

1. Plazmom se može nazvati bilo kakav ionizirani plin koji je u vrlo malom stupnju ioniziran.  
 TOČNO  NETOČNO (1 bod)

Plazma je kvazineutralni plin sastavljen od ioniziranih (nabijenih) i neutralnih čestica, koji pokazuje skupno (kolektivno) međudjelovanje čestica zasnovano na Coulombovoj sili.

J

TOČNO  NETOČNO (1 bod)

Zbog svoje kvazineutralnosti plazma nije dobar vodič električne struje i ne reagira na električno i magnetsko polje.

TOČNO  NETOČNO (1 bod)

Električki nabijene čestice u plazmi trebaju biti dovoljno blizu da bi mogle međusobno djelovati što je definirano Debyevom sferom.

TOČNO  NETOČNO (1 bod)

Plazmenska frekvencija (učestalost kojom titraju elektroni ako su pomaknuti iz ravnotežnog položaja) mora biti mnogo manja od sudarne frekvencije, odnosno procesi obične kinetike plinova moraju prevladavati nad elektrostatičkim djelovanjem da bi se sustav mogao smatrati plazmenim sustavom.

TOČNO  NETOČNO (1 bod)

Kada plazma ima relativno nisku temperaturu, takozvana niskotemperaturna plazma, tada su samo umatrajuće ljuške atoma i iona aktivne te sudjeluju u procesima.

TOČNO  NETOČNO (1 bod)

Plazma je magnetizirana ako je sudarna frekvencija mnogo veća od ciklotronske frekvencije, tj. frekvencije kojom nabijena čestica kruži u magnetskom polju.

TOČNO  NETOČNO (1 bod)

Plazmena frekvencija (učestalost kojom titraju elektroni ako su pomaknuti iz ravnotežnog položaja) mora biti mnogo manja od sudsarne frekvencije, odnosno procesi obične kinetike plinova moraju prevladavati nad elektrostatickim djelovanjem da bi se sustav mogao smatrati plazmenim sustavom.

TOČNO NETOČNO (1 bod)

Kada plazma ima relativno nisku temperaturu, takozvana niskotemperaturna plazma, tada su samo umatrajuće ljske atoma i ions aktivne te sudjeluju u procesima.

TOČNO NETOČNO (1 bod)

Plazma je magnetizirana ako je sudsara frekvencija mnogo veća od ciklotronske frekvencije, tj. frekvencije kojom nabijena čestica kruži u magnetskom polju.

TOČNO NETOČNO (1 bod)

U jednočestičnom pristupu opisu plazme se prati gibanje jedne čestice u zadanom električnom i magnetskom polju i na temelju toga se zaključuje o svojstvima i poselom cijelog sustava.

TOČNO NETOČNO (1 bod)

Jednočestični pristup može zadovoljavati samo kad imamo plazmu niske gustoće ( $n < 10^{12} \text{ m}^{-3}$ ) i kad se može zanemariti doprinos električnog i magnetskog polja koji potječe od nabijenih čestica ukupnom vanjskom električnom i magnetskom polju.

TOČNO NETOČNO (1 bod)

Slabo neidealska plazma je plazma koja se poslaša gotovo kao idealni plin - u termodinamičkoj ravnoteži je, a u Debyevoj sferi se nalazi vrlo veliki broj čestica.

TOČNO NETOČNO (1 bod)

Ako je frekvencija sudsara mnogo manja od ciklotronske frekvencije, čestica vrlo često prekida sa razine vodeće sile, nesumnjivo glijanje dominira nad urođenim ciklotronskim glijanjem te je utjecak magnetskog polja zanemariv.

TOČNO NETOČNO (1 bod)

2. Koji procesi ionizacije su navedeni?



(1 bod)

$$\textcircled{1} \quad V = 500 \text{ dm}^3 = 0.5 \text{ m}^3$$

$$p = 200 \text{ Pa}$$

$$t = 20^\circ\text{C} \rightarrow 293 \text{ K}$$

$$\mu = 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

u atommassmorm stemjru

$$\mu = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \quad u \text{ molekulomorm stemjru}$$

$$m, N = ?$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol K}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$\text{a) } pV = \cancel{N} \mu RT = mRT = \frac{m}{\mu} RT$$

$$m = \frac{pVM}{RT} = 8,21 \cdot 10^5 \text{ kg}$$

$$\text{b) } m = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A} \rightarrow N = N_A \frac{m}{\mu}$$

$$N = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 8,21 \cdot 10^5}{2 \cdot 10^{-3}} = 2,47 \cdot 10^{22}$$

$$\textcircled{2} \quad n = 10^{18} \text{ m}^{-3}$$

$$k_B T_e = 0,517 \text{ eV} = 0,517 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 8,272 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

$$\text{a) } w_{pe} = ?$$

$$\text{b) } \lambda_D = ?$$

$$\text{c) } N_D = ?$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$$

$$\text{a) } w_{pe} = \sqrt{\frac{m_e e^2}{m_e \epsilon_0}} = 5,634 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{b) } \lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k_B T_e}{m_e e^2}} = 5,37 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\text{c) } N_D = \frac{4\pi}{3} \lambda_D^3 n = 640$$

$$③ k_B T_e = k_B T_i = 800 \text{ eV} = 800 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,28 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

$$n_0 = 10^{23} \text{ m}^{-3}$$

$\nu_{ci} = ? \rightarrow$  frekvencia súdna elektrónov v ume

$\sigma = ? \rightarrow$  Spitzerova el. vodnosť

$$\nu_{ci} = \frac{n_0 e^4 C_0}{32 \sqrt{\pi n_0} \epsilon_0^2 (2k_B T_e)^{3/2}} = 5.79 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$$

$$N_0 = \frac{4}{3} \pi \lambda_D^3 n_0 = 1,23 \cdot 10^5$$

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k_B T_e}{m_e}} = 6,652 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{16 \pi m_e \epsilon_0^2 (k_B T_e)^{3/2}}{\sqrt{m_e} e^2} = 2,126 \cdot 10^{-22} \text{ S}$$

↗ Siemens

$$④ n_0 = 10^{12} \text{ cm}^{-3} = 10^{12} \cdot (10^{-2})^3 = 10^{12} \cdot 10^6 = 10^{18} \text{ m}^{-3}$$

$$T_D = T_e = 5 \text{ keV} = 5 \cdot 10^3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 8 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

$$v_{\text{ev}} = 2,8 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$$

$$\underline{v_{\text{ee}} = 1,4 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}}$$

$$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\lambda_{\text{ssp}} = ?$$

\* za 1. stupomj  
Slobodne

↳ srednjo slobodni put

$$\frac{k_B T}{2} = \frac{m_e v_T^2}{2} \Rightarrow N_T = \sqrt{\frac{k_B T}{m_e}}$$

$$v = v_{\text{ev}} + v_{\text{ee}}$$

$$\lambda_{\text{ssp}} = \frac{N_T}{v} = 0,706 \text{ cm}$$

$$F_L = qvB \sin 90^\circ$$

$$r_L = 7 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$B = 5 \text{ T}$$

$$v = ?$$

$$\Omega = ?$$

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = qvB$$

$$F_L = qvB \sin 90^\circ$$

$$q = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$n = n_e$$

$$n = \frac{q B n_e}{m}$$

$$m = m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

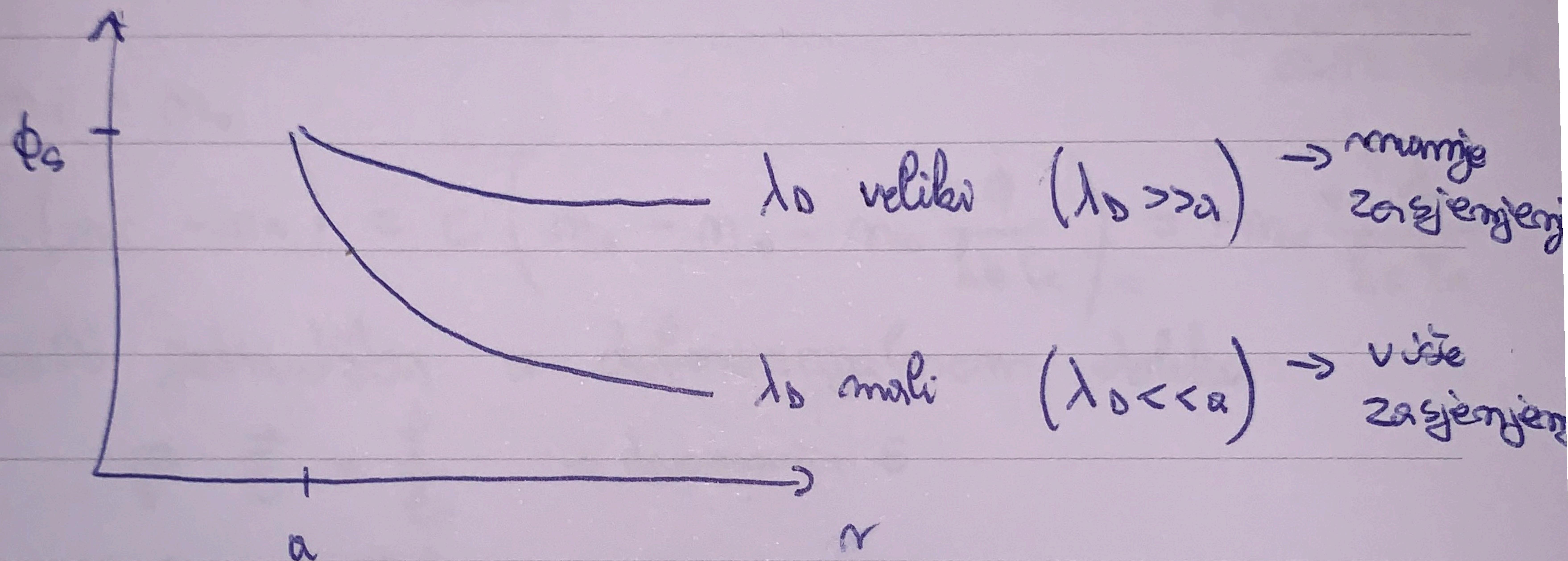
$$= 0,15 \cdot 10^9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Omega = \frac{qB}{m} = \frac{eB}{m_e} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5}{9,11 \cdot 10^{-31}}$$

$$= 8,78 \cdot 10^{11} \text{ s}^{-1}$$

$$b) \lambda_0 \ll a \Rightarrow \phi = \frac{a\phi_s}{r} \cdot e^{a/\lambda_0} \cdot e^{-r/\lambda_0}$$

$$\lambda_0 \gg a \Rightarrow \phi = \frac{a\phi_s}{r} \left( e^{a/\lambda_0} e^{-r/\lambda_0} \right) \underset{1.}{\approx} \frac{a\phi_s}{r} e^{-r/\lambda_0}$$



$$c) \iint_s \vec{E} d\vec{s} = \frac{1}{\epsilon_0} \iiint_V \rho dV$$

$$\vec{E} \cdot 4a^2 \pi = \frac{Q_{\text{sfera}}}{\epsilon_0}$$

$$E = - \frac{\partial \phi}{\partial r} = - \left( -\frac{a}{r^2} \phi_s e^{a/\lambda_0} e^{-r/\lambda_0} + \frac{a}{r} \phi_s e^{a/\lambda_0} \left( \frac{1}{\lambda_0} \right) e^{-r/\lambda_0} \right)$$

$$E(r) = \frac{a}{r^2} \phi_s e^{a/\lambda_0} e^{-r/\lambda_0} \left( 1 + \frac{a}{\lambda_0} \right)$$

$$Q_{\text{sfera}} = 4a^2 \pi \epsilon_0 \phi_s$$

$$= 4\pi \epsilon_0 a \phi_s \left( 1 + \frac{a}{\lambda_0} \right)$$

$$E(a) = 4a^2 \pi \frac{a}{r^2} \phi_s e^{a/\lambda_0 - a/\lambda_0} \left( 1 + \frac{a}{\lambda_0} \right)$$

d) berechnet

$$c = \frac{Q}{V} = \frac{4\pi\epsilon_0 a \phi_s \left(1 + \frac{a}{\lambda_D}\right)}{\phi_s - \phi_\infty} = 4\pi\epsilon_0 a \left(1 + \frac{a}{\lambda_D}\right)$$

$$a = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$

$$k_B T_e = 1 \text{ keV} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

$$n_0 = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

$$n_0 = 10^6 \text{ cm}^{-3}$$

$$\lambda_D^2 \sim 1$$

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{e_0 k_B T_e}{m_0 e^2}}$$

Also je  $\lambda_D \ll a \Rightarrow c = 4\pi\epsilon_0 a \left(1 + \frac{a}{\lambda_D}\right) = 4\pi\epsilon_0 \frac{a^2}{\lambda_D}$

Also je  $\lambda_D \gg a \Rightarrow c \approx 4\pi\epsilon_0 a$

$$n_0 = 10^{14} \text{ cm}^{-3} \Rightarrow \lambda_D = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ cm} \Rightarrow c = \cancel{4\pi\epsilon_0 a} 4,9 \cdot 10^{-8} \text{ F}$$

$$n_0 = 10^6 \text{ cm}^{-3} \Rightarrow \lambda_D = 23,4 \text{ cm} \Rightarrow c = 1,6 \cdot 10^{-11} \text{ F}$$

u. Volumen  $c = \frac{Q}{V}$ ,  $\phi_s = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 a} \Rightarrow c = \frac{\phi_s 4\pi\epsilon_0 a}{\phi_s} = 4\pi\epsilon_0 a$

$$c = 1,11 \cdot 10^{-11} \text{ F}$$

$$⑥ n_e = n_0 \exp\left(\frac{e\phi}{k_B T_e}\right)$$

uz činjenicu  $e\phi \ll k_B T_e$

$$n_e \approx n_0 \left(1 + \frac{e\phi}{k_B T_e}\right)$$

$$m_i = m_0$$

$$f = e(m_i - m_e) = e(m_0 - m_0 - m_0 \frac{e\phi}{k_B T_e}) = -m_0 \frac{e^2 \phi}{k_B T_e}$$

1. Maxwell jednadžba u diferenčnom obliku:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{f}{\epsilon_0} \rightarrow \text{divergencija } E$$

$$\vec{E} = -\vec{\nabla} \phi \rightarrow \text{gradijent } \phi$$

$$\text{Poissonova jednadžba: } \nabla^2 \phi = -\frac{f}{\epsilon_0} = -\frac{1}{\epsilon_0} \cdot \left(-\frac{m_0 e^2 \phi}{k_B T_e}\right)$$

$$\nabla^2 \phi = \frac{m_0 e^2}{\epsilon_0 k_B T_e} \phi$$

$$\nabla^2 \phi = \frac{1}{\lambda_D^2} \phi = 0$$

potpostavljena rješenja:

$$\phi = \frac{A}{r} e^{-r/\lambda_D} + \frac{B}{r} e^{r/\lambda_D}$$

pocjetni uvjeti:

$$r \rightarrow \infty, \phi \rightarrow 0 \Rightarrow B = 0$$

$$r \rightarrow 0, \phi = \phi_s \text{ ili } ds = \frac{A}{r} e^{-r/\lambda_D}$$

$$A = \frac{a ds}{-a/\lambda_D} = a \phi_s e^{a/\lambda_D}$$

Kako se iz onog zadatka skuzi je li klasicna ili kvantna plazma

granica je ovaj broj na -19, kad uvrstiš T i n (lijeva strana jednadžbe) dobiješ neki broj. ako je taj broj manji od broja na -19 onda je to kvantna, ako je veća onda je klasična. još piše dolje da bude kvantna mora imati veliku gustoću. U tom gore zadatku imamo manji broj pa je to kvantna plazma.

---

$$\frac{T_e^{3/2}}{n_e} = \frac{(\hbar/2)^3}{(3m_e k)^{3/2}}$$

8

---

Kvantni efekti postaju važniji kako temperatura pada. To se javlja jer de Broglieva valna duljina raste kako brzina elektrona pada:

$$\frac{(\hbar/2)^3}{(3m_e k)^{3/2}} = 6,33 \cdot 10^{-19} \text{ K}^{3/2} \text{cm}^{-3}, \quad \text{sto je vrlo malo.}$$

Za klasičan opis trebamo umjerene vrijednosti temperature. Za kvantni opis trebamo vrlo visoke gustoće (kao u metalima i u različitim astrofizičkim objektima poput bijelih patuljaka).

Aha kao nejednadzba, hvala. Cekaj imamo veci broj pa je klasicna, a ne obrnuto?

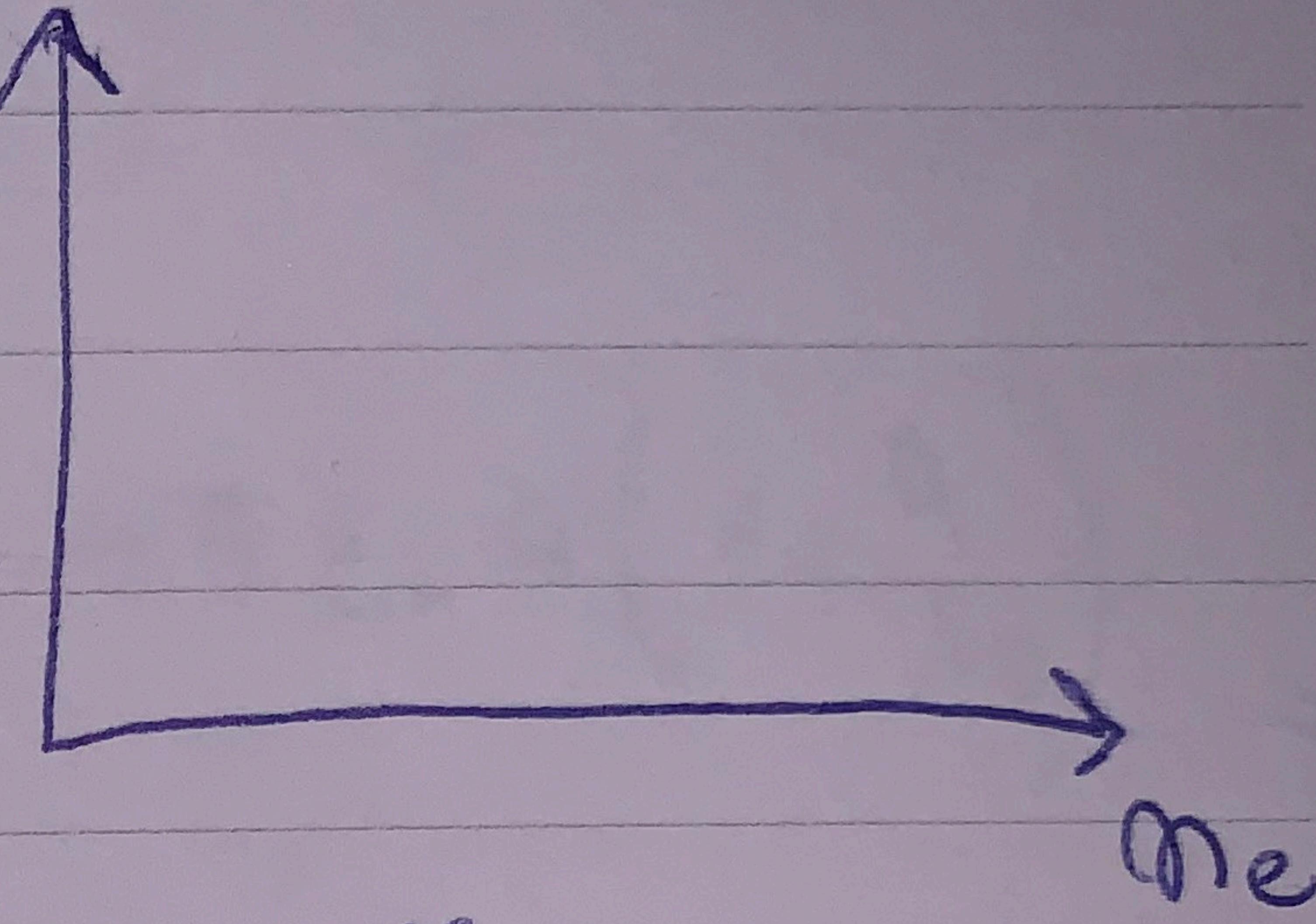
po ovom gore riješenju imamo broj na -59 ak dobro vidim, to je manje od -19 pa je kvantna. da je broj na -18 to bi bilo više od -19 pa je onda klasična

<https://discord.com/channels/650803962504675343/890604985316950026/1044250241743994891>

"me-Te" prozess

E

$$\frac{T_e^{3/2}}{m_e} = \frac{\left(\frac{\hbar}{2\pi}\right)^3}{(3\pi m_e k)^{3/2}} \Rightarrow \frac{(kT_e)^{3/2}}{m_e} = \frac{T_e^{3/2}}{(3m_e)^{3/2}}$$



$$kT_e = 4 \text{ keV} = 4 \cdot 10^3 \cdot 1,16 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 6,4 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

$$n_0 = 10^{14} \text{ cm}^{-3} = 10^{14} \cdot (10^{-2})^{-3} \text{ m}^{-3} = 10^{20} \text{ m}^{-3}$$

$$\frac{\hbar}{2\pi} \rightarrow \text{sechende Plankova konstanta}$$

$$\hbar = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\frac{T_e^{3/2}}{m_e} = 3,23 \cdot 10^{-59}$$

# Saha's equation

$n_i \rightarrow$  gustoća ioniziranih

$n_m \rightarrow$  gustoća neverzomljenih

$U_i \rightarrow$  energija ionizacije

$kT \rightarrow$  termalna energija

$\exp \left( \frac{-U_i}{kT} \right) \rightarrow$  ogjene do kakve će ionizacija doći?

$\frac{1}{n_i} \rightarrow$  mehkombrinjski utjecaj  $\rightarrow$  kada se hlađi  
smanjuje se broj ioniziranih

$$\frac{n_i}{n_m} = 2,4 \cdot 10^{21} \frac{T^{3/2}}{m_i} \exp\left(-\frac{U_i}{kT}\right)$$

$$T = 300 \text{ K}$$

$$U_i = 14,5 \text{ eV} = 14,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 11,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 11,6 \text{ eV}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$\frac{n_i}{n_m} \sim 2,4 \cdot 10^{21} \cdot \frac{300}{m_i}^{3/2} \exp\left(\frac{-14,5 \text{ eV}}{0,0253 \text{ eV}}\right) \sim 10^{-122}$$

$\underbrace{\exp(-560)}$

