

Probleme

1. Exprimați valoarea presiunii atmosferice în diferite unități de măsură (N/m^2 , Torr, mmHg , atm) și stabiliți relațiile dintre ele?

2. Calculați densitatea unui gaz ideal (în m^{-3}) în următoarele condiții: (a) $T = 273 \text{ K}$, $p = 760 \text{ Torr}$; (b) $T = 293 \text{ K}$, $p = 10^{-3} \text{ Torr}$.

$$(a) 2.4 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3} \quad (b) 3.3 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$$

3. Care este distanța medie dintre particulele unui gaz ideal în condițiile: (a) $T = 273 \text{ K}$, $p = 760 \text{ Torr}$; (b) $T = 293 \text{ K}$, $p = 10^{-3} \text{ Torr}$.

$$(a) 3.33 \text{ nm} \quad (b) 310 \text{ nm}$$

4. Cât de mare trebuie să fie intensitatea unui câmp electric pentru ca, în condițiile problemei 3, între două ciocniri succesive, un electron să câștige o energie egală cu 1 eV?

$$(a) 7,5 \cdot 10^8 \text{ V/m} \quad (b) 3,2 \cdot 10^6 \text{ V/m}$$

5. O particulă cu masa m_1 , aflată în mișcare, se ciocnește frontal (unidimensional) cu o particulă cu masa m_2 aflată în repaus. Ciocnirea este neelastică. Să se estimeze valoarea maximă din energia cinetică a particulei cu masa m_1 care se poate transforma în energie internă a particulei cu masa m_2 . Particularizați răspunsul pentru cazurile: $m_2 \gg m_1$ (ciocnirea electron-atom neutru) și $m_2 \cong m_1$ (ciocnirea ion-atom neutru). Ambele ciocniri pot conduce la procese de excitație și ionizare. Comparați și discutați rezultatele.

$$\Delta E_{\max} = \frac{m_1 v_{1o}^2}{2} \frac{1}{1 + m_1/m_2}$$

$$(a) m_2 \gg m_1, \Delta E_{\max} \cong \frac{m_1 v_{1o}^2}{2} = E_{c1o} \quad (b) m_2 \cong m_1, \Delta E_{\max} \cong \frac{m_1 v_{1o}^2}{2} \frac{1}{2} = \frac{E_{c1o}}{2}$$

6. Stabiliți relația de corespondență dintre energie (exprimată în eV) și temperatură (exprimată în K).

7. Dacă sunteți surprinși că o plasmă cu temperatura de 10^6 K poate fi generată într-un recipient fără ca acesta să se topească, răspundeți la următoarea întrebare pentru a înțelege diferența dintre energie și temperatură: cât de mult ar crește temperatura a 200 ml de apă dacă i-ar fi transferată energia unei plasmă cu volumul de 1 m^3 , temperatura de 100 eV și densitatea ionică de 10^{19} m^{-3} ?

$$N_i \frac{3}{2} kT = m_{\text{apă}} C_{\text{apă}} \Delta T \quad \Delta T = 0.29 \text{ K}$$

8. Ce energie cinetică are o particulă a unui gaz ideal aflat la temperatura camerei? Care sunt vitezele electronilor și particulelor neutre (He, H, Ar) în aceste condiții, presupunând existența stării de echilibru termodinamic?

$$\langle E \rangle = 0.039 \text{ eV} \quad v_e = 1.16 \cdot 10^5 \text{ m/s}, \quad v_{He} = 1.39 \cdot 10^3 \text{ m/s}, \quad v_H = 2.78 \cdot 10^3 \text{ m/s}, \quad v_{Ar} = 440 \text{ m/s},$$

9. Să se calculeze drumul liber mediu al electronilor în argon ($\sigma_i = 5 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2$, $V_{\text{ionizare}} = 16\text{V}$) la presiunea de 1 Torr și temperatura de 300 K. Să se estimeze valoarea minimă a intensității câmpului electric care poate menține descărcarea în gaz în aceste condiții.

$$\lambda = 621 \mu\text{m}, E_{\text{min}} = 25 \text{ kV/m}$$

10. Să se estimeze densitatea electronilor, a ionilor și a neutrilor într-o plasma de heliu la presiunea de 1 Torr și temperatura de 300 K, în care, în medie, un atom dintr-un milion este ionizat.

$$n_n = 3.2 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3} \text{ și } n_e = n_i = 3.2 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}$$

11. Calculați temperaturile electronilor și ionilor, precum și presiunea exercitată de către o plasmă termonucleară asupra containerului, în următoarele condiții: $kT_i = kT_e = 20 \text{ keV}$. Plasma este total ionizată și $n = 10^{21} \text{ m}^{-3}$.

$$T_i = T_e = 2.31 \cdot 10^8 \text{ K}, \quad p = 6.4 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

12. Să se calculeze, în aproximația plasmei ideale, presiunile parțiale ale particulelor componente pentru plasma unei descărcări luminescente ($n_e = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $n_n = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $kT_e = 2 \text{ eV}$, $kT_i = kT_n = 0.02 \text{ eV}$);

$$p_e = 3.2 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}^2 \quad p_i = 3.2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2, \quad p_n = 32 \text{ N/m}^2$$

13. Să se calculeze lungimea Debye, λ_D , și raportul dintre energia potențială și cea cinetică, ξ , a particulelor aparținând plasmei din problema 12.

$$\lambda_D = 10^{-4} \text{ m}, \quad \xi = 1.03 \cdot 10^{-4}, \quad \xi \ll 1 \text{ plasma satisface condiția de idealitate.}$$

14. Calculați frecvența proprie a electronilor plasmei din problema 12.

$$f_{pe} = 900 \text{ MHz}$$

15. În tabelul următor se dau densitățile de electroni, n_e și energiile $k_B T$ pentru diferite stări ionizate. Reprezentați prin puncte într-un grafic corespondența $\log n_e = f(\log k_B T)$ și, completând tabelul, verificați dacă acestea sunt stări de plasmă.

Nr. crt.	Mediu ionizat	n_e [m^{-3}]	$k_B T$ [eV]	λ_D	N_D
1	Reactor fuziune	10^{21}	10000		
2	Experiment fuziune toroidal	10^{19}	100		
3	Experiment fuziune pinch	10^{23}	1000		
4	Ionosfera	10^{11}	0.05		
5	Glow discharge	10^{15}	2		
6	Flacără	10^{14}	0.1		
7	Plasmă de Cs	10^{17}	0.2		
8	Spațiu interplanetar	10^6	0.01		

16. Să se calculeze concentrația maximă a unei plasme simple, neizoterme ($kT_e = 1 \text{ eV}$, $kT_i \cong kT_n \cong 0$) pentru ca aceasta să mai poată fi considerată ideală ($\xi_{\text{max}} = 0.2$, ξ fiind raportul dintre energia potențială de interacțiune electrostatică și energia cinetică a electronilor, vezi și problema 13).

$$n_{\text{max}} = 9 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$

17. Plasma ionosferei Pământului are o densitate electronică de aproximativ 10^5 cm^{-3} . Ea se află la o altitudine de 100 km.

(a) Care unde electromagnetice vor fi reflectate la intrarea în ionosferă?

$$f_p = 2.85 \cdot 10^6 \text{ Hz} \quad f < f_p$$

(b) Calculați permitivitățile relative pentru undele electromagnetice cu frecvențele de 100 MHz, respectiv 1 kHz.

$$\epsilon_{r1} = 0.9999 \text{ (propagare)} \quad \epsilon_{r2} = -8.12 \cdot 10^6 \text{ (reflexie)}$$

(c) Calculați adâncimea de pătrundere în ionosferă a undelor cu frecvența de 1 kHz.

$$\delta = \frac{c}{\sqrt{\omega_p^2 - \omega^2}} \quad \delta = 16.75 \text{ m}$$

18. Secțiunea de ciocnire elastică a ionilor de xenon cu atomii de xenon este aproximativ independentă de energia lor și este $\sigma = 10^{-14} \text{ cm}^2$.

(a) Calculați drumul liber mediu al ionilor de xenon într-o plasmă slab ionizată aflată la temperatura camerei, la presiunile: 1000 Pa, 10 Pa și 0.1 Pa.

$$\lambda_{1000} = 4.14 \text{ } \mu\text{m} \quad \lambda_{10} = 0.414 \text{ mm} \quad \lambda_{0.1} = 41.4 \text{ mm}$$

(b) Care este timpul mediu dintre două ciocniri, dacă temperatura medie a ionilor de xenon este de 1000 K? Masa atomică a xenonului este de $131 \times 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

$$\tau_{1000} = 10.3 \text{ ns} \quad \tau_{10} = 1.03 \text{ } \mu\text{s} \quad \tau_{0.1} = 0.103 \text{ ms}$$

19. Calculați frecvența de plasmă și lungimea Debye pentru următoarele plasmе:

(a) Arcul de sudură, $n_e = 1.6 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ și $kT_e = 1.3 \text{ eV}$.

(b) Lampa fluorescentă, $n_e = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ și $kT_e = 1 \text{ eV}$.

(c) Ionosfera Pământului, $n_e = 10^6 \text{ cm}^{-3}$ și $kT_e = 0.2 \text{ eV}$.

(d) Plasma dintr-o celulă PDP (Plasma Display Pannel), $n_e = 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ și $kT_e = 1 \text{ eV}$. Dimensiunea liniară a celulei este de aprox. 100 μm . Verificați dacă este îndeplinită condiția de plasmă.

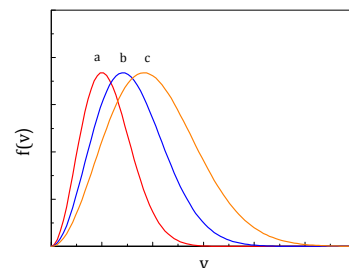
(a) $f_p = 3.6 \text{ THz}$ și $\lambda_D = 21 \text{ nm}$

(b) $f_p = 0.9 \text{ GHz}$ și $\lambda_D = 74 \text{ } \mu\text{m}$

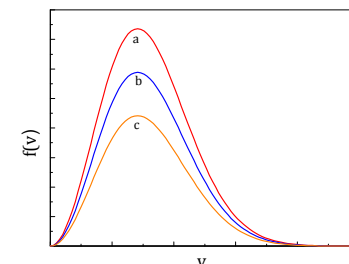
(c) $f_p = 350 \text{ MHz}$ și $\lambda_D = 3.3 \text{ mm}$

(d) $f_p = 17.9 \text{ MHz}$ și $\lambda_D = 2.35 \text{ } \mu\text{m}$; $\lambda_D \ll l \rightarrow \text{DA}$.

20. Se dau distribuțiile Maxwell-Boltzmann din figura alăturată. Căreia dintre ele îi corespunde temperatura cea mai mare? Explicați.



21. Se dau distribuțiile Maxwell-Boltzmann din figura alăturată. Căreia dintre ele îi corespunde cea mai mare densitate de particule? Explicați.



22. Care este viteza medie în cazul următoarelor funcții de distribuție a vitezelor:

(a) $f(v) = \frac{n}{2} \sin v$, pentru $v \in [0, \pi]$ și $f(v) = 0$ în rest;

(b) $f(v) = 3nv^3$, pentru $v \in [0, 1]$ și $f(v) = 0$ în rest.

(a) $\langle v \rangle = 1$

(b) $\langle v \rangle = \frac{3}{4}$

23. Calculați v_{RMS} pentru electronii și protonii unei plasmă cu temperatura de 10^6 K.

$$v_{\text{RMS}e} = 6.78 \cdot 10^6 \text{ m/s} \quad v_{\text{RMS}p} = 1.58 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

24. Calculați v_{RMS} a unui grup de trei particule având modulele vitezelor: 1, 2 respectiv 5 m/s.

$$v_{\text{RMS}} = \sqrt{10} \text{ m/s}$$

25. Considerând o plasmă simplă, neizotermă, de heliu ($m_i \cong m_n = 4 \text{ uam}$) ca un amestec de trei gaze ideale, să se calculeze pentru fiecare sort de particule viteza medie, viteza cea mai probabilă și energia cinetică medie. Funcția de distribuție după viteze pentru fiecare sort de particule se consideră Maxwelliană, corespunzătoare sortului respectiv. ($kT_e = 10 \text{ eV}$, $kT_i = 0.5 \text{ eV}$, $T_n = 300 \text{ K}$).

$$\begin{aligned} \langle v_e \rangle &= 2.11 \cdot 10^6 \text{ m/s} & v_{T_e} &= 1.87 \cdot 10^6 \text{ m/s} & \langle E_e \rangle &= 15 \text{ eV} \\ \langle v_i \rangle &= 5.34 \cdot 10^3 \text{ m/s} & v_{T_i} &= 4.91 \cdot 10^3 \text{ m/s} & \langle E_i \rangle &= 0.75 \text{ eV} \\ \langle v_n \rangle &= 1.26 \cdot 10^3 \text{ m/s} & v_{T_n} &= 1.17 \cdot 10^3 \text{ m/s} & \langle E_n \rangle &= 0.04 \text{ eV} \end{aligned}$$

26. Calculați lungimea Debye și numărul lui Debye pentru următoarele cazuri:

(a) descărcare luminiscentă (Glow Discharge): $n = 10^{16} \text{ m}^{-3}$ și $kT_e = 2 \text{ eV}$;

(b) ionosfera Pământului: $n = 10^{12} \text{ m}^{-3}$ și $kT_e = 0.1 \text{ eV}$;

(c) pinch-ul θ (theta): $n = 10^{23} \text{ m}^{-3}$ și $kT_e = 800 \text{ eV}$.

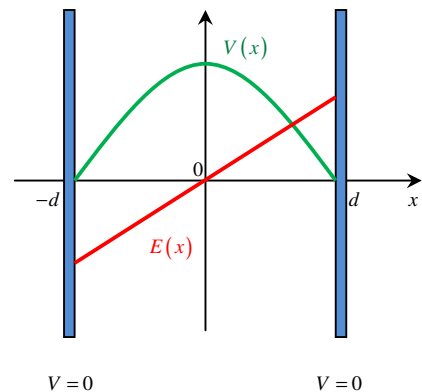
$$(a) \lambda_D = 105 \mu\text{m}, N_D = 4.87 \cdot 10^4, N_D \gg 1$$

$$(b) \lambda_D = 2.35 \text{ mm}, N_D = 5.45 \cdot 10^4, N_D \gg 1$$

$$(c) \lambda_D = 665 \text{ nm}, N_D = 12.33 \cdot 10^4, N_D \gg 1$$

27. Pe baza următorului exemplu se poate găsi o altă semnificație pentru lungimea Debye (față de cea definită la curs). Se consideră două plăci conductoare paralele, infinte ca extindere în plan, plasate la $x = \pm d$ și având fiecare potențialul electric 0 V (conexiune la masă). Spațiul dintre ele este umplut uniform cu un gaz de particule încărcate fiecare cu sarcina $+q$, densitatea lor fiind n . (a) Folosind ecuația lui Poisson, arătați că distribuția potențialului între plăci este $V(x) = \frac{nq}{2\epsilon_0}(d^2 - x^2)$. (b) Arătați că pentru $d > \lambda_D$, energia necesară pentru a transporta o particulă de la o placă până la planul median este mai mare decât energia cinetică medie a particulelor.

(b) Pentru a deplasa o particulă cu sarcina $+q$ din poziția d (sau $-d$) până în punctul $x = 0$, va trebui efectuat un lucru mecanic împotriva forțelor câmpului electric. Dacă $d = \lambda_D$, în urma calculelor rezultă: $L = \frac{nq^2}{2\epsilon_0} \lambda_D^2 = \frac{1}{2} kT$. Așadar, L este egal cu energia cinetică medie corespunzătoare unui grad de libertate de translație în direcția Ox . Dacă $d > \lambda_D$ atunci energia necesară deplasării până la planul median va fi mai mare decât energia cinetică medie.



28. Un amestec omogen și izotrop format din electroni, ioni pozitivi și atomi de hidrogen ocupă un volum de 1 cm^3 . El conține 10^{12} electroni cu temperatura de $4 \cdot 10^4 \text{ K}$. În amestec sunt de 19 ori mai mulți atomi decât ioni. Gazul este simplu ionizat. (a) să se calculeze concentrațiile componentelor și gradul de ionizare al gazului. (b) să se aprecieze dacă gazul ionizat poate fi considerat plasmă și dacă componentele sale purtătoare de sarcină au un comportament colectiv. (c) să se calculeze permitivitatea electrică relativă a gazului ionizat corespunzătoare unei frecvențe de 10 GHz .

- (a) $n_i = n_e = 10^{18} \text{ m}^{-3}$, $n_n = 19 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$, $\alpha = 0.05$
 (b) $\lambda_D = 13.8 \text{ mm}$, $N_D = 11042 \gg 1$
 (c) $f_p = 9 \text{ GHz}$, $\epsilon_r = 0.19$

29. O plasmă de hidrogen cu un grad de ionizare de 1% are lungimea de ecranare de $69 \mu\text{m}$ și permitivitatea electrică relativă corespunzătoare unei frecvențe de 9 GHz este de 0.5. Să se calculeze: (a) frecvența Langmuir; (b) densitatea electronilor și temperatura lor cinetică; (c) densitatea de atomi; (d) să se aprecieze dacă plasma are un comportament colectiv.

- (a) $f_p = 9 \text{ GHz}$
 (b) $n_e = 5 \cdot 10^{17} \text{ m}^{-3}$, $T_e = 5 \cdot 10^5 \text{ K}$
 (c) $n_n = 4.95 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$
 (d) $\langle d \rangle = 1.25 \cdot 10^{-6} \text{ m} \ll \lambda_D$

30. Să se determine concentrația și temperatura cinetică a electronilor dintr-o plasmă obținută dintr-un gaz simplu ionizat, caracterizată de o lungime Debye egală cu $0.69 \mu\text{m}$ și o frecvență de tăiere de 900 GHz. Să se decidă dacă această plasmă are sau nu comportament colectiv. Cunoscând gradul de ionizare al plasmăi ($\alpha = 10^{-3}$), să se determine concentrația particulelor neutre și concentrația ionilor pozitivi din plasma.

$$n_e = 10^{22} \text{ m}^{-3}, T_e = 10^6 \text{ K}$$

$$\langle d \rangle = 4.64 \cdot 10^{-8} \text{ m} \ll \lambda_D$$

$$n_n = 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

31. Se consideră o plasmă de fuziune termonucleară cu densitatea electronilor $n_e = 10^{21} \text{ m}^{-3}$. Să se compare lungimea de undă de Broglie a undelor asociate mișcării termice a electronilor în plasmă cu distanța medie dintre aceștia, dacă $k_B T = 4 \text{ keV}$. Să se aprecieze dacă plasma are un comportament colectiv.

$$\langle d \rangle = 100 \text{ nm}, \lambda = h/p = 14 \text{ pm}, \frac{\langle d \rangle}{\lambda} = 7.14 \cdot 10^3$$

$$\lambda_D = 14.87 \text{ mm}, N_D = 13.77 \cdot 10^6 \gg 1$$

32. Să se calculeze tensiunea continuă minimă necesară străpunerii aerului la presiunea $p = 1 \text{ atm}$ și să se determine distanța interelectrod d corespunzătoare acesteia. Se cunoaște forma dependenței tensiunii de străpungere U_d de produsul dintre presiunea gazului și distanța dintre electrozi, p și d :

$$U_s = \frac{B \cdot pd}{C + \ln(pd)} \quad \text{unde: } B = 43,6 \cdot 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m} \cdot \text{atm}} \text{ și } C = 12,8.$$

$$\frac{dU_s}{dx} = 0 \rightarrow x_{\min} = 7.5 \text{ mm} \rightarrow U_{s\min} = 327 \text{ V}$$

33. În plasmăle reci, slab ionizate, ecuația de mișcare a electronilor are o formă simplă, numită ecuația Langevin:

$$m_e \frac{d\vec{v}_e}{dt} = -e(\vec{E} + \vec{v}_e \times \vec{B}) - \nu_c m_e \vec{v}_e$$

unde ν_c este frecvența de ciocnire electron-atom. Găsiți soluția ecuației în prezența unui câmp electric constant și omogen și în absența câmpului magnetic și expresiile densității de curent și a conductibilității electrice a plasmăi.

$$\vec{v}_e = \vec{C}_0 e^{-\nu_c t} - \frac{e\vec{E}}{\nu_c m_e} \cong -\frac{e\vec{E}}{\nu_c m_e} \quad \vec{J}_e = -\frac{n_e e^2}{\nu_c m_e} \vec{E} \quad \sigma_e = \frac{n_e e^2}{\nu_c m_e}$$

34. Arătați că în prezența unui câmp magnetostatic energia cinetică totală a unei particule cu exces de sarcină electrică se conservă.

35. Presupunem un câmp magnetostatic $\vec{B} (1, 2, 0)$ T. Viteza unui electron în acest câmp este $\vec{v} (0, 2, 1)$ m/s. Calculați componentele forței Lorentz.

$$\vec{f}_L = -e (-2, 1, -2) \text{ N}$$

36. Calculați și comparați razele Larmor în următoarele cazuri de deplasare:

(a) un electron cu energia de 10 keV în câmpul magnetic de $5 \cdot 10^{-5}$ T al Pământului;

(b) un proton din vântul solar cu viteza de 300 km/sec, $B = 5 \cdot 10^{-9}$ T;

(c) un ion He^+ cu energia de 1 keV în atmosfera solară, în apropiere de o rază solară unde $B = 5 \cdot 10^{-2}$ T;

(d) un atom de heliu dublu ionizat, He^{++} , cu energia de 3.5 MeV, într-un câmp magnetic de 8 T, într-un reactor de fuziune.

$$(a) r_c = 6.71 \text{ m}, (b) r_c = 600 \text{ km}, (c) r_c = 17.6 \text{ cm}, (d) r_c = 3.3 \text{ cm}$$

37. Un electron se deplasează într-un spațiu în care sunt trei zone distincte. O zonă în care nu acționează nici un câmp, o zonă acoperită de un câmp electric orientat pe direcția Oy și una acoperită de un câmp magnetic perpendicular pe planul xOy. Ambele câmpuri sunt uniforme și omogene. Deplasarea inițială este pe direcția Ox.

(a) Dependența de timp a poziției electronului în prima zonă este exprimată prin relația $x(t) = \frac{1}{4}t^4 + \pi$. Electronul parcurge prima zonă în timpul de $t_1 = 1$ s. Calculați mărimea vitezei după parcurgerea primei zone.

$$v_{x1}(t_1) = 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

(b) Electronul pătrunde în zona a doua în care intensitatea câmpului electric este 10^{-10} V/m. Lungimea armăturilor între care este aplicată tensiunea electrică este $d = 1$ m. Care este deplasarea pe direcția Oy până la ieșirea din câmpul electric?

$$y_2 = 35.5 \text{ m}$$

(c) La ieșirea din câmpul electric, electronul intră în câmpul magnetic având inducția $B = 20.6 \mu\text{T}$. Calculați raza de girație Larmor, frecvența ciclotronică și mărimea momentului magnetic ale electronului.

$$r_c = 9.69 \mu\text{m} \quad \omega_c = 3.66 \cdot 10^6 \text{ rad/s} \quad \mu_m = 2.75 \cdot 10^{-23} \text{ A/m}$$

(d) Cum se modifică rezultatele dacă particula este un proton? Considerații calitative.

38. Se consideră o oglindă magnetică și un electron care intră în ea la $z = 0$ sub un unghi θ_0 .

Variația câmpului magnetic pe direcția Oz este de forma: $B(z) = B_0 + B_0(\gamma z)^2$, γ fiind o constantă astfel aleasă încât variația câmpului magnetic să poată fi considerată mică. Calculați coordonata punctului de întoarcere/reflexie, z_r .

$$z_r = \frac{1}{\gamma t g \theta_0}$$

39. Un motor cu propulsie ionică are un câmp magnetic de 1 T. Plasma de hidrogen trebuie propulsată cu o viteză de 1000 km/sec. Cât de intens trebuie să fie câmpul electric ?

$$E = 10^6 \text{ V/m}$$

40. Să se calculeze valoarea tensiunii de mers în gol a unui generator MHD care folosește un jet supersonic de plasmă cu viteza $v = 2v_s$ (v_s - viteza sunetului în aer) într-un câmp magnetic cu inducția $B = 2$ T, dacă distanța dintre plăcile colectoare de particule este $d = 2$ mm.

$$U = 2.72 \text{ V}$$

41. Care este valoarea sarcinii electrice care trebuie să treacă prin plasma unui motor ionic care folosește o plasmă total ionizată de He între doi electrozi situați la distanța $d = 2$ mm într-un câmp magnetic cu inducția $B = 1.5$ T, pentru a imprima vehicolului pe care este fixat un impuls de $100 \text{ N}\cdot\text{sec}$?

$$Q = 3.33 \cdot 10^4 \text{ C}$$

42. Un fascicol cilindric de electroni (neneutralizat) care are densitatea $n_e = 10^{14} \text{ m}^{-3}$ și raza $a = 1$ cm curge de-a lungul unui câmp magnetic de 2T. Dacă B este orientat în sensul pozitiv al axei z , iar E este câmpul electrostatic datorat separării de sarcină în urma căreia s-a format fascicolul de electroni, calculați viteza de drift pentru $r = a$.

Recomandare: folosiți soluția problemei 27 pentru a calcula intensitatea câmpului electric.

$$v_d = 9 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$