ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС №2
ИОНДАНУ ЖӘНЕ РЕКОМБИНАЦИЯ ПРОЦЕСТЕРІН МОДЕЛЬДЕУ

Жұмыстың мақсаты

Иондану дәрежесін есептеу, фотоиондану энергетикалық шегін анықтау және электрон концентрациясының уақыт бойынша өзгерісін қарапайым баланс теңдеуімен модельдеу.

Күтілетін оқу нәтижелері

- Иондану мен рекомбинацияның бәсекелестігін түсіндіреді;
- иондану дәрежесін α есептейді;
- $\lambda_{th}=1240/E_i$ арқылы шектік толқын ұзындығын анықтайды;
- $dn_e/dt = S_{ion} - \alpha_r n_e n_i \approx S_{ion} - \alpha_r n_e^2$ моделін Excel-де сандық интегралдайды.

Қажетті құралдар

Компьютер немесе ноутбук, Microsoft Excel немесе Google Sheets, калькулятор.

Қысқаша теория

Плазмадағы зарядталған бөлшектер саны иондану көздері мен олардың жоғалу процестерінің балансымен анықталады. Иондану жаңа электрон-ион жұптарын түзеді, ал рекомбинация электрон мен ионның қайта қосылуына әкеледі. Қарапайым бір компонентті жүйеде иондану дәрежесі иондалған бөлшектер үлесін сипаттайды. Екібөлшекті рекомбинация үшін $R_{rec} = \alpha_r n_e n_i$, ал бір рет иондалған квазибейтарап плазмада $n_i \approx n_e$ болғандықтан $R_{rec} \approx \alpha_r n_e^2$ деп алуға болады. Фотоиондану кезінде фотон энергиясы бөлшектің иондану энергиясынан кем болмауы керек.

$$\alpha = \frac{n_i}{n_n + n_i}$$

$$\lambda_{th} = \frac{hc}{E_i} \approx \frac{1239.84}{E_i[\text{eV}]}\ \text{nm}$$

$$\frac{dn_e}{dt} = S_{ion} - \alpha_r n_e n_i \approx S_{ion} - \alpha_r n_e^2$$

Excel-де уақытты дискреттеу үшін Эйлер әдісінің қарапайым формасы қолданылады:

$$n_e^{(k+1)} = n_e^{(k)} + \Delta t \left[S_{ion} - \alpha_r \left(n_e^{(k)} \right)^2 \right]$$

Орындалу реті

1. Өз варианты бойынша n_i, n_n және газдың E_i мәнін алыңыз.
2. Иондану дәрежесін α есептеп, пайызбен көрсетіңіз.
3. Шектік фотон толқын ұзындығын λ_{th} есептеңіз.
4. Берілген S_{ion}, α_r, $n_e(0)$ және Δt арқылы $0–20\Delta t$ аралығында $n_e(t)$ мәндерін Excel-де есептеңіз. Кестедегі Δt мәндері сандық орнықтылықты қамтамасыз ететін шағын қадам ретінде таңдалған.
5. Бір рет иондалған квазибейтарап плазма үшін $R_{rec} \approx \alpha_r n_e^2$ рекомбинация жылдамдығын әр қадамда есептеңіз.

6. $n_e(t)$ және $R_{rec}(t)$ графиктерін тұрғызыңыз.

7. Тұрақты күйге жақындағанда S_{ion} мен R_{rec} арасындағы қатынасты түсіндіріңіз.

Бастапқы деректер: 8 вариант

Вар.	**Газ**	E_i, eV	n_i, $м^{-3}$	n_n, $м^{-3}$	S_{ion}, $м^{-3}с^{-1}$	α_r, $м^3/с$	$n_e(0)$, $м^{-3}$	**Δt, с**
1	Ar	15.76	2.0×10^{17}	8.0×10^{18}	1.0×10^{20}	1.0×10^{-12}	2.0×10^{15}	1.0×10^{-5}
2	H	13.60	5.0×10^{17}	1.5×10^{19}	2.0×10^{20}	2.0×10^{-12}	3.0×10^{15}	1.0×10^{-5}
3	He	24.59	1.0×10^{17}	9.0×10^{18}	8.0×10^{19}	8.0×10^{-13}	1.0×10^{15}	2.0×10^{-5}
4	N_2	15.58	3.0×10^{17}	1.2×10^{19}	1.5×10^{20}	1.5×10^{-12}	2.5×10^{15}	1.0×10^{-5}
5	O_2	12.07	8.0×10^{17}	2.0×10^{19}	2.5×10^{20}	2.5×10^{-12}	4.0×10^{15}	5.0×10^{-6}
6	Ar	15.76	1.2×10^{18}	3.0×10^{19}	3.0×10^{20}	3.0×10^{-12}	5.0×10^{15}	5.0×10^{-6}
7	N_2	15.58	6.0×10^{17}	1.0×10^{19}	1.2×10^{20}	1.2×10^{-12}	2.0×10^{15}	1.0×10^{-5}
8	O_2	12.07	4.0×10^{17}	1.6×10^{19}	1.8×10^{20}	1.8×10^{-12}	3.5×10^{15}	1.0×10^{-5}

Есептеу үлгісі

Мысал: Ar үшін E_i=15.76 eV. $\lambda_{th}\approx1240/15.76\approx78.7$ нм. Егер $n_i=2\times10^{17}$ $м^{-3}$ және $n_n=8\times10^{18}$ $м^{-3}$ болса, $\alpha\approx0.0244$, яғни шамамен 2.44 %.

Excel-де рәсімдеуге арналған кесте үлгісі

k	t, с	n_e, $м^{-3}$	S_{ion}, $м^{-3}\cdot с^{-1}$	R_{rec}, $м^{-3}\cdot с^{-1}$	dn_e/dt, $м^{-3}\cdot с^{-1}$	$n_e(k+1)$
1						
2						
…						

Excel формуласын бірінші екі қатарға жазып, төмен қарай көшіріңіз. Теріс концентрацияға әкелетін тым үлкен уақыт қадамы байқалса, Δt-ны 2 есе азайтып тексеруге болады.

Есеп беру құрылымы

1. Зертханалық жұмыстың атауы, мақсаты және студенттің варианты.
2. Бастапқы деректер кестесі.
3. Қолданылған формулалар және белгілеулер.
4. Есептеу нәтижелерінің Excel кестесі.
5. Талап етілген графиктер.
6. Нәтижелерді физикалық тұрғыдан талдау.

7. Қысқаша қорытынды (кемінде 5–7 сөйлем).

Бақылау сұрақтары

1. Иондану дегеніміз не?
2. Рекомбинацияның физикалық мағынасы қандай?
3. Иондану дәрежесі $\alpha \to 1$ болғанда орта қалай өзгереді?
4. Фотоиондanудың шектік шарты қандай?
5. Неліктен λ_{th} иондану энергиясы өскенде кемиді?
6. Тұрақты режимде S_{ion} және рекомбинация қалай байланысады?
7. Эйлер әдісіндегі Δt тым үлкен болса қандай сандық мәселе тууы мүмкін?
8. Төмен температуралы плазмада неге электрондар газдан әлдеқайда «ыстық» болуы мүмкін?