



НЕИДЕАЛЬНАЯ ПЛАЗМА

Авторы: А. Г. Храпак

НЕИДЕАЛЬНАЯ ПЛАЗМА, плазма, в которой ср. потенциальная энергия взаимодействия частиц сопоставима с их ср. кинетич. энергией или превышает её. Н. п. является вырожденная плазма белых карликов, плазма магнитосфер пульсаров, нейтронных звёзд, глубинных слоёв Солнца и планет-гигантов, электронный газ в металлах.

Неидеальность плазмы и её идеальность (см. [Идеальная плазма](#)) характеризуются параметром неидеальности (идеальности), равным отношению ср. энергии взаимодействия частиц плазмы к кинетич. энергии их поступат. движения. Для однократно ионизованной плазмы, частицы которой взаимодействуют по закону Кулона, параметр неидеальности имеет вид:

$$\gamma = e^2/r_e kT \sim e^2 n_e^{1/3}/kT \text{ [здесь}$$

e – заряд электрона,

k – постоянная Больцмана,

T – абсолютная темп-ра,

n_e – ср. число электронов в единице объёма

$r_e = (4\pi n_e/3)^{-1/3}$ – ср. расстояние между частицами]. Плазма считается слабо неидеальной при

$\gamma \approx 1$ и сильно неидеальной при

$\gamma \gg 1$. Если в плазме присутствуют многозарядные ионы или многократно заряженные макрочастицы с зарядом

Z , параметр неидеальности возрастает в

Z^2 + раз. Дальнодействующее кулоновское взаимодействие приводит за счёт

коллективных эффектов к экранировке поля зарядов на расстояниях, превышающих радиус Дебая

$r_D \sim (kT/n_e e^2)^{1/2}$. Вместо

γ можно использовать плазменный, или дебаевский, параметр неидеальности

$$\mu = e^2/kTr_D = 1/3N_D$$

(N_D – число электронов в дебаевской сфере). Плазма становится неидеальной, когда число частиц в сфере Дебая мало и нарушается условие применимости дебаевского приближения:

$$N_D \gg 1.$$

Свойства Н. п. существенно отличаются от свойств идеальной плазмы. В Н. п.

кулоновское взаимодействие между заряженными частицами и взаимодействие ионов с атомами уменьшают потенциал ионизации

I , а взаимодействие электронов с атомами может приводить как к уменьшению, так и к росту

I в зависимости от длины рассеяния. Эти эффекты ответственны за аномально

высокую проводимость паров щелочных металлов и ртути, а также приводят к

фазовому переходу диэлектрик – проводник в жидких диэлектриках при

экстремально высоких давлениях и температурах. Оптич. свойства плазмы зависят от

степени её неидеальности. Слабая неидеальность проявляется в сдвиге и уширении

спектральных линий и смещении порогов фотоионизации. С ростом плотности плазмы

её оптич. прозрачность уменьшается. За счёт сдвига потенциала ионизации

уменьшается ширина запрещённой зоны энергетич. спектра, дискретный спектр

заменяется сплошным, в областях прежней прозрачности возникает широкая полоса

поглощения.

В низкотемпературной плазме при малой степени ионизации неидеальность может

быть связана с взаимодействием зарядов с нейтральными частицами. В результате

притяжения заряда и нейтральной частицы образуются молекулярные и кластерные

ионы и состав плазмы может стать многокомпонентным.

В вырожденной плазме кинетич. энергия электронов определяется не темп-рой, а

энергией Ферми

ϵ_F . В этом случае квантовый параметр неидеальности приобретает вид:

$$\gamma_{кв} = e^2 n_e^{1/3} / \epsilon_F. \text{ Поскольку}$$

$\varepsilon_F \sim n_e^{2/3}$, параметр

$\gamma_{кв}$ уменьшается с ростом плотности электронов, и вырожденная электронная плазма по мере сжатия становится более идеальной.

В газоразрядной пылевой плазме, где заряд частиц микрометрового размера достигает

$(10^3 - 10^4)e$, сильная неидеальность может приводить к кристаллизации пылевой подсистемы, в то время как электрон-ионная компонента плазмы остаётся идеальной.

Н. п. представляет интерес как для фундам. науч. исследований (космич. плазма, экстремальные состояния вещества, кварк-глюонная плазма), так и для совр. технич. приложений (термоядерные реакторы с инерциальным удержанием плазмы, плазменные технологии в микроэлектронике).

Литература

Лит.: Квантовая статистика систем заряженных частиц. М., 1988; Фортон В. Е.

Экстремальные состояния вещества. 2-е изд. М., 2010; Фортон В. Е., Храпак А. Г.,

Якубов И. Т. Физика неидеальной плазмы. 2-е изд. М., 2010.

Processing math: 100%