Тольяттинский Государственный Университет

Кафедра методики преподавания физики и физической электроники

Курсовая работа

**Формирование понятия «плазма» в школьном курсе физики.**

Выполнил: Королёв А. В. /Ф-501/

Руководитель: к.п.н. Антонов В. В.

Тольятти 2002 г.

**Оглавление:**

1. Введение…………………………………………………………………...3

2. Формирование понятия «плазма»………………………………………..4

2.1 Основные этапы формирования физического понятия…………….4

2.2 Введение понятия «плазма»………………………………………….5

2.3 Свойства плазмы……………………………………………………..10

2.4 Применение плазмы……………………………………….…………11

3. Перспективы в области изучение плазмы в школьном курсе………….12

Возможные пути для изучения плазмы…………………………………12

\*\*\* Материал для спецкурса по физике по теме «ПЛАЗМА»…………….13

4. Заключение………………………………………………………………...31

5. Используемые источники информации………………………………….32

**1. Введение**

В настоящее время уровень развития такой науки, как физика, в мире достаточно высок. И, естественно, программы обучения физики, школьного курса, так же не должны отставать от уровня развития самой науки. Учащимся нужно, по возможности, находиться в курсе всех новшеств и наиболее интересных открытий и разработок.

Но ознакомить учащихся с понятием плазмы необходимо, так как в последние годы свойства веществ, находящихся, как принято говорить в «четвёртом состоянии», привлекают всё больше внимания учёных, что находит отражение и в научно – популярной литературе и в широкой печати.

В школьном курсе понятие «плазма» даётся в 10 классе, в ходе изучения раздела «Электрический ток в различных средах».

С педагогической точки зрения учебный материал по физике плазмы имеет огромное познавательное и мировоззренческое значение, большой практический интерес. На этом материале решается ряд педагогических проблем: политехническая направленность курса физики, формирование диалектико-материалистического мировоззрения учащихся, развитие их естественнонаучных представлений и общего кругозора. Изучение плазменного состояния должно стать частью учения о веществе и его физических свойствах.

Тема «Плазма» очень интересна и познавательна но, к сожалению, даётся в школьном курсе в минимальном, не достаточном, объёме. Поэтому, данная работа преследует две цели:

1. Объяснить процесс формирования понятия «плазма» в школе
2. Наметить возможные перспективы в области изучения плазмы и обозначить возможный материал для этого.
3. **Формирование понятия «плазма»**

**2.1 Основные этапы формирования физического понятия.**

Физика преподаётся как экспериментальная наука. Исходный материал для изучаемых вопросов в основном приобретается учащимися из целенаправленно поставленных наблюдений и опытов, в том числе и в домашних условиях. Последующее абстрагирование и обобщение данных опытов и наблюдений приводит к выделению основных физических понятий, созданию каких либо моделей, установлению принципов, законов и теорий. Заключительный этап – практика для учащихся выступает как применение приобретённых знаний в различной учебной деятельности, при решении задач, на лабораторных работах и, наконец, в общественно полезном и производительном труде.

Процесс формирования всякого физического понятия состоит в последовательном раскрытии качественных и количественных свойств изучаемых предметов и явлений, до состояния их словесного определения и осознания возможностей их практического применения.

*Формирование физических понятий* происходит на двух этапах.

Первый этап – движение от чувственно – корректного восприятия к абстрактному. В ходе чего детей учат видеть и уметь выделять в предмете или явлении его наиболее существенные признаки. Показывают, как в науке происходит абстрагирование. В итоге вводится словесное определения нового понятия.

На втором этапе осуществляется обобщение введённого понятия, более полно раскрывается его содержание и связь с другими.

Соответственно к моменту начала процесса формирования понятия учащийся должен обладать базой необходимых для этого знаний, умений и навыков.

**2.2 Введение понятия «плазма»**

Одно из важных условий обучения состоит в том, чтобы дать основы научных знаний о природе. Эти знания должны соответствовать динамично развивающимся научным взглядам, т.е. преподаватель должен иметь понятие и о новых физических теориях, и о перспективных с точки зрения применения областях науки, прежде всего о тех, которые становятся базой новой техники. Согласно проекту Стандарта образования требуется сформировать определенную систему знаний о веществе. Она включает в себя знания о строении и физических свойствах вещества в трех его состояниях: твердом, жидком и газообразном. Но существует еще и четвертое агрегатное состояние - плазма.

Ведение понятия «плазма» лучше начать с истории его возникновения, и объяснения значения слова «плазма».

Долгий путь вёл человека к познанию плазмы, к её использованию в различных отраслях техники. Когда же наука и техника включили плазму в сферу своего внимания, рост знаний о ней и её практическое применение пошли семимильными шагами. Тут и возникли плазмохимия и плазмохимическая технология.

Ещё крупнейший древнегреческий учёный Аристотель предполагал, что все тела состоят из четырёх низших элементов-стихий: земли, воды, воздуха и огня. Дальнейшее развитие науки наполнило новым содержанием эти термины. Действительно вещество может быть в четырёх состояниях: твёрдом, жидком, газообразном и плазменном.

Человек познакомился с плазмой на заре своего существования, увидев молнию. Плазма окружает нашу Землю в виде ионосферы, обеспечивая устойчивую радиосвязь на Земле. Плазму представляют собой наше Солнце и все звезды (человек уже давно пытается воспроизвести Солнце на Земле в установках управляемого термоядерного синтеза). Наконец, плазма заполняет всю Вселенную в виде очень разреженного межпланетного газа. В состоянии плазмы находится подавляющая часть вещества Вселенной — звёзды, звёздные атмосферы, туманности галактические и межзвёздная среда. Около Земли плазма существует в космосе в виде солнечного ветра, заполняет магнитосферу Земли (образуя радиационные пояса Земли) и ионосферу. Процессами в околоземной плазме обусловлены магнитные бури полярные сияния. Отражение радиоволн от ионосферной плазме обеспечивает возможность дальней радиосвязи на Земле.

Термин ***плазма*** был введен физиологами в середине прошлого века для обозначения бесцветного жидкого компонента крови, молока или живых тканей. Кровь представляет собой красную непрозрачную жидкость, состоящую из плазмы (55 %) и взвешенных в ней клеток, форменных элементов (45 %) - эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов. Плазма крови содержит 90-92 % воды и 8-10 % неорганических и органических веществ. Неорганические вещества составляют 0,9-1% (ионы К, Na, Mg, Са, Cl, P и др.). Остальное приходится на органические вещества плазмы: 6-8 % составляют белки (альбумины, глобулины, фибриноген). Около 2 % приходится на них комолекулярные органические вещества (глюкоза, аминокислоты, мочевина, мочевая кислота, липиды, креатин). Водный раствор, который по концентрации солей соответствует плазме крови, называют физиологическим раствором.

В 1923 г. американские физики И.Ленгмюр и Л.Тонкс назвали плазмой особое состояние ионизованного газа. Физиков плазма сначала интересовала как своеобразный проводник электрического тока, а также как источник света. В настоящее время мы рассматриваем физические свойства плазмы под другим углом зрения - и плазма предстает перед нами в новом облике. Во-первых, это естественное состояние вещества, нагретого до очень высокой температуры, во-вторых, это динамическая система - объект приложения электромагнитных сил. Новые подходы к изучению поведения плазмы органически связаны с большими техническими проблемами, для которых физика служит научным фундаментом. Важнейшие из них - это управляемый термоядерный синтез и магнитогидродинамическое преобразование внутренней энергии в электрическую.

Плазма (греч. plasma) – оформленное.

При очень низких температурах все вещества находятся в твёрдом состоянии. Нагревание вызывает переход вещества из твёрдое в жидкое, а затем и в газообразное….

Для более быстрого и ёмкого восприятия темы процесс возникновения плазмы можно показать на достаточно простом опыте (процесс нагревания):

Пусть в замкнутом сосуде, сделанном из очень тугоплавкого материала, находиться небольшое количество какого-либо вещества. Начнём подогревать сосуд, постепенно повышая его температуру. Если первоначально вещество, содержащееся в сосуде, было в твёрдом состоянии, то в некоторый момент оно начнёт плавиться, а при ещё более высокой температуре испариться и образовавшийся газ равномерно заполнит весь объём. Когда температура достигнет достаточно высокого уровня, все молекулы газа (если это молекулярный газ) диссоциируют, т.е. распадутся на отдельные атомы. В результате в сосуде будет содержаться газообразная смесь элементов, из которых состоит вещество. Атомы этих элементов будут быстро и беспорядочно двигаться, испытывая время от времени столкновения между собой.

Естественно, возникает вопрос: как будут изменяться свойства

вещества, если нагревание продолжиться дальше и температура выйдет за пределы нескольких тысяч градусов? Конечно, при очень высокой температуре изображаемую нами картину нагревания вещества в тугоплавком сосуде можно представить только теоретически, т.к. предел термической стойкости даже самых тугоплавких материалов сравнительно невелик – 3 000 – 4 000 градусов. Допустим, что стенки сосуда способны противостоять сколь угодно высокой температуре, не разрушаясь и не испытывая никаких изменений. Итак, нагревание продолжается. В таком случае уже при 3 000 – 5 000 градусов мы сможем заметить признаки проявления новых процессов, которые будут связаны с изменением свойств самих атомов вещества.

Как известно, каждый атом состоит из положительно заряженного ядра, в котором сосредоточена почти вся масса атома, и электронов, вращающихся вокруг ядра и образующих электронную оболочку атома. Эта оболочка и в особенности её внешний слой, содержащий электроны, сравнительно слабо связанные с ядром, обладают довольно хрупкой структурой. При столкновении атома с какой-либо быстро движущейся частицей один из внешних электронов может быть оторван от атома, который превратиться в положительно заряженный ион. Именно этот процесс ионизации и будет наиболее характерен для рассматриваемой стадии нагревания вещества. При достаточно высокой температуре газ перестаёт быть нейтральным: в нём появляются положительные ионы и свободные электроны, оторванные от атомов.

В условиях, когда нагретое вещество находиться в тепловом равновесии с окружающей средой (в нашем случае со стенками воображаемого идеального сосуда) при температуре в несколько десятков тысяч градусов, подавляющая часть атомов в любом газе ионизирована, и нейтральные атомы практически отсутствуют. Например, при T= 30 000 градусов на 20 000 положительных ионов приходиться всего лишь один нейтральный атом.

Электронная оболочка атома водорода содержит только один электрон, и поэтому с потерей атома ионизация заканчивается. В атомах других элементов электронная оболочка имеет более сложную структуру. В её состав входят электроны, обладающие разной степенью связи с атомом в целом. Электроны, принадлежащие к внешним слоям оболочки, отрываются сравнительно легко. Как уже говорилось выше, при температуре порядка 20 000 – 30 000 градусов почти не должно оставаться примесей нейтральных атомов. Это означает, что можно говорить о полной ионизации газа. Однако это не означает, что процесс ионизации закончился, т.к. положительные ионы в упомянутой области температур сохраняют значительную часть своего «электронного одеяния». Чем больше порядковый номер элемента в периодической системе Менделеева, тем больше число электронов в атоме и тем прочнее связаны электроны внутренних слоёв оболочки с атомным ядром. Поэтому окончательная ионизация тяжёлых элементов только при очень высоких температурах (десятки миллионов градусов). При этом газ остаётся в целом нейтральным, т.к. процессы ионизации не создают избытка в зарядах того или иного знака. Таким образом, при достаточно больших температурах происходит ионизация газа за счёт столкновения быстродвижущихся атомов или молекул.

Далее можно ввести словесное определение понятия «плазма»:

*Плазма – это частично или полностью ионизированный газ, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов практически совпадают, т. е. в целом плазма является электрически нейтральной системой.*

Почти все вещества при постепенном повышении их температуры от абсолютного нуля проходят последовательно следующие состояния: твёрдое, жидкое, газообразное, плазма. И нередко у учащихся складывается ошибочное представление о плазме, как о состоянии вещества при очень высоких температурах, т.е. температурах, при которых происходит термическая диссоциация атомов или молекул газа. Именно этот недостаток следует преодолеть, знакомя учащихся с понятием плазмы. Так, наряду с нагреванием ионизация газа и образование плазмы могут быть вызваны разного рода излучениями или бомбардировкой атомов газа быстрыми заряженными частицами. При этом возникает так называемая *низкотемпературная плазма*.

Теперь, когда введено общее понятие плазмы можно провести небольшой устный опрос – дискуссию, о том, кто как понял, что такое плазма, как можно получить высоко и низкотемпературную плазму и где она встречается в природе (например, молния). При помощи такого приёма учащиеся лучше воспримут данный им ранее материал, и немного отдохнут для последующего объяснения.

**2.3 Свойства плазмы.**

После того, как учащиеся услышали словесное определение понятия «плазма» и как – то, посредством опроса - дискуссии, восприняли это понятие, самое время начать его дополнение и обобщение. Это можно сделать, показывая свойства плазмы.

Плазма обладает рядом специфических свойств, сто позволяет рассматривать её как особое четвёртое состояние вещества.

Из – за большой подвижности заряженные частицы плазмы легко перемещаются, под действием электрических и магнитных полей. Поэтому любое нарушение электрической нейтральности отдельных областей плазмы, вызванное скоплением частиц одного знака заряда, быстро ликвидируется. Возникающие электрические поля перемещают заряженные частицы до тех пор, пока электрическая нейтральность не восстанавливается и электрическое поле не пропадает.

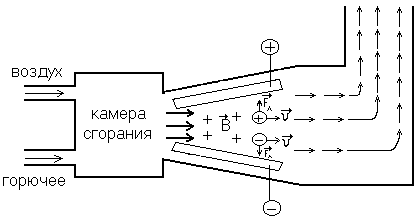
В отличие от нейтрального газа, между молекулами которого существуют короткодействующие силы, между заряженными частицами плазмы действуют кулоновские силы, сравнительно медленно убывающие с расстоянием. Каждая частица взаимодействует сразу со многими окружающими её частицами. Благодаря этому наряду с хаотическим тепловым движением частицы плазмы могут участвовать в разнообразных упорядоченных (коллективных) движениях. В плазме легко возбуждаются колебания и волны.

Плазма обладает высокой проводимостью, которая увеличивается с ростом ионизации. При очень высокой температуре полностью ионизированная плазма по своей проводимости приближается к сверхпроводникам.

**2.4 Применение плазмы.**

Теперь, когда ученики знают, что такое плазма, её свойства и наличие в природе и космическом пространстве, можно говорить о применении плазмы в жизни. Это, в реферативной форме и под руководством преподавателя, может сделать кто - либо из учащихся. А для начала можно дать детям возможность подумать и привести свои примеры применения плазмы.

Плазма находит широкое применение в самых разных областях науки и техники: высокотемпературная плазма из дейтерия и трития, а также изотопа гелия - основной объект исследований по управляемому термоядерному синтезу. Низкотемпературная плазма применяется в газоразрядных источниках света, газовых лазерах и плазменных дисплеях, в термоэмиссионных преобразователях тепловой энергии в электрическую и в магнитогидродинамических генераторах.



Если «обратить» МГД - генератор, то образуется плазменный двигатель, весьма перспективный для длительных космических полетов. Плазмотроны, создающие струи плотной низкотемпературной плазмы, применяются в различных областях техники. В частности, с их помощью режут и сваривают металлы, наносят покрытия. В плазмохимии низкотемпературную плазму используют для получения некоторых химических соединений, которые не удается получить другим путем. Кроме того, высокая температура плазмы обеспечивает высокую скорость протекания химических реакций. Плазма твердого тела - это особая глава в развитии и широчайшем применении физики плазмы. В настоящее время нет такого раздела физики, в котором физика плазмы не играла бы заметной роли.

В конце изложения, для закрепления темы можно прослушать заранее подготовленные учащимися доклады и рефераты по теме.

Изложение темы можно завершить демонстрацией фильма «Плазма – четвёртое состояние вещества».

1. **Перспективы в области изучение плазмы в школьном курсе.**

**Возможные пути для изучения плазмы.**

Как я уже упоминал ранее, объём преподаваемого материала по теме «Плазма» крайне мал, даже по сравнению с тем же материалом за границей. Например, в Оксфордской школе есть небольшая исследовательская лаборатория по исследованию плазмы и её свойств, где учащиеся самостоятельно ставят опыты, занимаются моделированием по данной теме. В процессе изложения широко используются компьютерные технологии, хотя бы для того же контроля за процессами в ходе выполнения лабораторных исследований. К тому же некоторые школы США и Англии связаны с исследовательскими институтами и получают информацию от них.

Я считаю, что тема «Физика плазмы» изложенная более глубоко, в рамках спецкурса по физике, очень заинтересует учащихся, и станет полезной для освоения дальнейших тем курса, таких как «Физика атомного ядра» и последующего обучения в технических ВУЗах.

Предлагаемый ниже материал может быть использован как на уроках физики, так и при проведении специального факультативного курса. Эти материалы можно предложить учащимся после изучения тем «Движение частицы в электрическом и магнитном полях» и «Электрический ток в различных средах».

**Материал для спецкурса по физике по теме «ПЛАЗМА»**

**§ 1. ПОНЯТИЕ О ПЛАЗМЕ КАК О ЧЕТВЕРТОМ СОСТОЯНИИ ВЕЩЕСТВА**

Плазмой называется квазинейтральный ионизованный газ, т.е. частично или полностью ионизованный газ, в котором объемные плотности положительных и отрицательных зарядов практически одинаковы по абсо­лютной величине:



или .



В общем случае можно считать, что плазма представляет собой смесь трех компонентов: свободные электроны, положительные и отрицательные ионы и нейтральные атомы (или молекулы). Например, для водородной плазмы, состоящей из протонов, электронов и нейтронов, объемные плотности зарядов будут вычисляться следующим образом:

и , где



- заряд протона, - заряд электрона, N – количество протонов (электронов) в объёме V, n – концентрация положительных (отрицательных) зарядов. Представление о плазме, как о четвертом агрегатном состоянии вещества, можно сказать, как бы предвосхитили мыслители глубокой древности, которые считали, что мир состоит из четырех простых стихий: земли, воды, воздуха и огня (современная наука говорит о четырех состояниях вещества: твердом, жидком, газообразном и плазменном). Каждое состояние существует в определенном интервале температур. Например, при отрицательных (по Цельсию) температурах вода находится в твердом состоянии (лед), в интервале температур от 0 °С до 100 °С вода является жидкостью, выше 100 °С мы имеем водяной пар (газ), а при значительно более высоких температурах (10 000 °С и выше) атомы и молекулы нейтрального газа теряют часть своих электронов и становятся положительными ионами.



**?** Что такое ***плазма***? Приведите примеры плазмы в природе.

**?** Расскажи о происхождении термина ***плазма***. Что означает биологический термин ***плазма***?

**?** Для чего нужно заниматься физикой ***плазмы***?

**§ 2. СТЕПЕНЬ ИОНИЗАЦИИ ПЛАЗМЫ**

Итак, при сильном нагревании любое вещество испаряется, превращаясь в газ. Если увеличивать температуру и дальше, резко усилится процесс термической ионизации, т.е. молекулы газа начнут распадаться на составляющие их атомы, которые затем превращаются в ионы. Ионизация газа, кроме того, может быть вызвана ударной ионизацией заряженными частицами (например, при электрическом разряде в газе), взаимодействием с электромагнитным излучением (фотоионизация).

Как было уже сказано свыше, 90 % вещества во Вселенной находится в состоянии плазмы, т.е. в виде ионизованного газа, в котором атомы и молекулы диссоциированы на положительные и отрицательные ионы и отрицательные электроны. Эта оценка, возможно, и не является точной, но она, конечно, вполне обоснована, если учесть тот факт, что звезды и их атмосфера, газовые туманности и значительная часть межзвездного газа представляют собой плазму. Что касается непосредственно нашей Земли, то мы сталкиваемся с плазмой, как только выходим за пределы земной атмосферы, - это радиационные пояса и солнечный ветер. Однако в повседневной жизни наши встречи с плазмой ограничиваются всего лишь несколькими примерами: вспышки молнии, мягкое свечение северного сияния, проводящий газ внутри флуоресцентной трубки пли неоновой рекламы и слабоионизованная плазма ракетных факелов. Причину этого можно понять с помощью уравнения Саха, которое позволяет вычислить степень ионизации газа, находящегося в тепловом равновесии.

*Степенью ионизации плазмы называют отношение числа ионизованных атомов к полному их числу в единице объема плазмы: .*



В условиях теплового равновесия она определяется *формулой Саха*:

*. (2.1)*



Здесь , и - концентрация (число частиц в 1 м3) ионизованных и нейтральных атомов соответственно, Г-температура газа в **К**, k - постоянная Больцмана, - энергия ионизации газа, т.е. энергия, необходимая для удаления электрона с внешней электронной оболочки атома. Обычно выражается в процентах, тогда результат, полученный из формулы Саха, необходимо умножить на 100 %. В воздухе при нормальных условиях для азота и эВ



(см. задачу 2.1). Относительная ионизация ничтожно мала:



С ростом температуры степень ионизации остается низкой до тех пор, пока средняя кинетическая энергия молекул газа не станет всего лишь в несколько раз меньше энергии ионизации . После этого, резко возрастает и газ переходит в плазменное состояние. При дальнейшем возрастании температуры концентрация нейтральных частиц становится меньше концентрации ионизованных атомов, и плазма, в конечном счете, оказывается полностью ионизованной. Именно поэтому полностью ионизованная плазма составляет астрономические тела температурой несколько миллионов градусов и отсутствует на Земле.



Термоионизация газа происходит в тех случаях, когда средняя кинетическая энергия молекул газа превышает энергию ионизации: , где



. (2.2)



Нетрудно убедиться, что ионизация газа при тепловых соударениях молекул возможна лишь при очень высоких температурах . Вычисления показывают:



(положим эВ), что .



В зависимости от степени ионизации плазма подразделяется на слабо ионизованную ( составляет доли процента), частично ионизованную ( около нескольких процентов) и полностью ионизированную ( близка к 100 %). Слабо ионизованной плазмой в природных условиях является ионосфера Земли, тлеющий разряд. Во Вселенной слабоионизованная плазма - это солнечный ветер, атмосферы холодных звезд, холодные облака межзвездного газа. Горячие звезды, туманности, солнечная корона и некоторые межзвездные облака - это полностью ионизованная плазма, которая образуется при высокой температуре.



**?** Что называется степенью ионизации?

**?** При каком условии происходит термоионизация газа? Назовите порядок

температуры, при которой происходит термоионизация.

**?** Какое деление плазмы существует по степени ионизации? Приведите примеры.

***Задачи для самостоятельного решения***

**2.1.** Вычислите концентрацию идеального газа при следующих условиях: *а*) при температуре 0 °С и давлении 101 325 Па (эта величина называется числом Лошмидта); *б*) при комнатной температуре (20 °С) и давлении 10~3 мм рт. ст.

**2.2.** Концентрация электронов проводимости в германии при комнатной температуре 3 • 1019 м3. Какую часть составляет число электронов проводимости от общего числа атомов? Плотность германия 5400 кг / м3, молярная масса 0,079 кг / моль.

**2.3.** Используя данные для воздушной среды, с помощью формулы Саха получите степень ионизации воздуха и сравните результат с предлагаемым значением.

**2.4.** Вычислите степень ионизации солнечного ветра, ионосферы Земли (слоя D), солнечной короны, используя необходимые величины из «Приложения».

**§ 3. КОЛЛЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА ПЛАЗМЫ**

Поскольку плазма представляет собой газ, состоящий из заряженных и нейтральных частиц, то она проявляет *коллективные свойства*. Понятие *коллективные свойства* поясним на следующем примере. Рассмотрим силы, действующие на молекулу, скажем, в обычном воздухе. Сразу заметим, что сила гравитационного притяжения пренебрежимо мала по сравнению с силой электромагнитного взаимодействия (см. задачу 3.1). Расчет показывает, что силы взаимодействия (притяжения и отталкивания) действуют между нейтральными молекулами на очень малых расстояниях (Fпр~1/r7, a Fот~1/ r13), где r - расстояние между молекулами, т.е. являются короткодействующими. В случае же плазмы, которая содержит заряженные частицы, ситуация совсем иная. Во время движения заряженных частиц изменяются локальные концентрации положительного и отрицательного зарядов, что приводит к возникновению электрических полей. С движением зарядов связаны также токи и, следовательно, магнитные поля. Эти поля на больших расстояниях могут влиять па движение других заряженных частиц. Например, в плазме из-за более медленного убывания с расстоянием кулоновских сил (~1 / r2) взаимодействие между частицами постоянно влияет на их движение. Таким образом, понятие *коллективные свойства* означает, что в плазме движение частиц определяется не только локальными условиями, но и ее состоянием в удаленных областях.

Однако справедливо это не всегда. Если плазма настолько разрежена, что кулоновское взаимодействие между частицами оказывается значительно меньшим, чем влияние на них внешних электрических и магнитных полей (в космических условиях последние обычно существенны), то плазму можно рассматривать как совокупность отдельных частиц, движение которых определяется внешними полями. В такой плазме обычно не проявляются специфически плазменные коллективные процессы. С другой стороны, если плазма настолько плотная, что частота парных столкновений достаточно велика, или если процессы протекают с характерным временем, значительно превышающим время свободного пробега электрона или иона, то и здесь нет специфически плазменных процессов. В таких случаях плазму можно считать сплошной средой и применять для ее описания магнитогидродинамические уравнения или соотношения.

**?**  Расскажите о понятии *коллективные свойства* на примере

взаимодействия молекул в воздухе и заряженных частиц в плазме.

**?**  При каких условиях плазму можно считать сплошной средой?

***Задача для самостоятельного решения***

**3.1.** Сравните силы гравитационного и электростатического взаимодействия между электроном и протоном. Масса электрона кг, масса протона кг, заряд электрона отрицателен и равен по модулю Кл, заряд протона положителен и равен по модулю заряду электрона.



**§ 4. КВАЗИНЕЙТРАЛЬНОСТЬ ПЛАЗМЫ**

Плазма - это материальная среда, образованная коллективом частиц, которые взаимодействуют друг с другом. Свободные заряженные частицы, особенно электроны, легко перемещаются под действием электрического поля. Поэтому в состоянии равновесия пространственные заряды входящих в состав плазмы отрицательных электронов и положительных ионов должны компенсировать друг друга так, чтобы полное поле внутри плазмы было равно нулю. Именно отсюда вытекает необходимость практически точного равенства концентраций электронов и ионов в плазме - ее квазинейтральность. Нарушение квазинейтральности плазмы связано с разделением зарядов, обусловленным смещением группы электронов относительно ионов. Это должно приводить к возникновению электрических полей, которые стремятся скомпенсировать

созданное возмущение и тут же восстановить квазинейтральность. Поля растут с увеличением концентрации частиц и в случае плотной плазмы могут достигать больших значений.

Для оценки напряженности поля, возникающего при нарушении нейтральности плазмы, предположим, что в некотором объеме произошло полное разделение зарядов

и внутри этого объема остались только заряды одного знака. Электрическое поле в рассматриваемой области определяется соотношением:

, (4.1)



где Х - линейные размеры области смещения. Потенциал плазмы в области разделения зарядов в связи с этим изменится на

, (4.2)



Рассмотрим пример. Пусть полностью ионизованная плазма получена из водорода, находящегося при температуре Т = 300 К и давлении 1 мм рт. ст. В каждом кубическом сантиметре такой плазмы будет по ионов и электронов. Поэтому, если резкое нарушение квазинейтральности произойдет в объеме с характерным размером х, порядка 1 мм, то электрическое поле превзойдет 1012 В / м, и в пределах этого объема возникнет разность потенциалов порядка 109 В. Ясно, что подобное разделение зарядов совершенно нереально. Даже в гораздо более разреженной плазме резкое нарушение квазинейтральности в указанных объемах будет немедленно ликвидироваться возникающими электрическими нолями. Поле будет выталкивать из объема, где произошла декомпенсация зарядов, частицы одного знака и втягивать в эту область частицы противоположного знака. Однако, если выделить в плазме достаточно малый объем, квазинейтральность в нем может и не сохраниться, т.к. поле, созданное избытком частиц одного знака, окажется слишком слабым для того, чтобы существенно повлиять на движение частиц.



Итак, *квазинейтральность* - это приблизительное равенство объемных плотностей положительных и отрицательных зарядов.

**?** Что такое квазинейтральность?

**?** Опишите процессы, происходящие в плазме при нарушении ее нейтральности.

**?** Чем квазинейтральность отличается от истинной нейтральности?

**Задачи для самостоятельного решения**

**4.1.** Получите формулу для напряженности и потенциала электрического поля в рассмотренном в параграфе примере.

**4.2.** Найдите напряженность электрического поля и возникающую разность потенциалов при нарушении квазинейтральности плазмы солнечной короны в объеме с характерным размером 1 м. используя данные, приведенные в «Приложении»

**§ 5. ТЕМПЕРАТУРА ПЛАЗМЫ**

Введение величины Т как температуры плазмы оправдано только тогда, когда средняя кинетическая энергия электронов и ионов одинакова. В общем случае в плазме следует различать по меньшей мере две температуры - электронную Тe и ионную Ti. По аналогии с температурой газа, которая вводится по формуле , можно ввести эти температуры из равенств:



,



В плазме, которая создается в лабораторных условиях или в приборах, Te обычно значительно превосходит Тi. Например, оказывается, что К при К. Различие между Te и Тi, обусловлено громадной разницей в массах электрона и иона. Внешние источники электрического питания, с помощью которых создается плазма (при различных формах разряда в газах),



передают энергию электронной компоненте плазмы, т.к. именно электроны являются носителями тока. Ионы приобретают тепловую энергию в основном в результате столкновений с быстро движущимися электронами. При таких столкновениях относительная доля кинетической энергии электрона, которая может быть передана иону, не должна превышать . Средняя доля энергии, передаваемой при столкновении, еще меньше. Поскольку me<<mi, то электрон должен испытать большое количество (тысячи) столкновений для того, чтобы полностью отдать имеющийся у него излишек энергии. Поскольку параллельно процессам обмена тепловой энергией между электронами и ионами идет процесс приобретения энергии электронами от источников электрического питания и одновременно с этим энергия уходит из плазмы вследствие различных механизмов теплопередачи, при электрическом разряде обычно поддерживается большая разность температур электронов и ионов. Этот перепад, как правило, снижается при увеличении концентрации плазмы, потому что число столкновений между электронами и ионами в заданном объеме плазмы растет пропорционально квадрату концентрации. Итак, такая плазма - это неравновесное, или, как говорят, неизотермическое состояние вещества.



*Высокотемпературная плазма, возникающая в результате термической ионизации, является* ***равновесной****, или* ***изотермической*** *плазмой*. Другими словами, ***изотермическая плазма*** - это плазма, у которой температуры всех компонент равны. Степень ее ионизации очень велика, благодаря чему она является очень хорошим проводником - проводимость высокотемпературной плазмы сопоставима с проводимостью металлов.

***Неизотермической плазмой*** *называется термодинамически неравновесная плазма, в которой средние энергии теплового движения различных сортов частиц (электронов, ионов, атомов) неодинаковы*. Такую плазму нельзя охарактеризовать с помощью одного определенного значения температуры. В неизотермической плазме каждый сорт частиц находится в квазиравновесном состоянии со своим значением температуры.

В зависимости от значения ионной температуры различают *низкотемпературную плазму* (Ti < 105 К) и *высокотемпературную плазму*

(Ti > 107 К).

**?** Когда оправдано введение термина температура плазмы?

**?** Почему оказывается различной ионная и электронная температура?

**?** Какую плазму называют изотермической?

**?** В чем заключается особенность неизотермической плазмы?

**?** Как подразделяют плазму в зависимости от значения ионной

температуры?

**?** Приведите примеры низкотемпературной и высокотемпературной

плазмы.

**Задача для самостоятельного решения**

**5.1.** Вычислите дебаевский радиус экранирования для плазмы гелий-неонового лазера.

**§ 6. ВМОРОЖЕННОСТЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Вмороженность магнитного поля - один из эффектов, характерных для жидких и газообразных сред, обладающих высокой (в идеальном случае - бесконечной) проводимостью СУ и движущихся поперек магнитного поля (например, для жидких металлов и плазмы). В этих условиях силовые линии магнитного поля и частицы среды жестко связаны друг с другом. Можно сказать, что магнитные силовые линии как бы вморожены в среду, перемещаясь вместе с ней.

Вмороженность магнитного поля основана на том, что в идеально проводящей среде индуцируемое ее движением электрическое поле должно быть равно нулю, иначе в соответствии с законом Ома в среде возник бы бесконечный ток, что невозможно. Поэтому в силу закона электромагнитной индукции Фарадея бесконечно проходящая среда не должна пересекать силовые линии магнитного поля. Иначе говоря, магнитный поток Ф *= BΔS* через поверхность *ΔS*, опирающуюся на произвольный контур, движущийся вместе со средой, остается постоянным. Сохранение магнитного потока приводит к тому, что движущиеся поперек магнитного поля частицы среды «тянут» за собой силовые линии магнитного поля, которые, таким образом, «вмораживаются» в среду в процессе ее движения. Вмороженность магнитного поля характерна для сред с высоким магнитным числом Рейнолдса:

, где L и - характерные масштаб и скорость течения среды соответственно, - магнитная вязкость. Если R >> 1, т.е.



то магнитное поле вморожено в среду (например, в плазму). Эти условия обычно выполняются в плазме *солнечного ветра* (большие L), в высокотемпературной плазме (большая)



Вмороженность магнитного поля во многих случаях позволяет, не прибегая к громоздким расчетам, с помощью простых представлений получить качественную картину течения среды и деформации магнитного поля.

**?** Объясните процесс «вмораживания» магнитного

поля в плазму.

**?** При каком условии возможна вмороженность магнитного поля в

плазму?

***Задача для самостоятельного решения***

**6.1.** Вычислите магнитное число Рейнолдса для солнечного ветра, ионосферного слоя Fi, молнии.

**§ 7. МАГНИТНАЯ ГИДРОДИНАМИКА И НЕУСТОЙЧИВОСТЬ**

**ПЛАЗМЫ**

Основными методами теоретического описания плазмы являются: исследование процесса движения отдельных частиц плазмы, магнитогидродинамическое описание плазмы, кинетическое рассмотрение частиц и волн в плазме.

В разреженной плазме кулоновское взаимодействие между частицами оказывается значительно меньшим, чем влияние на них внешних электрических и магнитных полей (пример: плазма в космических условиях). В такой плазме обычно не проявляются специфически плазменные коллективные процессы, и ее можно рассматривать как совокупность отдельных частиц, движение которых определяется внешними полями.

Если концентрация частиц такова, что длины их свободных пробегов малы по сравнению с характерными размерами системы или процессы протекают с характерным временем, значительно превышающим время свободного пробега электрона или иона, то такую плазму можно описывать как сплошную среду с помощью методов обычной гидродинамики. Однако плотная плазма является «проводящей жидкостью», и ее движение, например, во внешнем магнитном поле существенно отличается от движения обычной жидкости. В самом деле:

1) если плазма движется в постоянном магнитном поле, то на ее заряженные частицы действует сила Лоренца;

2) переменное внешнее магнитное поле возбуждает в плазме

индукционные токи, которые сами создают собственное магнитное поле, в свою очередь влияющее на движение. В результате плотная плазма должна описываться совместной системой уравнений гидродинамики и электродинамики, или *магнитогидродинамическими уравнениями или соотношениями.*

Каковы основные результаты такого описания? Поскольку плазма может обладать весьма высокой электропроводностью, то естественно ввести модель идеально проводящей () жидкости. Внешнее магнитное поле не проникает в плазму, ибо иначе в ней индуцировались бы бесконечно большие токи. В результате оно должно оказывать давление. Запишем выражение для магнитного давления, опираясь на формулу для плотности энергии магнитного поля:



(7.1)



Рассмотрим эффект *самостягивающегося разряда*. Если в камере, заполненной газом, происходит электрический разряд, то, во-первых, вследствие джоулевых тепловых потерь происходит ионизация газа и образование плазмы, во-вторых, собственное магнитное поле разрядного тока отрывает образовавшуюся плазму от стенок камеры и сжимает ее в тонкий шнур. Сжатие плазмы возможно, если магнитное давление по порядку величины сравнимо с тепловым давлением вещества плазмы, т.е.



Для магнитного поля прямого тока известна формула:

(7.2)



где I - сила тока, r0 - радиус шнура.

В обычных плазменных экспериментах: I ~ 105 А,

, тогда после подстановки (7.1) в (7.2) получим температуру образовавшегося плазменного шнура:



Неожиданным для исследователей явилось то обстоятельство, что плазменный шнур за чрезвычайно короткое время (~106 с) разрушался. Причина состояла в том, что плазменный шнур находился в состоянии неустойчивого равновесия. Малое внешнее возмущение (изгиб, перетяжка плазменного шнура) приводило к такому локальному изменению собственного магнитного поля тока (а значит, и магнитного давления), которое усиливало отклонение от равновесной конфигурации. Для стабилизации плазменного шнура эффективно и удобно применять сильное продольное магнитное поле. Время удержания плазмы при этом резко возрастает.

**?** На чем основан магнитогидродинамический метод описания плазмы?

**?** Расскажите о физических процессах, проходящих в самостягивающемся

шнуре.

**?** Напишите формулу для магнитного давления.

**?** Чем уравновешивается магнитное сжатие

плазменного шнура?

**?** Почему плазменный шнур недолговечен?

**§ 8. ГАЗОВАЯ (ИДЕАЛЬНАЯ) ПЛАЗМА**

Как было показано в § 5, коллективность плазменных процессов проявляется при выполнении условия ND >> 1, т.е. когда в дебаевской сфере достаточно много электронов, поскольку только электроны, взаимодействуя, образуют общее поле, управляющее их движением. Этому условию можно придать и другой смысл. Внутренняя энергия плазмы состоит из энергии кулоновского взаимодействия и кинетической энергии электронов и ионов.

Среднее расстояние между частицами , энергия кулоновского взаимодействия равна . При ND >> 1 эта энергия существенно меньше энергии теплового движения, приходящейся на отдельную частицу



.



Плазма называется ***идеально****й*, или ***газово***й, *если потенциальная энергия кулоновского взаимодействия двух частиц плазмы, находящихся на среднем расстоянии*  *друг от друга, мала по сравнению с их средней кинетической энергией теплового движения, т.е. Wp << Еk*. Это условие выполняется, если в плазме достаточно велико дебаевское число ND - число частиц одного знака заряда, находящихся внутри сферы радиусом



: ND >> 1. Отличие идеальной плазмы от идеального газа связано только с той важной ролью, которую могут играть в ней коллективные взаимодействия. Термодинамические свойства идеальной плазмы хорошо описываются уравнением состояния идеального газа.



Если условие ND >> 1 не выполнено, что соответствует переходу к большим концентрациям частиц и меньшей температуре, то плазма называется ***неидеальной.***

Плазма большинства космических объектов идеальна (в ионосфере, магнитосфере, солнечном ветре и т.д.), неидеальным является только электронный газ в очень плотном веществе звезд-белых карликов.

**?** Какую плазму называют идеальной?

**?** При каком условии существует идеальная плазма?

**?** В чем заключается отличие идеальной плазмы от идеального газа?

**?** Приведите примеры идеальной и неидеальной плазмы.

***Задачи для самостоятельного решения***

8.1. Проверьте с помощью вычислений, является ли идеальной плазма

ионосферы Земли, солнечного ветра, искры и фотосферы Солнца.

8.2. Идеальна ли плазма солнечного ядра? Проведите расчет.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

*Таблица* /. *Параметры плазмы*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Плазменное состояние | lg Te, K | Te, K | lg Ne, см-3 | Ne, см-3 |
| Внешний радиационный пояс Земли | 1 | 109 | -1 | 0,1 |
| Внутренний радиационный пояс Земли | 8,1 | 108 | 0 | 1 |
| Ионосфера, слой D | 2,2 | 102 | 1,5-3,5 | 102-104 |
| Ионосфера, слой E | 2,2 | 102 | 3,5-5,5 | 104-106 |
| Ионосфера, слой F1 | 2,5 | 103 | 5-6 | 105-106 |
| Ионосфера, слой F2 | 3 | 103 | 5-6 | 105-106 |
| Фотоионосфера Земли (1500-7000) | 3,1-3,8 | 103-104 | 3-4 | 103-104 |
| Солнечный ветер | 6,9 | 107 | 1 | 10 |
| Солнечное ядро | 7,2 | 107 | 25,5 | 1026 |
| Солнечная корона | 6,5 | 107 | 6-9,5 | 106-1010 |
| Фотосфера Солнца | 3,9 | 104 | 13,5 | 1014 |
| Хромосфера Солнца | 3,8-4,2 | 104 | 10,5-12 | 1011-1012 |
| Молния, искра | 4,2 | 104 | 17,5 | 1018 |
| Плазмотрон | 4,5 | 105 | 11,5-12,6 | 1012-1013 |
| Гелий – неоновый лазер | 4,7 | 105 | 11,5 | 1012 |

**** Ионизационные потенциалы определяются наименьшей энергией, которая необходима для отрыва электрона от свободного нейтрального невозбужденного атома (либо второго электрона от ионизированного атома). Ионизационные потенциалы можно измерять или непосредственно, определяя скорость наиболее медленных электронов, которые при ударе ещё ионизируют атом, или, более точно, из границы линий спектральных серий.

*Таблица* 2. *Ионизационные потенциалы различных атомов (эВ)3*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **H**  13,598 | **O+** 35,15 | **Cl**  13,0 | **Co** 7,86 | **Nb** 6,77 | **Cs** 3,89 |
| **He** 24,58 | **O++** 54,94 | **Ar** 15,76 | **Ni** 7,63 | **Mo** 7,18 | **Ba** 5,21 |
| **He+** 54,4 | **F**  17,42 | **K** 4,34 | **Cu** 7,72 | **Tc** 7,1 | **Ba**+ 9,96 |
| **Li**  5,39 | **Ne** 21,65 | **Ca** 6,11 | **Zn** 9,39 | **Ru** 7,5 | **La** 5,61 |
| **Li+** 75,6 | **Na** 5,14 | **Ca+** 11,87 | **Ga** 6,00 | **Rh** 7,7 | **W** 7,98 |
| **Be**  9,32 | **Na+** 47,30 | **Sc** 6,56 | **Ge** 7,88 | **Pd** 8,33 | **Pt** 8,96 |
| **B**  8,30 | **Mg** 7,64 | **Ti**  6,83 | **As** 9,8 | **Ag** 7,57 | **Au** 9,22 |
| **C** 11,27 | **Mg+** 15,03 | **Ti+** 13,58 | **Se** 9,75 | **Cd** 8,99 | **Hg** 10,44 |
| **C+** 24,38 | **Al**  5,38 | **V** 6,74 | **Br** 11,84 | **In** 5,79 | **Tl** 6,11 |
| **C++** 47,87 | **Al+** 18,83 | **Cr**  6,76 | **Kr** 14,00 | **Sn** 7,33 | **Pb** 7,42 |
| **N** 14,54 | **Al++** 28,45 | **Mn** 7,43 | **Rb** 4,18 | **Sb** 8,64 | **Rn** 10,75 |
| **N+** 29,61 | **Si** 8,15 | **Fe** 7,90 | **Sr** 5,69 | **Te** 9,01 | **Ra** 5,28 |
| **N++** 47,43 | **P** 10,6 | **Fe+** 16,18 | **Y** 6,6 | **J** 10,44 |  |
| **O** 13,62 | **S** 10,36 | **Fe++** 30,65 | **Zr** 6,95 | **Xe** 12,13 |  |

**4. Заключение.**

Обобщая всё написанное видно, что в основном формирование понятия плазмы в школьном курсе физики идёт по следующему пути:

а) формирование необходимого уровня знаний, умений и навыков к моменту изучения темы

б) введение понятия «плазма», начиная с его истории.

г) дальнейшие расширения понятия в ходе изучения свойств плазмы и её наличие и связь с природой. Применение плазмы человеком в жизни.

Плюс всевозможные доклады учащихся по теме.

д) Закрепление материала в виде опроса – беседы с классом.

В ходе выполнения данной курсовой работы я использовал множество источников информации, среди которых и учебники физики, начиная от 1988 года и Интернет. Могу отметить, что до примерно 1993 года исследования плазмы в стране, а соответственно и изучение её в школах имели более грандиозные масштабы, особенно по сравнению с сегодняшним днём.

**Используемые источники информации:**

1. Трубников Б. А., Введение в теорию плазмы, М., 1969;
2. Вопросы теории плазмы. Сб., под ред. М. А. Леонтовича, в. 1—7, М., 1963—73.
3. Учебник физики 9 класс, авторы: Б. Б. Буховцев, Ю. Л. Климонтович, Г. Я. Мякишев. 1988 г.
4. Учебник физики 10 класс, авторы: Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский, Г. Я. Мякишев. 2002 г.
5. МПФ в средней школе, С. Я. Шаманш, Э. Е. Эвенчик, В. А. Орлов, и д.р. 1987 г.
6. Преподавание физики. В. П. Орехов, Э. Д. Корж. 1986 г.
7. Методическое пособие «Общие вопросы МПФ» А. Л. Никишина,

Г. П. Каткова, Г. Р. Филиппова. Тольятти 2001 г.

8. Газета «Физика» статья «Изучение плазмы в школе» С. В. Дорожкин,

В. А. Орлов. № 24 2001 г.

9. Сеть Интернет.