

## Тесты кафедры анатомии человека МГМСУ им. А.И. Евдокимова

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Тихоокеанский государственный экономический университет  
Кафедра физики  
Реферат  
Тема: Плазма - четвертое состояние вещества

Выполнила:  
421 Тд  
Патук С.В.  
Владивосток  
2010  
Содержание

Введение

1. Что такое плазма?

1.1 Наиболее типичные формы плазмы

2. Свойства и параметры плазмы

2.1 Классификация

2.2 Температура

2.3 Степень ионизации

2.4 Плотность

2.5 Квазинейтральность

3 Математическое описание

3.1 Флюидная (жидкостная) модель

3.2 Кинетическое описание

3.3 Particle-In-Cell (частица в ячейке)

4. Использование плазмы

Заключение

Список литературы

Введение

Агрегатное состояние -- состояние вещества, характеризующееся определёнными качественными свойствами: способностью или неспособностью сохранять объём и форму, наличием или отсутствием дальнего и ближнего порядка и другими. Изменение агрегатного состояния может сопровождаться скачкообразным изменением свободной энергии, энтропии, плотности и других основных физических свойств.

Известно, что любое вещество может существовать только в одном из трех состояний: твердом, жидком или газообразном, классическим примером чему является вода, которая может быть в виде льда, жидкости и пара. Однако веществ, пребывающих в этих считающихся бесспорными и общераспространенными состояниях, если брать всю Вселенную в целом, очень мало. Они вряд ли превышают то, что в химии считается ничтожно малыми следами. Все остальное вещество Вселенной пребывает в так называемом плазменном состоянии.

### 1. Что такое плазма?

Словом «плазма» (от греч. «плазма» -- «оформленное») в середине XIX в. стали именовать бесцветную часть крови (без красных и белых телец) и жидкость, наполняющую живые клетки. В 1929 г. американские физики Ирвинг Лёнгмюр (1881--1957) и Леви Тонко (1897--1971) назвали плазмой ионизованный газ в газоразрядной трубке.

Английский физик Уильям Крукс (1832--1919), изучавший электрический разряд в трубках с разрежённым воздухом, писал: «Явления в откачанных трубках открывают для физической науки новый мир, в котором материя может существовать в четвёртом состоянии».

В зависимости от температуры любое вещество изменяет своё состояние. Так, вода при отрицательных (по Цельсию) температурах находится в твёрдом состоянии, в интервале от 0 до 100 °С - в жидком, выше 100 °С--в газообразном. Если температура продолжает расти, атомы и молекулы начинают терять свои электроны -- ионизируются и газ превращается в плазму. При температурах более 1000000 °С плазма абсолютно ионизована -- она состоит только из электронов и положительных ионов. Плазма -- наиболее распространённое состояние вещества в природе, на неё приходится около 99 % массы Вселенной. Солнце, большинство звёзд, туманности -- это полностью ионизованная плазма. Внешняя часть земной атмосферы (ионосфера) тоже плазма.

Ещё выше располагаются радиационные пояса, содержащие плазму.

Полярные сияния, молнии, в том числе шаровые, -- всё это различные виды плазмы, наблюдать которые можно в естественных условиях на Земле. И лишь ничтожную часть Вселенной составляет вещество в твёрдом состоянии -- планеты, астероиды и пылевые туманности.

Под плазмой в физике понимают газ, состоящий из электрически заряженных и нейтральных частиц, в котором суммарный электрический заряд равен нулю, т. е. выполнено условие квазинейтральности (поэтому, например, пучок электронов,

летающих в вакууме, не плазма: он несет отрицательный заряд).

## 1.1 Наиболее типичные формы плазмы

### Наиболее типичные формы плазмы

Искусственно созданная плазма

Плазменная панель (телевизор, монитор)

Вещество внутри люминесцентных (в т. ч. компактных) и неоновых ламп

Плазменные ракетные двигатели

Газоразрядная корона озонового генератора

Исследования управляемого термоядерного синтеза

Электрическая дуга в дуговой лампе и в дуговой сварке

Плазменная лампа (см. рисунок)

Дуговой разряд от трансформатора Теслы

Воздействие на вещество лазерным излучением

Светящаяся сфера ядерного взрыва

Земная природная плазма

Молния

Огни святого Эльма

Ионосфера

Языки пламени (низкотемпературная плазма)

Космическая и астрофизическая плазма

Солнце и другие звезды (те, которые существуют за счет термоядерных реакций)

Солнечный ветер

Космическое пространство (пространство между планетами, звездами

и галактиками)

Межзвездные туманности

плазма вещество квазинейтральность

## 2. Свойства и параметры плазмы

Плазма обладает следующими свойствами:

**Достаточная плотность:** заряженные частицы должны находиться достаточно близко друг к другу, чтобы каждая из них взаимодействовала с целой системой близкорасположенных заряженных частиц. Условие считается выполненным, если число заряженных частиц в сфере влияния (сфера радиусом Дебая) достаточно для возникновения коллективных эффектов (подобные проявления -- типичное свойство плазмы). Математически это условие можно выразить так:

где -- концентрация заряженных частиц

**Приоритет внутренних взаимодействий:** радиус дебаевского экранирования должен быть мал по сравнению с характерным размером плазмы. Этот критерий означает, что взаимодействия, происходящие внутри плазмы более значительны по сравнению с эффектами на ее поверхности, которыми можно пренебречь. Если это условие соблюдено, плазму можно считать квазинейтральной. Математически оно выглядит так:

**Плазменная частота:** среднее время между столкновениями частиц должно быть велико по сравнению с периодом плазменных колебаний. Эти колебания вызываются действием на заряд электрического поля, возникающего из-за нарушения квазинейтральности плазмы. Это поле стремится восстановить нарушенное равновесие. Возвращаясь в положение равновесия, заряд проходит по инерции это положение, что опять приводит к появлению сильного возвращающего поля, возникают типичные механические колебания.[8] Когда данное условие соблюдено, электродинамические свойства плазмы преобладают над молекулярно-кинетическими. На языке математики это условие имеет вид:

### 2.1 Классификация

Плазма обычно разделяется на идеальную и неидеальную, низкотемпературную и высокотемпературную, равновесную и неравновесную, при этом довольно часто холодная плазма бывает неравновесной, а горячая равновесной.

### 2.2 Температура

При чтении научно-популярной литературы читатель зачастую видит значения температуры плазмы порядка десятков, сотен тысяч или даже миллионов °С или К. Для описания плазмы в физике удобно измерять температуру не в °С, а в единицах измерения характерной энергии движения частиц, например, в электрон-вольтах (эВ). Для перевода температуры в эВ можно воспользоваться следующим соотношением: 1 эВ = 11600 К (Кельвин). Таким образом становится понятно, что температура в «десятки тысяч °С» достаточно легко достижима.

В неравновесной плазме электронная температура существенно превышает температуру ионов. Это происходит из-за различия в массах иона и электрона,

которое затрудняет процесс обмена энергией. Такая ситуация встречается в газовых разрядах, когда ионы имеют температуру около сотен, а электроны около десятков тысяч К.

В равновесной плазме обе температуры равны. Поскольку для осуществления процесса ионизации необходимы температуры, сравнимые с потенциалом ионизации, равновесная плазма обычно является горячей (с температурой больше нескольких тысяч К).

Понятие высокотемпературная плазма употребляется обычно для плазмы термоядерного синтеза, который требует температур в миллионы К.

### 2.3 Степень ионизации

Для того, чтобы газ перешел в состояние плазмы, его необходимо ионизировать. Степень ионизации пропорциональна числу атомов, отдавших или поглотивших электроны, и больше всего зависит от температуры. Даже слабо ионизированный газ, в котором менее 1 % частиц находятся в ионизированном состоянии, может проявлять некоторые типичные свойства плазмы (взаимодействие с внешним электромагнитным полем и высокая электропроводность). Степень ионизации  $\beta$  определяется как  $\beta = n_i / (n_i + n_a)$ , где  $n_i$  -- концентрация ионов, а  $n_a$  -- концентрация нейтральных атомов. Концентрация свободных электронов в незаряженной плазме не определяется очевидным соотношением:  $n_e = \langle Z \rangle n_i$ , где  $\langle Z \rangle$  -- среднее значение заряда ионов плазмы.

Для низкотемпературной плазмы характерна малая степень ионизации (до 1 %). Так как такие плазмы довольно часто употребляются в технологических процессах, их иногда называют технологическими плазмами. Чаще всего их создают при помощи электрических полей, ускоряющих электроны, которые в свою очередь ионизируют атомы. Электрические поля вводятся в газ посредством индуктивной или емкостной связи (см. индуктивно-связанная плазма). Типичные применения низкотемпературной плазмы включают плазменную модификацию свойств поверхности (алмазные пленки, нитрирование металлов, изменение смачиваемости), плазменное травление поверхностей (полупроводниковая промышленность), очистка газов и жидкостей (озонирование воды и сжигание частичек сажи в дизельных двигателях).

Горячая плазма почти всегда полностью ионизирована (степень ионизации  $\sim 100$  %). Обычно именно она понимается под «четвертым агрегатным состоянием вещества». Примером может служить Солнце.

### 2.4 Плотность

Помимо температуры, которая имеет фундаментальную важность для самого существования плазмы, вторым наиболее важным свойством плазмы является плотность. Словосочетание плотность плазмы обычно обозначает плотность электронов, то есть число свободных электронов в единице объема (строго говоря, здесь, плотностью называют концентрацию -- не массу единицы объема, а число частиц в единице объема). В квазинейтральной плазме плотность ионов связана с

ней посредством среднего зарядового числа ионов : . Следующей важной величиной является плотность нейтральных атомов  $n_0$ . В горячей плазме  $n_0$  мала, но может тем не менее быть важной для физики процессов в плазме. При рассмотрении процессов в плотной, неидеальной плазме характерным параметром плотности становится  $rs$ , который определяется как отношение среднего межчастичного расстояния к радиусу Бора.

## 2.5 Квазинейтральность

Так как плазма является очень хорошим проводником, электрические свойства имеют важное значение. Потенциалом плазмы или потенциалом пространства называют среднее значение электрического потенциала в данной точке пространства. В случае если в плазму внесено какое-либо тело, его потенциал в общем случае будет меньше потенциала плазмы вследствие возникновения дебаевского слоя. Такой потенциал называют плавающим потенциалом. По причине хорошей электрической проводимости плазма стремится экранировать все электрические поля. Это приводит к явлению квазинейтральности -- плотность отрицательных зарядов с хорошей точностью равна плотности положительных зарядов  $(\rho_-)$ . В силу хорошей электрической проводимости плазмы разделение положительных и отрицательных зарядов невозможно на расстояниях больших дебаевской длины и временах больших периода плазменных колебаний. Примером неквазинейтральной плазмы является пучок электронов. Однако плотность не-нейтральных плазм должна быть очень мала, иначе они быстро распадутся за счёт кулоновского отталкивания.

## 3. Математическое описание

Плазму можно описывать на различных уровнях детализации. Обычно плазма описывается отдельно от электромагнитных полей.

### 3.1 Флюидная (жидкостная) модель

Во флюидной модели электроны описываются в терминах плотности, температуры и средней скорости. В основе модели лежат: уравнение баланса для плотности, уравнение сохранения импульса, уравнение баланса энергии электронов. В двухжидкостной модели таким же образом рассматриваются ионы.

### 3.2 Кинетическое описание

Иногда жидкостная модель оказывается недостаточной для описания плазмы. Более подробное описание даёт кинетическая модель, в которой плазма описывается в терминах функции распределения электронов по координатам и импульсам. В основе модели лежит уравнение Больцмана. Уравнение Больцмана неприменимо для описания плазмы заряженных частиц с кулоновским взаимодействием вследствие дальнедействующего характера кулоновских сил. Поэтому для описания плазмы с кулоновским взаимодействием используется уравнение Власова с самосогласованным электромагнитным полем, созданным заряженными частицами

плазмы. Кинетическое описание необходимо применять в случае отсутствия термодинамического равновесия либо в случае присутствия сильных неоднородностей плазмы.

### 3.3 Particle-In-Cell (частица в ячейке)

Модели Particle-In-Cell являются более подробными чем кинетические. Они включают в себя кинетическую информацию путём слежения за траекториями большого числа отдельных частиц. Плотности эл. заряда и тока определяются путём суммирования частиц в ячейках, которые малы по сравнению с рассматриваемой задачей, но тем не менее содержат большое число частиц. Эл. и магн. поля находятся из плотностей зарядов и токов на границах ячеек.

## 4. Использование плазмы

Наиболее широко плазма применяется в светотехнике -- в газоразрядных лампах, освещающих улицы, и лампах дневного света, используемых в помещениях. А кроме того, в самых разных газоразрядных приборах: выпрямителях электрического тока, стабилизаторах напряжения, плазменных усилителях и генераторах сверхвысоких частот (СВЧ), счётчиках космических частиц. Все так называемые газовые лазеры (гелий-неоновый, криптоновый, на диоксиде углерода и т. п.) на самом деле плазменные: газовые смеси в них ионизованы электрическим разрядом. Свойствами, характерными для плазмы, обладают электроны проводимости в металле (ионы, жестко закрепленные в кристаллической решётке, нейтрализуют их заряды), совокупность свободных электронов и подвижных «дырок» (вакансий) в полупроводниках. Поэтому такие системы называют плазмой твёрдых тел. Газовую плазму принято разделять на низкотемпературную -- до 100 тыс. градусов и высокотемпературную -- до 100 млн градусов. Существуют генераторы низкотемпературной плазмы -- плазмотроны, в которых используется электрическая дуга. С помощью плазмотрона можно нагреть почти любой газ до 7000--10000 градусов за сотые и тысячные доли секунды. С созданием плазмотрона возникла новая область науки -- плазменная химия: многие химические реакции ускоряются или идут только в плазменной струе.

Плазмотроны применяются и в горнорудной промышленности, и для резки металлов. Созданы также плазменные двигатели, магнитогидродинамические электростанции. Разрабатываются различные схемы плазменного ускорения заряженных частиц. Центральной задачей физики плазмы является проблема управляемого термоядерного синтеза. Термоядерными называют реакции синтеза более тяжёлых ядер из ядер лёгких элементов (в первую очередь изотопов водорода - дейтерия D и трития T), протекающие при очень высоких температурах ( $\gg 10^8$  K и выше). В естественных условиях термоядерные реакции происходят на Солнце: ядра водорода соединяются друг с другом, образуя ядра гелия, при этом выделяется значительное количество энергии. Искусственная реакция термоядерного синтеза была осуществлена в водородной бомбе.

Заключение

Плазма - ещё малоизученный объект не только в физике, но и в химии (плазмохимии), астрономии и многих других науках. Поэтому важнейшие технические положения физики плазмы до сих пор не вышли из стадии лабораторной разработки. В настоящее время плазма активно изучается т.к. имеет огромное значение для науки и техники. Эта тема интересна ещё и тем, что плазма - четвёртое состояние вещества, о существовании которого люди не подозревали до XX века.

Список литературы

1. Вурзель Ф.Б., Полак Л.С. Плазмохимия, М, Знание, 1985.
2. Ораевский Н.В. Плазма на Земле и в космосе, К, Наукова думка, 1980.
3. [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org)...