

ERDIEROALEARI BURUZKO

ARIKETAK

1. ARIKETA: erdibizitza eta barreiapeneko luzera estatistikaren ikuspuntutik

Erdibizitza

5.2 puntuko ariketaren bigarren atalean, argia itzaltzerakoan gertatzen den urrienen desagerpena analizatu da. Desagerpen hori bat-batekoa izango balitz, estatistikoki analizatuz erabili beharreko denbora t_1 da:

$$t_1 = \frac{\int_0^{\infty} p'(t) \cdot dt}{p'(0)} \quad \text{Egiaztatu } t_1 \text{ urrienen erdibizitza dela.}$$

Adierazi $p'(t)$ erdilogaritmikoetan (Y ardatzean $\log(p'(t))$, X ardatzean t).

Barreiapeneko luzera

5.3 puntuko soluziotik abiatuz, barreiapeneko luzeraren esanahi estatistikoa analiza dezakegu. Horretarako, kalkulatu soberakinaren murrizketaren batez besteko luzera, x_0 (desagerpena puntu jakin batean gertatuko balitz, non gertatuko litzatekeen esaten digu x_0 luzerak).

$$x_0 = \frac{\int_0^{\infty} p'(x) \cdot dx}{p'(0)}$$

Adierazi $p'(x)$ erdilogaritmikoetan (Y ardatzean $\log(p'(x))$, X ardatzean x).

2. ARIKETA: n eta p kopuruen bilakaera temperaturareren arabera (orekan)

Badugu N_D (10^{17} cm^{-3}) ezpurutasun emaileez eta N_A (10^{18} cm^{-3}) ezpurutasun hartzailez dopaturiko siliziozko lagin bat, eta eramaileen kontzentrazioak temperaturarekin nola aldatzen diren analizatu nahi dugu (betiere, oreka termodinamikoan).

Kalkulatu beheko taulan agertzen diren tenperaturetan elektroien eta hutsuneen kontzentrazioak (hau da, n eta p).

Datuak: Tenperatura bakoitzean neurtu diren silizioaren kontzentrazio intrintsekoa, $n_i(T)$, eta ezpurutasun ionizatuen kopurua, ehunekoetan (kasu honetan, ionizazioa berdina da bi ezpurutasunentzat):

T(K)	0	200	248	249	250	251	300	400	500	700
N_{i0i}/N (%)	0	0	0	1	99	100	100	100	100	100
n_i (cm^{-3})	0	1E5	7E7	7E7	7E7	7E7	1E10	6E12	3E14	1E19

3. ARIKETA: egoera geldikorrek eta denborarekiko aldaketak

Badugu boroz dopatutako siliziozko lagin bat giro-tenperaturan ($n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, eta zentimetro kubiko bakoitzeko 10^{14} boro atomo daude). Segundo eta zentimetro kubiko bakoitzeko, uniformeki 10^{12} pare sortzen dituen argi bat piztu dugu aspaldian.

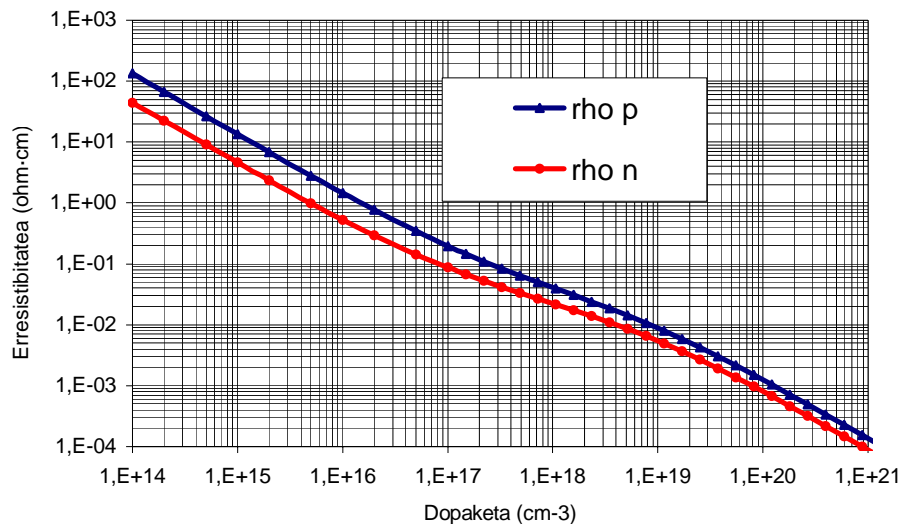
Elektroien erdibizitza $100 \mu\text{s}$ bada, kalkulatu lagineko eramaileen kontzentrazioak.

Argia itzali eta milisegundo batera ditugun kontzentrazioak kalkulatu.

4. ARIKETA: injekzio altua

Badugu $10 \Omega\text{-cm}$ -ko erresistibitatea duen n motako siliziozko lagin bat, giro-tenperaturan ($n_i (300 \text{ K}) = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$).

- a) Kalkulatu (dituzuen grafikoaren bidez) elektroien eta hutsuneen orekako kontzentrazioak eta mugikortasunak.



- b) Elektroien mugikortasuna $1350 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ bada, errepikatu aurreko atala.

Dakigunez, $U = R - R_{th} = kte (p n - n_i^2)$ (ia) beti betetzen bada ere, $U = m'/\tau_{m}$ adierazpenak bakarrik injekzio baxuan balio du.

- c) Hutsuneen erdibizitza $1 \mu\text{s}$ bada, kalkulatu kte sasi-konstantearen balioa.

Lagina G_L pare/ cm^3/s sortzen dituen argi batez argizatzen da ($G_L = 10^{22} \text{ cm}^{-3}/\text{s}$).

- d) Handik denbora luzera agertzen diren eramaile kontzentrazioak kalkulatu. Zer motako injekzioa dugu? Altua (indartsua) ala baxua (ahula)?

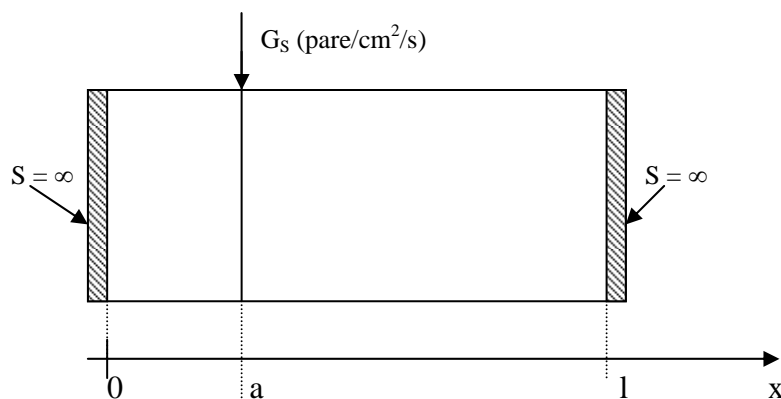
Erdieroaleari buruzko ariketak

- e) Kalkulatu laginaren eroankortasuna(k) argiztatuta eta argiztatu gabe. Luzera 2 cm bada eta sekzioa, 1 cm^2 , kalkulatu bi kasuetako erresistentziak. Atera ondorioak.

5. ARIKETA: gainazaleko birkonbinaketa eta sorrera

Badugu P motako erdieoroale lagin homogeen bat. Bolumenean gertatzen den birkonbinaketa (U) ez da aintzat hartzeko modukoa, $U \sim 0$ erdiebizitza (tau) oso handia baita. Laginaren luzera l da, Ezkerreko ertzetik a distantzian argi estu batez argiztatzen da, eta, plano horretan, G_S sorrera eragiten du (zentimetro **koadro** bakoitzeko eta segundo bakoitzeko G_S pare sortzen ditu: $G_S = G_V(\text{pare/cm}^3/\text{s}) \cdot x_s(\text{cm})$).

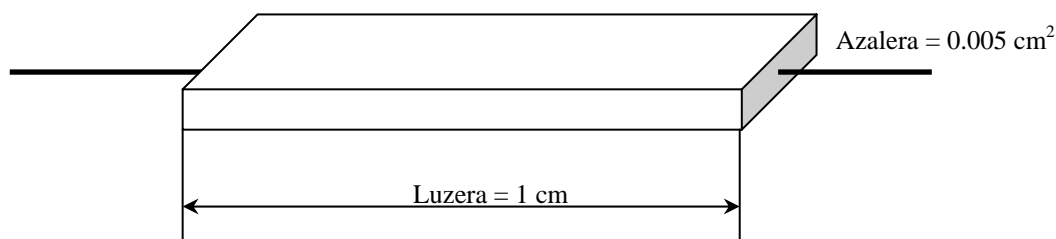
Kalkulatu soberakinen profila, kontaktuak ohmikoak direla jakinda.



6. ARIKETA: foto-erresistentzia (erdieroale intrintsekoak erabiliz)

Badugu berezkoa (intrintsekoa) den erdieoroale baten lagin bat. Bertako birkonbinaketa (garbiaren) abiadura $U = R - R_{th} = (p n - n_i^2)/(n+p+2n_i)/\tau_0$. formulaz modela daiteke. Gainazal guztietan (kontaktuak barne), gainazaleko birkonbinaketa hutsa da.

Datuak: $\tau_0 = 3.18 \mu\text{s}$; $n_i = 1.5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$; $\mu_n = 1350 \text{ cm}^2/\text{V/s}$; $\mu_p = 480 \text{ cm}^2/\text{V/s}$.



Erdieroaleari buruzko ariketak

- a) Birkonbinaketa garbiaren abiaduraren adierazpen sinpleagoa lortu, elektroien soberakina (n') eta erdibizitza berri bat (τ) erabiliz. Kalkulatu erdibizitza horren balioa.
- b) Kalkulatu laginaren erresistentzia.
- c) Dispositiboa uniformeki argizatzen da (cm^3 eta segundo bakoitzeko $G_L = 2.36 \cdot 10^{18}$ pare sortzen dituen argi batez). Kalkulatu egoera geldikorreko soberakinak.
- d) Kalkulatu ilunpeko eta argipeko erresistentziak.
- e) $t = 0$ denboran argia itzaltzen bada, kalkulatu τ uneko erresistentzia.

7. ARIKETA: injekzio altua eta injekzio baxua

Badugu N motako Erdieroale lagin homogeen bat. Argi indartsu batez argizatzen da, eta G_L sorrera eragiten du (zentimetro kubiko bakoitzeko eta segundo bakoitzeko G_L pare sortzen ditu).

G_L handia denez, lagina injekzio altuan sartuko da eta $U \sim p' / (\tau_n + \tau_p)$ adierazpena erabiliko dugu birkonbinatzea modelatzeko ($U = p' / \tau_p$ ez da hemen baliagarria).

- a) Kalkulatu egoera geldikorreko profilak (kontzentrazioak).
[Gainazalek ez dute eraginik, oso urrun daudelako edo $S = 0$ cm/s delako].
- b) $t = 0$ unean, argia itzaltzen da. Hortik aurrera, urrienen soberakinak duen bilakaera irudikatu, eta baliorik esanguratsuenak azpimarratu.

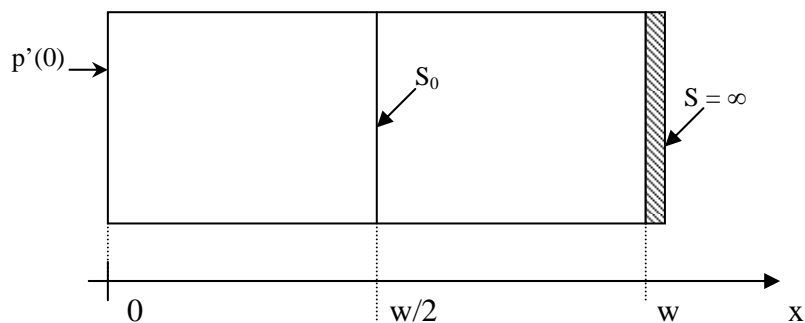
8. ARIKETA: gainazaleko birkonbinatzea

Badugu N motako erdieroale lagin bat, w luze.

$x = 0$ gainazalean (ezkerreko muturrean) $p'(0)$ soberakin bat mantentzen da (ez digu hori lortzeko erabilitako bideak axola). $x = w$ gain azalean (eskuineko muturrean) birkonbinaketa abiadura itzela dugu (infinitu). Gainontzeko bolumenean, oso birkonbinaketa txikia dago, ($U \sim 0$; $\tau \rightarrow \infty$) erdiko gainazalean izan ezik.

$x = w/2$ gainazalean, egitura kristalinoak zenbait akats ditu eta, horrek birkonbinaketa nabarmena dakar. Fenomeno hori, matematikoki lan egiteko, S_0 (cm/s) abiadura zinematikoaz adieraziko dugu.

Erdieroaleari buruzko ariketak



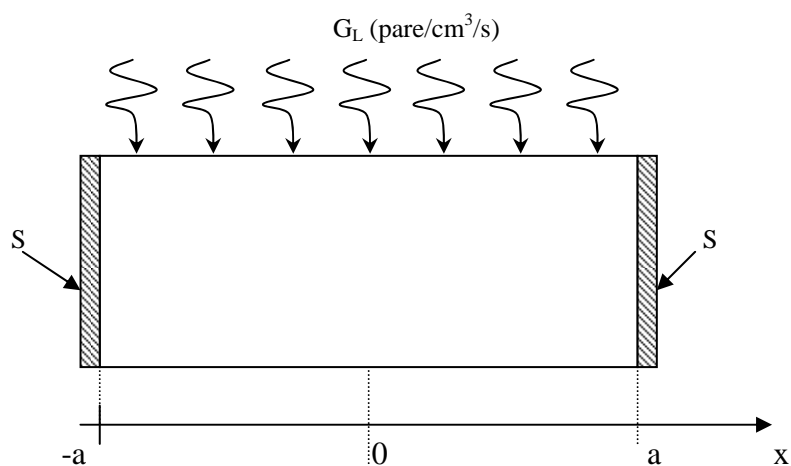
- a) Egituran zehar dagoen soberakinen profila kalkulatu (S_0 abiaduraren funtzio gisa).
- b) $S_0 = 0$ eta $S_0 = \infty$, kasuak aztertu. Ondorioak atera.
- c) Segundo bakoitzeko eta cm^2 bakoitzeko $x = w/2$ eta $x = w$ gainazaletan birkonbinatzen diren eramaileak (pareak) lortu (S_0 parametroaren arabera).
- d) $S_0 = 0$ eta $S_0 = \text{infinetua}$ kasuak aztertu. Ondorioak atera.

9. ARIKETA: gainazaleko eta bolumeneko birkonbinaketa

Badugu N motako erdieroale homogeneo baten lagin bat ($N_D = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$), $2a$ cm luze. Elektroizpiz bonbardatzen dugu egoera geldikorrean, eta $G = 10^{18}$ pare/ cm^3/s sortzen dira.

$$\mu_n = 1200 \text{ cm}^2/\text{V}/\text{s}; \mu_p = 400 \text{ cm}^2/\text{V}/\text{s}; \tau_p = 10 \mu\text{s}. kT = 0.025 \text{ eV}; (kT/q = 25 \text{ mV})$$

$$n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}; \text{laginaren sekzioa} = A = 10^{-4} \text{ cm}^2; \text{Luzera} = 2a = 200 \mu\text{m}.$$



- a) Gainazaletarantz fluxurik ez balego (hau da, gainazaletako birkonbinatzea $S = 0$ cm/s izango balitz), bolumenean genukeen soberakina kalkulatu. Injekzio baxuan al gaude?
- b) Bi gainazaletan oso birkonbinatzea handia badugu ($S = \infty$ cm/s; hau da, kontaktuak ohmikoak badira), pentsatu soberakinen profilarren forma eta fluxuen noranzkoak nolakoak izango diren.
- c) Kalkulatu soberakinak. x ardatzaren jatorria laginaren erdian kokatuz. Ekuazio diferentzialaren soluzio gisa, sinu eta kosinu hiperbolikoak dituen erabiltzeak ekuazioak errazten ditu.
- d) Kalkulatu bolumenean eta bi gainazaletan gertatzen diren birkonbinatzeak ($B_{\text{BOLUMEN OSOAN}}$, pare/s; $B_{\text{BI GAINAZALETAN}}$, pare/s) eta sorrera osoa (G_{OSOA} pare/s). Bi birkonbinatzeen erlazioa kalkulatu eta ondorioak atera.

10. ARIKETA: grafiko logaritmikoak

3.3 Irudian, eremu batek eragiten dituen batez besteko eramaile-abiadurak agertzen dira (giro-tenperaturan eta dopaketa hutsarekin). Grafiko horretan ikusten denez, $\log(\epsilon)$ eta $\log(v)$ magnitudeen arteko erlazioa lineala da tarte handi batean: $\log(v) = k_1 + k_2 \cdot \log(\epsilon)$. Baina, $v = v(\epsilon)$, lineala al da?

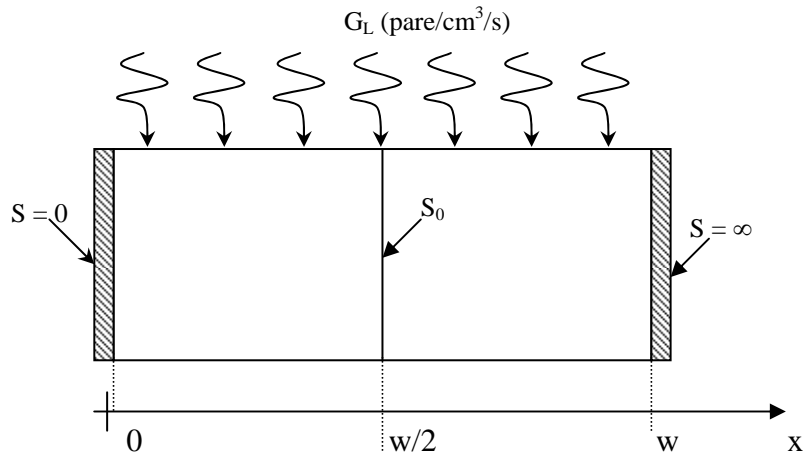
- a) Marraztu elektroien mugikortasun-eremuarekiko grafikoa (bospasei puntu hartuz). Erabili grafiko erdilogaritmiko bat, Y ardatza (μ) linealetan eta X ardatza (ϵ) logaritmikoetan jarri.

[Mugikortasuna konstante mantendu behar da gure aplikazioetan, hau da (tenperatura eta dopaketa finkoekin) Eremuaren eta Atoizko Abiaduraren arteko erlazio konstante bat eman behar digu, bestela ez luke erabilgarritasunik izango]

- b) Zenbat da mugikortasunaren kontzeptua onartzeko eremu maximoa?
- c) Mugikortasuna aplikagarria den tarte horretan, zenbat balio du k_2 malda logaritmikoak? Eta k_1 konstanteak? Zer da 10^{k_1} ?
- d) $k_2 = 3$ balitz, zein izango litzateke erlazioa.
- e) Saiatu $v = v(E)$ linealetan jartzen.

11. ARIKETA: gainazaleko birkonbinaketa

Badugu W luze den n motako siliziozko lagin bat egoera geldikorrean. Argi batez, G_L pare sortzen dira zentimetro kubiko eta segundo bakoitzeko bolumen osoan. Injekzio baxuan gaude (baxua da? Esapide hau askotan agertzen da?) eta erdibizitza infinitua da. Ezkerreko ertzean, ez dago gainazaleko birkonbinatze-erik. Eskuineko gainazala, berriz, kontaktu ohmiko bat.



Laginaren erdian (axola ez diguten arrazoiak direla eta) S_0 (cm/s) birkonbinaketa-abiadura badugu:

- Hutsuneen soberakina kalkulatu (S_0 aldagaiaren funtzio bezala). $S_0 = 0$, $S_0 = \infty$ eta erdiko kasu bat aztertu eta marraztu.
- Eramaile jarioak kalkulatu (S_0 aldagaiaren funtzio bezala) eta aurreko hiru kasuetako soluzioa marraztu.
- Zenbat pare birkonbinatzen dira segundo eta zentimetro koadro bakoitzeko erdiko gainazalean? Eta eskuinekoan?

12. ARIKETA: eskualde labur eta luzeak

Badugu W luze den n motako siliziozko lagin bat, egoera geldikorrean.

Ezkerreko muturreko aurpegian, $p'(0)$ soberakin jakin bat mantentzen da prozedura ezezagun batez (datutzat hartuko dugu). Eskuineko gainazalean, berriz, birkonbinaketa-abiadura (zinematikoa) infinitua da ($S = \infty$ cm/s).

Injekzio baxuan gaude eta erdibizitza (τ_p) eta barreiapen-koefizientea (D_p) badakizkigu (beraz, L_p ere bai).

Erdieroaleari buruzko ariketak

a) Egiaztatu:

$$p'(x) = p'(0) \cdot \frac{\exp\left[\frac{w-x}{L_p}\right] - \exp\left[-\frac{w-x}{L_p}\right]}{\exp\left[\frac{w}{L_p}\right] - \exp\left[-\frac{w}{L_p}\right]}$$

b) Aztertu bi kasu berezi hauek (emaitzak egiaztatuz eta marratuz):

$y \approx 0$ denean, $\exp(y) \approx 1 + y$ bada eta

$y \gg 1$ denean, $\exp(-y) \approx 0$ bada

b₁) L_p oso handia denean (w -rekin alderatuta): $p'(x) \approx p'(0) \cdot \frac{w-x}{w}$

b₂) L_p oso txikia denean (w -rekin alderatuta): $p'(x) \approx p'(0) \cdot \exp\left[-\frac{x}{L_p}\right]$

c) Aztertu honako bi kasu hauek:

c₁) Egiaztatu $U = 0$ denean b_1 kasua dugula.

c₂) Egiaztatu w infinitua denean b_2 kasua dugula.

d) Ondorioz, eskualde bat *luzea* bada ($w \gg L_p$), berdin dio haren luzerak, eskuineko gainazala ez baita ezkerreko soberakinaz ohartzen. Jatorrian dugun fluxu osoa (kalkula ezazu, deribatuz) bolumenean birkonbinatzen da (kalkula ezazu, integralez).

e) Era berean, eskualdea *laburra* bada, berdin dio barreiapeneko luzerak. Laginak bolumenean birkonbinaketa hutsa balitz bezala jokatzen du. Izan ere, fluxu osoa eskuineko gainazalean birkonbinatzen da (egiaztatu deribatu biak berdinak direla).

13. ARIKETA: gainazaleko birkonbinaketa

Badugu n motako siliziozko lagin bat, W luze, egoera geldikorrean.

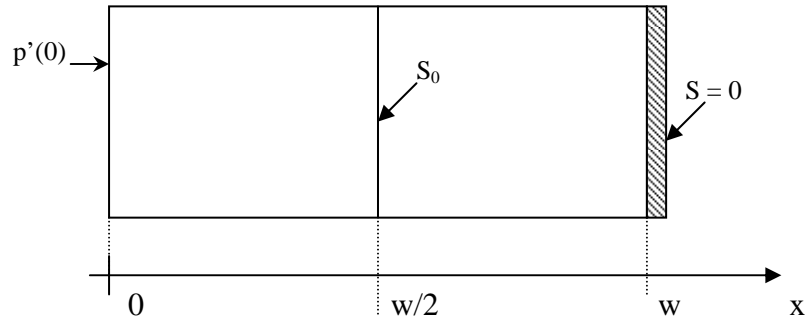
Ezkerreko ertzean, soberakin bat mantentzen da ezagutzen ez dugun bide batez ($p'(0)$, datutzat hartuko duguna). Eskuineko gainazala ($x = w$) pasibaturik dago ($S = 0$).

Bolumenean ez dago birkonbinatzeaz (ez eta sorrerarik ere).

a) Kalkulatu egoera horretan dugun hutsune-soberakina.

Erdieroaleari buruzko ariketak

Orain sareko zenbait akats direla eta S_0 birkonbinatzea abiadura zinetikoa badugu laginaren erdiko gainazalean ($x = w/2$):



- b) Kalkulatu hutsune-soberakina (S_0 aldagaiaren funtzioan). $S_0 = 0$, $S_0 = \infty$ eta erdiko kasu bat aztertu eta marraztu.
- c) Kalkulatu (S_0 aldagaiaren funtzioan) eramaile-jarioak eta aurreko hiru kasuetako soluzioa marraztu.
- d) Muturreko bi kasuetarako: zenbat pare birkonbinatzen dira, segundo eta zentimetro koadro bakoitzeko, erdiko gainazalean? Eta eskuinekoan?

Erdieroaleari buruzko ariketak