă conductoare paralelipedică și vei determina câteva mărimi specifice acestui efect.

În rezolvarea problemei poți folosi datele din tabelul de mai jos.

Tabelul nr. 1

Masa electronului	$m = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Valoarea sarcinii electrice elementare	$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$
Viteza termică a electronului în solide	$v_T \cong 100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Numărul lui Avogadro	$N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Sarcina de lucru nr. 1 – Conducție electrică

În absența unui câmp electric exterior, electronii de conducție dintr-un material conductor sau semiconductor au o mișcare haotică, efectuată cu viteza termică v_T , determinată de temperatura materialului. Caracteristic mișcării termice este faptul că în intervalul de timp dintre ciocnirile succesive cu ionii, electronii se deplasează pe segmente de dreaptă. În timpul ciocnirii cu constituenții materialului, viteza termică a electronului își schimbă brusc direcția. Pentru un electron de conducție, ciocnirile au loc după intervale de timp diferite; media intervalului de timp dintre două ciocniri succesive este specifică fiecărui material și este numită timp de relaxare τ .

Mișcarea haotică a electronilor de conducție este analoagă mișcării atomilor, așa cum este descrisă de modelul gazului ideal. În această mișcare haotică, media vitezei unui electron de conducție este zero. Cu alte cuvinte, în absența unui câmp electric exterior, pentru o temperatură dată a materialului, nu există curent electric pe nicio direcție din acel material.

La aplicarea unui câmp electric exterior cu intensitatea \vec{E} , electronii de conducție din material dobândesc în cursul deplasării dintre ciocniri o viteză variabilă. Mișcarea nu mai este perfect haotică și există o componentă ordonată a deplasării electronilor, orientată pe direcția câmpului electric.

Într-un interval de timp suficient de lung pentru ca un electron de conducție să sufere un număr mare de ciocniri, se poate defini media vitezei \bar{v} acestui electron. Pentru electronii de conducție dintr-un colectiv foarte numeros, media acestor viteze este numită viteză de drift v_d .

1.a.	Determină expresia vitezei de drift a electronului, ca funcție de timpul de relaxare τ , de intensitatea \vec{E} a câmpului electric aplicat și de mărimile caracteristice ale electronului.	(1,0 p)
-------------	---	---------

Între modulul vitezei de drift și modulul intensității câmpului electric aplicat există relația $v_d = \mu \cdot E$. Mărimea μ este numită mobilitate și este specifică fiecărui material conductor.

Consideră că pentru un material conductor sunt cunoscute conductivitatea electrică σ și concentrația electronilor mobili n .



eFizică!
27 Noiembrie 2022

1.b.	Dedu expresia mobilității μ a electronilor și expresia timpului de relaxare τ în materialul respectiv. Exprimă răspunsurile în funcție de σ , n și de mărimi caracteristice ale electronului.	(1,0 p)
-------------	---	---------

Printr-un fir de argint cu diametrul $D=1,00 \times 10^{-3} m$ circulă un curent electric cu intensitatea $I=100 mA$. Masa molară a argintului este $A=108 kg \cdot kmol^{-1}$, iar densitatea sa este $d=10,5 \times 10^3 kg \cdot m^{-3}$. Ai în vedere că la conducția electrică, fiecare atom de argint contribuie cu un electron de conducție.

1.c.	Determină valoarea vitezei de drift $v_{d,Ag}$ a electronilor de conducție din firul de argint.	(0,5 p)
-------------	---	---------

O placă paralelipipedică, având lungimea $c=1,00 cm$ și aria secțiunii transversale $S=2,00 mm^2$, este confecționată dintr-un material semiconductor izotrop și omogen. Concentrația electronilor de conducție din placa semiconductoră este $n=2,50 \cdot 10^{16} m^{-3}$, iar modulul mobilității acestora are valoarea $\mu=1,50 \times 10^{-1} m^2 \cdot V^{-1} \cdot s^{-1}$. Între fețele cu aria S ale plăcii semiconductoră se aplică o diferență de potențial $U=1,00 V$.

1.d.	Dedu valoarea rezistivității ρ a materialului plăcii semiconductoră.	(0,5 p)
-------------	---	---------

1.e.	Determină valoarea vitezei de drift $v_{d,s}$ a electronilor în placa semiconductoră, precum și valoarea timpului de relaxare τ pentru electronii din placa semiconductoră.	(1,0 p)
-------------	--	---------

1.f.	Dedu valoarea intensității I a curentului electric, care circulă prin placa semiconductoră.	(0,5 p)
-------------	---	---------

Un electron se mișcă în vid între două puncte A și B situate la distanța $c=1,00 cm$. Potențialul electric al punctului A este $V_A=0V$, iar potențialul electric al punctului B este $V_B=10V$. Electronul pornește din punctul A, având viteză nulă.

1.g.	Determină valoarea vitezei v_v , cu care electronul ajunge în punctul B. Calculează raportul η_m dintre valoarea vitezei v_v a electronului în vid și valoarea vitezei de drift a electronilor în firul de argint $v_{d,Ag}$, valoare pe care ai determinat-o în cadrul sarcinii de lucru 1.c. De asemenea calculează raportul η_s dintre valoarea vitezei v_v și valoarea vitezei de drift a electronilor din placa semiconductoră $v_{d,s}$, valoare pe care ai determinat-o în cadrul sarcinii de lucru 1.e.	(1,0 p)
-------------	---	---------



Sarcina de lucru nr. 2 - Efect Hall într-o probă conductoare paralelipipedică

Efectul Hall constă în apariția unei diferențe de potențial, numită tensiune Hall, între două fețe paralele ale unui paralelipiped conductor, dacă între alte două fețe ale paralelipipedului circulă un curent electric în timp ce, a treia pereche de fețe este străbătută normal de liniile unui câmp magnetic uniform.

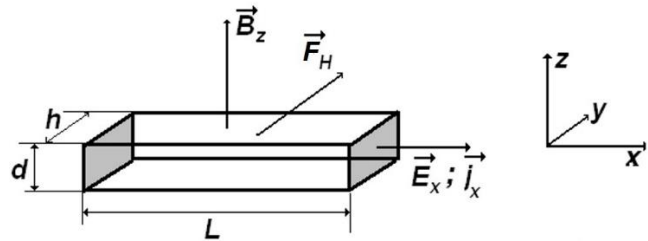


Figura 1

Imaginea din figura 1 ilustrează geometria apariției efectului Hall în proba conductoare din punct de vedere electric, paralelipipedică și care are laturile d, h, L . Între fețele cu ariile suprafețelor $d \times h$ se aplică un câmp electric cu intensitatea \vec{E}_x , ceea ce conduce la apariția unui curent electric cu densitatea de curent \vec{j}_x . Perpendicular pe fețele cu ariile $L \times h$ se aplică un câmp magnetic uniform cu inducția \vec{B}_z . În figura 1, alături de schița probei este prezentat sistemul de coordonate, recomandat pentru rezolvarea sarcinii de lucru nr. 2.

Conducția electrică din placa paralelipipedică este asigurată de electronii de conducție, a căror concentrație este n . La aplicarea câmpului magnetic, electronii care circulă în placă în sens opus câmpului \vec{E}_x suferă o deviere a traiectoriilor, acumulându-se pe una dintre fețele cu aria $L \times d$. Astfel, între cele două fețe cu arii $L \times d$ apare o diferență de potențial, denumită tensiune Hall U_H și un câmp electric de intensitate \vec{e}_H , paralel cu axa Oy și numit câmp Hall. Încărcarea cu electroni a feței paralelipipedului crește, până când forța electrică exercitată asupra electronilor de conducție și determinată de câmpul electric Hall egalează forța Lorentz ce acționează asupra acestor electroni.

Consideră cunoscut faptul că mărimea intensității câmpului electric Hall are expresia $e_H = \mathbb{R}_H \cdot j_x \cdot B_z$, unde \mathbb{R}_H se numește constanta Hall.

2.a.	Determină expresia constantei Hall.	(1,0 p)
2.b.	Dedu expresia tensiunii Hall U_H , care apare între fețele cu arii $L \times d$ ale probei paralelipipedice. Exprimă rezultatul în funcție de constanta Hall, de intensitatea curentului electric prin probă, de inducția câmpului magnetic și de caracteristici geometrice ale probei.	(0,5 p)
2.c.	Determină expresia unghiului φ (unghiul Hall) dintre direcția câmpului electric în paralelipiped în absența câmpului magnetic și direcția câmpului electric în paralelipiped la aplicarea câmpului magnetic. Precizează dacă punctele aflate la mijlocul fețelor cu arie $L \times d$ se află pe o linie echipotențială a câmpului electric din paralelipipedul parcurs de curent și plasat în câmpul magnetic.	(1,0 p)

O placă paralelipipedică, construită dintr-un material conductor omogen și izotrop, are dimensiunile $L = 1,00 \text{ cm}$; $h = 0,50 \text{ cm}$; $d = 0,25 \text{ cm}$. Într-o geometrie similară celei prezentate în figura 1, prin



eFizică!
27 Noiembrie 2022

aplicarea unei tensiuni $U_x = 50,0 \text{ mV}$, prin placă circulară un curent electric cu intensitatea $I_x = 1,25 \text{ mA}$. După aplicarea unui câmp magnetic $B_z = 0,50 \text{ T}$ se măsoară o tensiune Hall $U_H = 5,00 \text{ mV}$.

2.d.	Determină modulul valorii constantei Hall, pentru materialul acestei plăci.	(0,5 p)
2.e.	Dedu valoarea conductivității electrice σ materialului din care este confecționată placa.	(0,5 p)
2.f.	Determină valoarea concentrației n și valoarea mobilității μ electronilor de conducție, din placa paralelipipedică.	(1,0 p)

© Subiect propus de:

Delia Constanța DAVIDESCU, PhD
Adrian DAFINEI, PhD



--

Foaie de Răspunsuri

Problema nr. 1 (10 puncte)

Electroni în solide

1.a.	Expresia vitezei de drift a electronului $\vec{v}_d =$	1,0p
1.b.	Expresia mobilității electronilor $\mu =$ Expresia timpului de relaxare $\tau =$	1,0p
1.c.	Valoarea vitezei de drift a electronilor de conducție din firul de argint $v_{d, Ag} =$	0,5p
1.d.	Valoarea rezistivității electrice a materialului plăcii semiconductoare $\rho =$	0,5p
1.e.	Valoarea vitezei de drift a electronilor în placa semiconductoare $v_{d,s} =$ Valoarea timpului de relaxare pentru electronii din placa semiconductoare $\tau =$	1,0p
1.f.	Valoarea intensității curentului electric, care circulă prin placa semiconductoare $I =$	0,5p
1.g.	Valoarea vitezei cu care electronul ajunge în punctul B $v_v =$ Valoarea raportului $\eta_m =$ Valoarea raportului $\eta_s =$	1,0p



eFizică!
27 Noiembrie 2022

Codul concurentului -- Problema

--

2.a.	Expresia constantei Hall $\mathbb{R}_H =$	1,0p				
2.b.	Expresia tensiunii Hall, care apare între fețele cu arii $L \times d$ ale probei paralelipipedice $U_H =$	0,5p				
2.c.	Expresia unghiului Hall $\varphi =$ Bifează răspunsul pe care îl consideri corect: <i>Punctele aflate la mijlocul fețelor cu arie $L \times d$ se află pe o linie echipotențială a câmpului electric</i> <table border="1" data-bbox="687 1014 901 1140"><tr><td>DA</td><td><input type="checkbox"/></td></tr><tr><td>NU</td><td><input type="checkbox"/></td></tr></table>	DA	<input type="checkbox"/>	NU	<input type="checkbox"/>	1,0p
DA	<input type="checkbox"/>					
NU	<input type="checkbox"/>					
2.d.	Modulul valorii constantei Hall pentru placa analizată $ \mathbb{R}_H =$	0,5p				
2.e.	Valoarea conductivității electrice a materialului din care este confecționată placa $\sigma =$	0,5p				
2.f.	Valoarea concentrației electronilor de conducție, din placa paralelipipedică $n =$ Valoarea mobilității electronilor de conducție din placa paralelipipedică $\mu =$	1,0p				
Total		10p				



Problema nr. 2 (10 puncte)

Filamente

Filamentele sunt fire din metale greu fuzibile – tantal (Ta), molibden (Mo), tungsten (W) sau platină (Pt) – care, prin conectarea la o sursă de tensiune electrică pot fi încălzite până la incandescență. Filamentele sunt dispuse – de regulă – în incinte închise ermetic, care conțin un gaz rarefiat ce nu reacționează chimic cu metalul filamentului. Rolul gazului este acela de a bloca evaporarea metalului filamentului, fără a favoriza excesiv transferul de căldură prin convecție de la filament la pereții vasului în care acesta se află. Într-o stare staționară, energia electrică furnizată de sursa de tensiune este transformată în filament (prin efect Joule) în energie termică. Energia termică este disipată de filament prin conducție către corpurile cu care se află în contact, prin convecție asigurată de moleculele de gaz din incinta în care se află filamentul și prin radiație de unde electromagnetice. Cu cât temperatura filamentului este mai ridicată, cu atât energia termică disipată prin radiație devine mai importantă.

Sarcina de lucru nr. 1

Sarcina de lucru nr. 1 îți propune să studiezi un sistem fizic format dintr-un vas închis, în care este plasat un filament și în care se află inițial hidrogen molecular și să estimezi valorile câtorva mărimi fizice specifice acest sistem.

Pentru a răspunde la cerințele din cadrul acestei sarcinii de lucru, poți folosi datele din tabelul nr. 1

Tabelul nr. 1

Constanta Boltzmann	$k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$
Numărului lui Avogadro	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Raza atomului de hidrogen	$a_H = 0,50 \cdot 10^{-10} \text{ m}$
Raza moleculei de hidrogen	$a_{H_2} = 2,50 \cdot 10^{-10} \text{ m}$
Masa molară a hidrogenului molecular	$\mu = 2,00 \text{ g/mol}$

Într-un vas cubic, închis, termostatat la temperatura $T_0 = 300 \text{ K}$, cu volumul $V_0 = 1,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ se află hidrogen molecular, la presiunea $p_0 = 0,01 \text{ N/m}^2$. În centrul vasului este situat un filament cilindric, astfel încât dreapta care trece prin centrele celor două baze ale filamentului cilindric este paralelă cu o muchie a vasului. Filamentul are lungimea $h = 0,01 \text{ m}$ și diametrul $d = 1,00 \text{ mm}$.

1.a.	Estimează valoarea lungimii λ a drumului liber mediu al moleculelor de hidrogen din vas, înainte de încălzirea filamentului.	(1,0 p)
-------------	--	---------

La un moment dat, filamentul este adus foarte rapid la incandescență.

Moleculele de hidrogen care ating filamentul (care rămâne incandescent) se disociază. Atomii neutri de hidrogen apăruiți în urma disocierii se deplasează prin vas și se lipesc definitiv de pereții acestuia, atunci când îi ating. Consideră că mișcarea moleculelor în incintă se face cu viteza medie

$$v = \sqrt{8RT/(\pi\mu)}.$$

1.b.	Pentru un interval de timp τ , suficient de scurt pentru a considera constantă concentrația moleculelor din incintă, estimează o expresie pentru raportul f dintre numărul de molecule, care se disociază imediat după încălzirea filamentului și numărul total de molecule din vas.	(1,0 p)
1.c.	Determină o expresie a dependenței $p = p(t)$ a presiunii din vas de timpul t .	(1,5 p)



eFizică!
27 Noiembrie 2022

1.d.	Estimează valoarea intervalului de timp t_n , în care presiunea din vas scade de $n = 20 (\cong e^3)$ ori.	(1,0 p)
-------------	--	---------

Sarcina de lucru nr. 2

Sarcina de lucru nr. 2 îți propune să investighezi relația dintre tensiunea electrică aplicată unui bec cu incandescentă și temperatura filamentului acestuia.

Becurile cu incandescentă sunt incinte transparente, conținând argon la presiune scăzută și un filament de wolfram care emite radiație luminoasă, atunci când este adus la incandescentă. Becul este alimentat de la o sursă de tensiune variabilă.

La temperatura $T_0 = 273,0^\circ K$, rezistența electrică a filamentului becului electric este $R_0 = 1600 \Omega$.

Puterea electrică a becului este $P_1 = 15,00 W$ la tensiunea $U_1 = 220,0 V$ și respectiv $P_2 = 3,700 W$ la tensiunea $U_2 = 100,0 V$.

Pentru filament, neglijează pierderile de căldură datorate conducției și convecției. Ai în vedere faptul că puterea φ emisă prin radiație de filamentul incandescent se poate scrie sub forma

$$\varphi = \sigma_f T^4 \quad (1)$$

în care mărimea σ_f este o constantă specifică filamentului becului, iar T este temperatura absolută a filamentului.

Presupune că rezistența electrică R a filamentului becului depinde de temperatură, conform relației $R = R_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$ (2)

în care R_0 este rezistența electrică filamentului becului la temperatura T_0 , iar α este coeficientul termic al rezistivității electrice a materialului filamentului, o constantă de material.

2.a.	Dedu expresia tensiunii U la care este alimentat becul, ca funcție de temperatura T a filamentului său și de mărimile α, σ_f, R_0 și T_0 .	(1,0 p)
-------------	--	---------

2.b.	Determină valorile mărimilor σ_f și α .	(2,0 p)
-------------	---	---------

2.c.	Utilizând valorile indicate în cadrul sarcinii de lucru nr. 2 și cele pe care le-ai determinat în cadrul sarcinii de lucru 2.b., dedu expresia dependenței $U(T)$ dintre tensiunea aplicată becului și temperatura acestuia.	(1,0 p)
-------------	--	---------

2.d.	Reprezintă grafic tensiunea $U(T)$ în funcție de temperatura absolută a filamentului, în domeniul de temperaturi $T \in [1000 K, 3000 K]$. Pe același grafic și pentru același domeniu de temperaturi, trasează și dependența tensiunii electrice aplicate becului ca funcție de temperatură, în situația în care s-ar neglija variația rezistenței electrice a filamentului cu temperatura. Scrie un scurt comentariu referitor la poziția relativă a celor două curbe din reprezentarea grafică pe care ai obținut-o.	(1,5 p)
-------------	--	---------

© Subiect propus de:

Delia Constanța DAVIDESCU, PhD

Adrian DAFINEI, PhD



--

Foaie de Răspunsuri**Problema nr. 2 (10 puncte)****Filamente**

1.a.	Valoarea estimată a lungimii drumului liber al moleculelor de hidrogen din vas $\lambda =$	1,0p
1.b.	Expresia estimată pentru raportul dintre numărul de molecule, care se disociază imediat după încălzirea filamentului și numărul total de molecule din vas $f =$	1,0p
1.c.	O expresie a dependenței presiunii din vas de timpul t $p(t) =$	1,5p
1.d.	Valoarea estimată pentru intervalului de timp, în care presiunea din vas scade de n ori $t_n =$	1,0p
2.a.	Expresia tensiunii la care este alimentat becul, ca funcție de temperatura T a filamentului său și de mărimile α , σ_f , R_0 și T_0 . $U =$	1,0p
2.b.	Valorile pentru mărimile $\sigma_f =$ și $\alpha =$	2,0p
2.c.	Expresia dependenței $U(T) =$	1,0p
2.d.	Cele două reprezentări grafice vor fi trasate pe pagina 2 din Foaie de Răspunsuri	1,5p
Total		10p



eFizică!
27 Noiembrie 2022

Codul concurentului -- Problema

--

