

Домашнее задание № 1. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОЛНОСТЬЮ ИОНИЗОВАННОЙ ПЛАЗМЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Полностью ионизованная плазма, имеющая форму бесконечного цилиндра радиуса a , находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией \mathbf{B}_0 . Температуры ионных и электронного компонентов равны ($T_e = T_i = T$). Радиальные распределения концентрации $n(r)$ и температуры $T(r)$ плазмы таковы, что соотношение между их градиентами $\eta = \frac{n}{T} \frac{dT/dr}{dn/dr}$ постоянно; при $r = a$ $n = 0$, $T = 0$. На оси цилиндра ($r = 0$) заданы значения температуры T_0 (или концентрации n_0) и отношения давления плазмы к давлению внешнего магнитного поля β_0 .

Используя известные зависимости [1–3], требуется рассчитать значения следующих параметров на оси ($r = 0$) и при $r = r_0$:

- температуру T ;
- концентрацию ионов каждого сорта n_i ;
- концентрацию электронов n_e ;
- давление плазмы p ;
- магнитное поле в плазме B ;
- параметр β ;
- плазменную ленгмюровскую частоту ω_p ;
- дебаевский радиус r_D ;
- число электронов в дебаевской сфере N_D ;
- характерные времена ион-ионных, электрон-электронных и электрон-ионных столкновений τ_{ii} , τ_{ee} и τ_{ei} , соответственно;
- тепловые скорости ионов v_{Ti} и электронов v_{Te} ;
- циклотронные частоты ионов ω_{ci} и электронов ω_{ce} ;
- циклотронные радиусы ионов ρ_{ci} с поперечной компонентой скорости $v_{\perp} = v_{Ti}$ и электрона ρ_{ce} с $v_{\perp} = v_{Te}$;
- ионно-звуковую скорость v_s ;
- альфвеновскую скорость v_A ;
- скорость магнито-звуковой волны c_s ;
- скорости градиентного дрейфа $V_{\nabla B}$ для ионов и электрона при $mv_{\perp}^2/2 = k_B T$ (k_B – постоянная Больцмана);
- амбиполярное электрическое поле E ;
- потенциал ϕ ;
- скорость $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ -дрейфа V_E ;
- скорости диамагнитного дрейфа ионов V_{*i} ;
- скорость диамагнитного дрейфа электронов V_{*e} .

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1. В результате расчетов необходимо заполнить таблицу 2 и построить радиальные распределения n_e , T , E , и ϕ .

Таблица 1. Исходные данные для расчета

№ варианта	Ионный состав	n_{e0} , 10^{20} м^{-3}	T_0 , кэВ	a , м	r_0 , м	η	B_0 , Тл	β_0
1	D:T = 1:1	-	20	3	1	2.5	5	0.05
2	D: ³ He = 1:1	-	70	2	1.5	2.5	5	0.6
3	D:T = 1:1	-	10	3	1.5	3	5	0.05
4	D: ³ He = 1:2	-	40	2	1	3	5	0.6
5	D:T = 1:1	-	1	3	1	3	5	0.05
6	D: ³ He = 2:1	-	10	2	1.75	2.5	5	0.6
7	D:T = 1:1	-	0.1	3	1.5	2.5	5	0.05
8	p: ¹¹ B = 10:1	-	100	4	3	3	5	0.8
9	D:T = 1:1	1	-	3	1	2.5	5	0.05
10	D: ⁶ Li = 3:1	2	-	2	1.5	2.5	5	0.6
11	D:T = 1:1	0.5	-	3	1.5	3	5	0.05
12	D: ³ He = 1:1	1	-	2	1	3	5	0.6
13	D:T = 1:1	5	-	3	1	3	5	0.05
14	D: ³ He = 1:2	3	-	2	1.75	2.5	5	0.6
15	D:T = 1:1	10	-	3	1.5	2.5	5	0.05
16	D: ³ He = 2:1	10	-	4	3	3	5	0.8
17	D:T = 1:1	-	20	3	1	2.5	10	0.05
18	p: ¹¹ B = 10:1	-	70	2	1.5	2.5	10	0.6
19	D:T = 1:1	-	10	3	1.5	3	10	0.05
20	D: ⁶ Li = 3:1	-	40	2	1	3	10	0.6
21	D:T = 1:1	-	1	3	1	3	10	0.05
22	D: ³ He = 1:1	-	10	2	1.75	2.5	10	0.6
23	D:T = 1:1	-	0.1	3	1.5	2.5	10	0.05
24	D: ³ He = 1:2	-	100	4	3	3	10	0.8
25	D:T = 1:1	1	-	3	1	2.5	1	0.05
26	D: ³ He = 2:1	2	-	2	1.5	2.5	1	0.6
27	D:T = 1:1	0.5	-	3	1.5	3	1	0.05
28	p: ⁶ Li = 10:1	1	-	2	1	3	15	0.8
29	D:T = 1:1	5	-	3	1	3	1	0.05
30	p: ⁹ Be = 10:1	3	-	2	1.75	2.5	15	0.8

Таблица 2. Результаты расчетов

Параметр	T , кэВ	n_{i1} , 10^{20} м ⁻³	n_{i2} , 10^{20} м ⁻³	n_e , 10^{20} м ⁻³	p , Па	B , Тл	β	ω_p , рад/с
$r = 0$								
$r = r_0$								

Параметр	r_D , м	N_D	τ_{i1i1} , с	τ_{i2i2} , с	τ_{i1i2} , с	τ_{ee} , с	τ_{ei1} , с	τ_{ei2} , с
$r = 0$								
$r = r_0$								

Параметр	v_{Ti1} , м/с	v_{Ti2} , м/с	ω_{ci1} , рад/с	ω_{ci2} , рад/с	ω_{ce} , рад/с	ρ_{ci1} , м
$r = 0$						
$r = r_0$						

Параметр	ρ_{ci2} , м	ρ_{ce} , м	v_s , м/с	v_A , м/с	c_s , м/с	$V_{\nabla B i1}$, м/с	$V_{\nabla B i2}$, м/с
$r = 0$							
$r = r_0$							

Параметр	$V_{\nabla B e}$, м/с	E , В/м	ϕ , В	V_E , м/с	V_{*i1} , м/с	V_{*i2} , м/с	V_{*e} , м/с
$r = 0$							
$r = r_0$							

Примечание: нумерация ионов ($i1$, $i2$) соответствует порядку их перечисления во втором столбце таблицы 1.

Литература

1. Чирков А.Ю. Введение в физику плазмы: Учебное пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.
2. Хвесьюк В.И., Чирков А.Ю. Волны и неустойчивости в высокотемпературной плазме: Учебное пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.
3. Чирков А.Ю. Введение в физику плазмы: Электронный конспект лекций по физике плазмы. М., 2011.