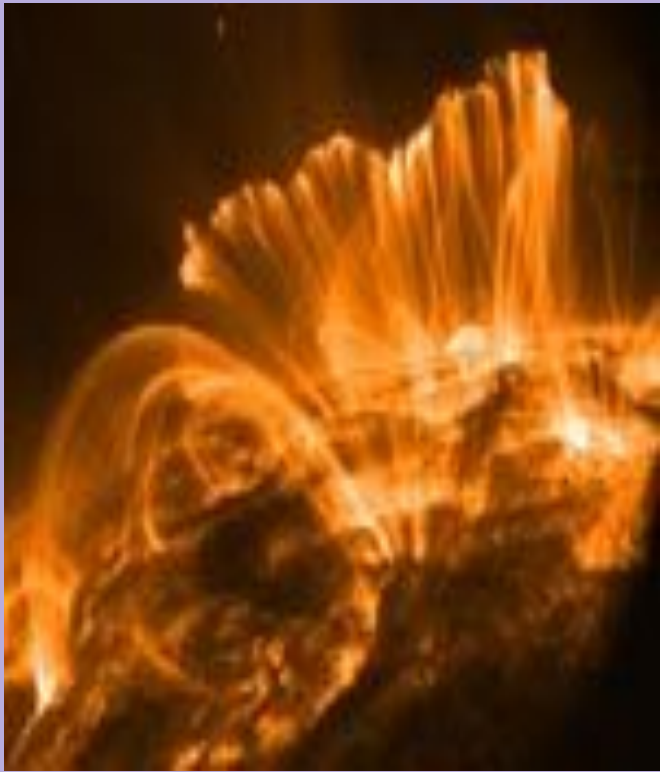


# Плазма



Конспект № 24. Уроки 47-48

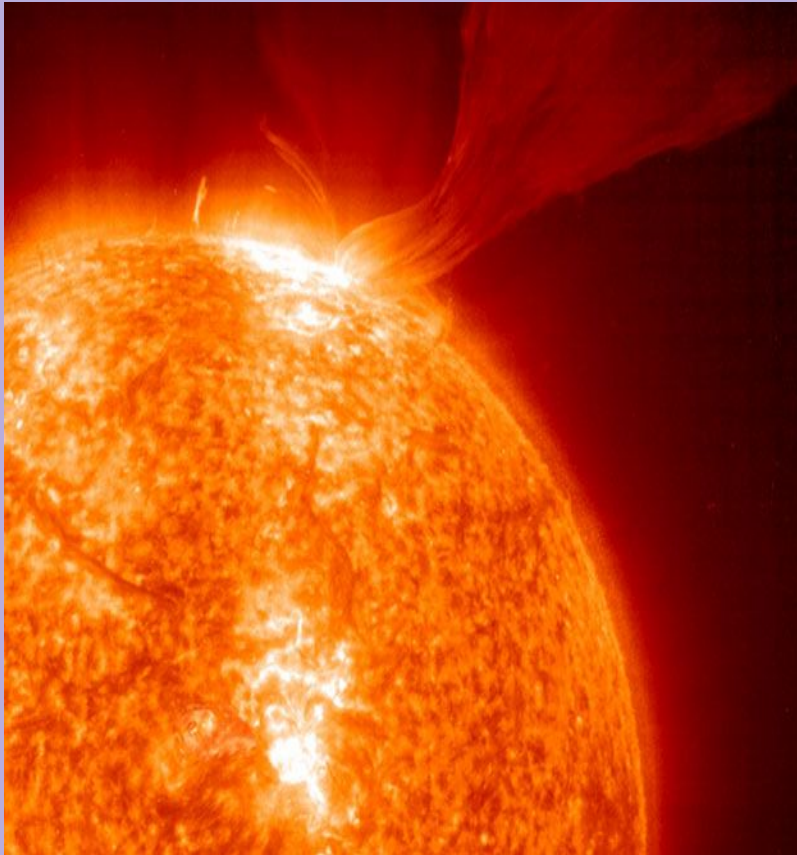
# Что такое плазма?



**Плазма** (от греч. *plásma* — вылепленное, оформленное), частично или полностью **ионизованный газ**, **состоящий из электрически заряженных и нейтральных частиц**, в котором **суммарный электрический заряд равен нулю** (выполнено так называемое условие квазинейтральности ).

Но не каждое скопление частиц можно назвать плазмой, например, пучок электронов, летящих в вакууме, не плазма: он несет только отрицательный заряд.

# Плазма – четвёртое состояние вещества



Еще в глубокой древности мыслители считали, что мир состоит из четырех простых стихий: земли, воды, воздуха и огня. Частично они были правы. Этим стихиям соответствуют твердое, жидкое и газообразное состояния вещества и вещество в состоянии плазмы. **При температурах выше  $10000^{\circ}\text{C}$  все вещества находятся в своем четвертом состоянии - состоянии плазмы.**

# Где встречается плазма?



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.

# УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПЛАЗМЫ

В зависимости от температуры любое вещество изменяет своё состояние. Так, вода при отрицательных температурах находится в твёрдом состоянии, 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. Если любое вещество накаливать до очень высокой температуры или пропускать через него сильный электрический ток, его электроны начинают отрываться от атомов. То, что остается от атомов после отрыва электрона, имеет положительный заряд и называется ионом, сам процесс отрыва электронов от атомов называется ионизацией.

В результате ионизации получается смесь свободных частиц с положительными и отрицательными зарядами. Эту смесь назвали плазмой. При температурах более 1 000 000 °С плазма абсолютно ионизована — она состоит только из электронов и положительных ионов.

# Виды плазмы



Плазма обычно разделяется на идеальную и неидеальную, низкотемпературную и высокотемпературную, равновесную и неравновесную.

Газовую плазму принято разделять на низкотемпературную — до 100 тыс. градусов и высокотемпературную — до 100 млн градусов.

Примером низкотемпературной плазмы является обыкновенный огонь.

# Виды плазмы

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 градусов.

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 градусов).

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

# Характеристики плазмы

**Температура.** Для описания плазмы в физике удобно использовать не температуру, а энергию, выраженную в электрон-вольтах (эВ). Для перевода температуры в эВ можно воспользоваться следующим соотношением:  $1\text{эВ} = 11600$  градусов Кельвина.

**Степень ионизации.** Степень ионизации определяется как отношение числа ионизованных частиц к общему числу частиц. Для низкотемпературных плазм характерны малые степени ионизации (<1 %). Горячая плазма почти всегда полностью ионизована (степень ионизации ~100 %). Обычно именно она понимается под “четвертым агрегатным состоянием вещества”. Примером может служить Солнце.

**Плотность.** Слово **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).

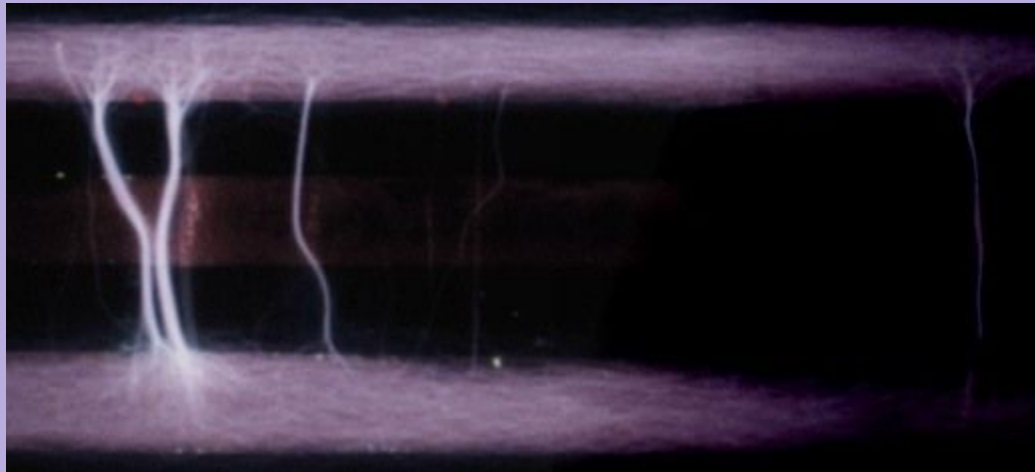
**Квазинейтральность** - плотность отрицательных зарядов с хорошей точностью равна плотности положительных зарядов. Нарушение квазинейтральности ведёт к немедленному появлению сильных электрических полей пространственных зарядов, тут же восстанавливающих квазинейтральность.



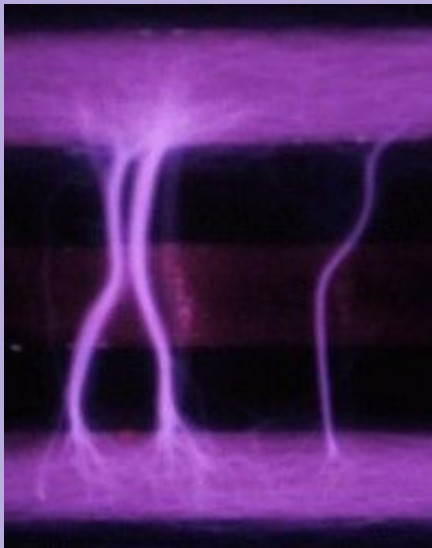
# Особенные свойства плазмы

Присутствие свободных электрических зарядов делает плазму проводящей **ток средой**, что обуславливает её заметно большее (по сравнению с другими агрегатными состояниями вещества) взаимодействие с магнитным и электрическим полями, это **приводит к появлению слоёв и струй**.

**Электроны, ионы и нейтральные частицы** различаются знаком электрического заряда и **могут вести себя независимо друг от друга — иметь разные скорости и даже температуры**, что служит причиной появления новых явлений, например волн и неустойчивостей. **Каждая частица взаимодействует сразу со многими**. Эти коллективные взаимодействия имеют гораздо большее влияние чем двухчастичные (т.е. взаимодействие только между 2 частицами - наиболее часто встречаются в газах).



# История открытия плазмы



Четвёртое состояние вещества было открыто У. Круксом в 1879.

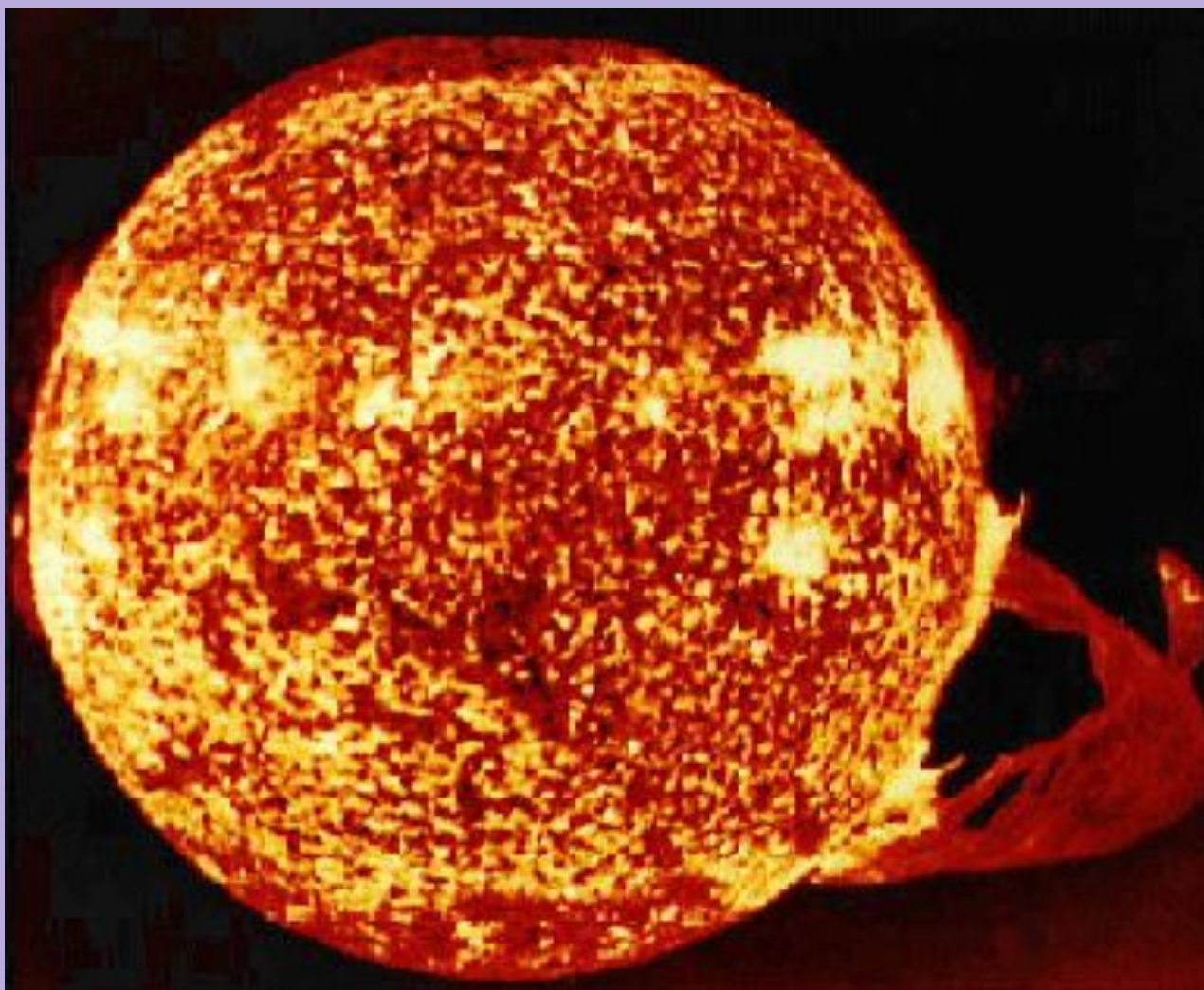
Впервые термин "плазма" , ранее лишь медицинский, был использован в 1923 г. американскими физиками Ленгмюром и Тонксом, которые стали обозначать с его помощью особое состояние ионизированного газа.

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”.

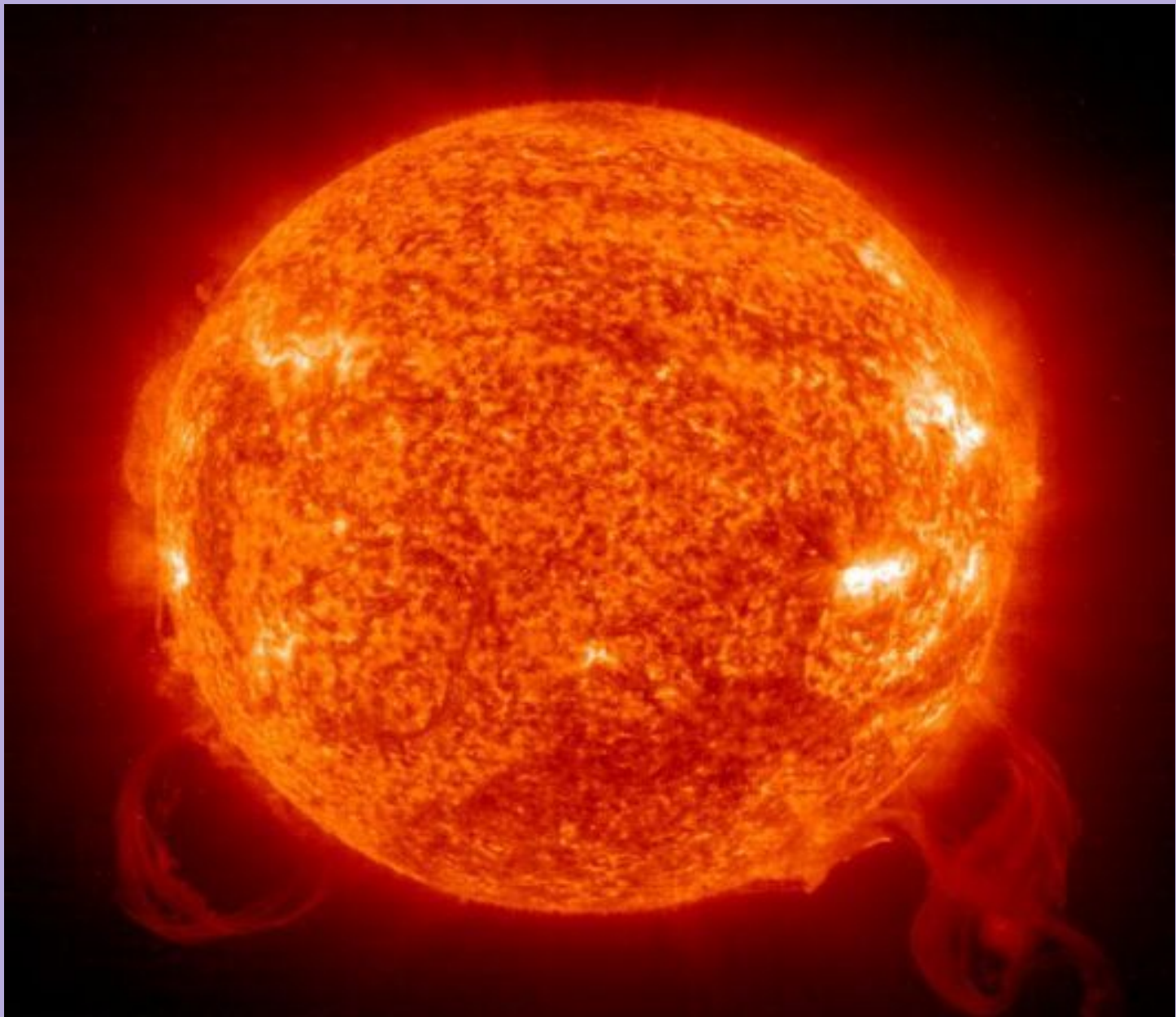
# Солнце и ионосфера Земли

Солнце – громадный шар , состоящий из раскаленной плазмы . С поверхности Солнца непрерывно стекает спокойный поток плазмы – так называемый **солнечный ветер** . Время от времени на поверхности Солнца происходят вспышки . При каждой такой вспышке в космос выплескивается кратковременный поток плазмы . Эти плазменные потоки , достигая атмосферы земли вызывают в ней много замечательных явлений : **полярное сияние , магнитные бури , нарушение радиосвязи** . Дело в том , что и **вокруг Земли есть плазменная оболочка** , только эта оболочка находится высоко . Ведь Солнце наряду с видимым светом посылает невидимые **ультрафиолетовые лучи** . Эти лучи **воздействуют на атомы воздуха и отрывают от них электроны** , т.е. производят **ионизацию** . Так получается , что **верхние слои атмосферы – ионосфера** - состоят из **ионизированного воздуха** , иначе говоря , из плазмы.



Солнце, как и любая звезда, - огромный шар из  
плазмы.





# Ионосфера Земли

**Ионосфера** состоит из смеси газа нейтральных атомов и молекул (в основном кислорода  $O_2$  и азота  $N_2$ ) и квазинейтральной плазмы (число отрицательно заряженных частиц примерно равно числу положительно заряженных). Ионизация становится существенной уже на высоте 60 километров и неуклонно увеличивается с удалением от Земли.

**Структура ионосферы** В зависимости от плотности нейтральных частиц  $N$  в ионосфере выделяются слои  $D$ ,  $E$  и  $F$ .

**Слой D.** Область  $D$  (60-90 км) характеризуется небольшими плотностями, слабой ионизацией и, соответственно, небольшой концентрацией заряженных частиц. Основным ионизирующим фактором этого слоя является рентгеновское излучением Солнца. Ночью ионизация в слое  $D$  резко уменьшается, но не исчезает полностью.

**Слой E.** Область  $E$  (90-120 км) характеризуется более высокими плотностями, ростом концентрации электронов с высотой в дневное время, связанным с поглощением солнечного коротковолнового излучения.

**Слой F.** Областью  $F$  называют всю ионосферу выше 130—140 км. Плотность частиц достигает своего максимума.



**Северное сияние - процессы в ионосфере**

# Использование плазмы

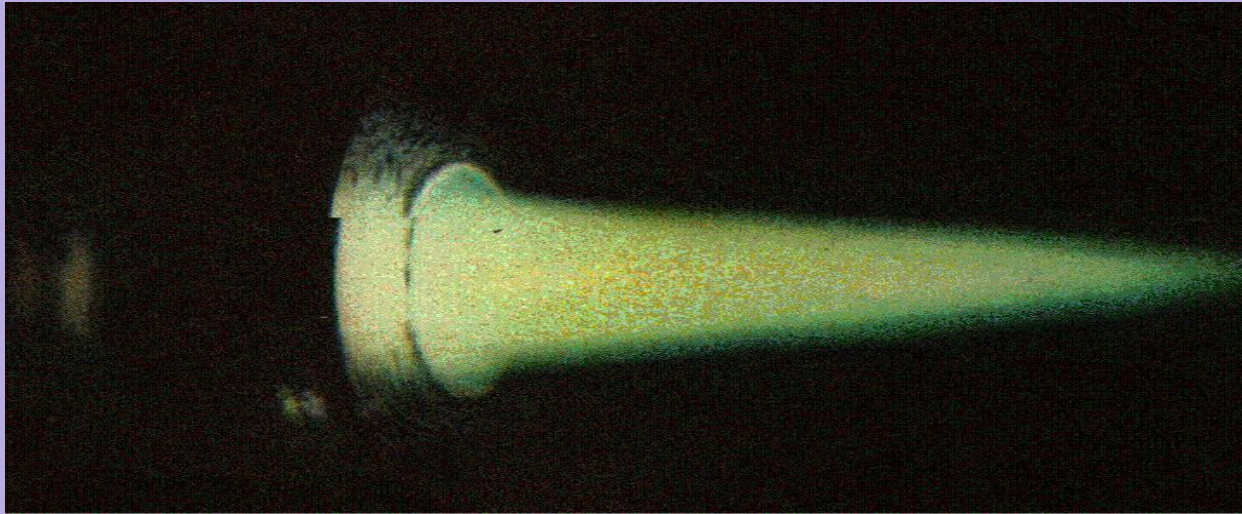
Наиболее широко плазма применяется в светотехнике — **в газоразрядных лампах, освещающих улицы, и лампах дневного света, используемых в помещениях.** А кроме того, в самых разных газоразрядных приборах: **выпрямителях электрического тока, стабилизаторах напряжения, плазменных усилителях и генераторах 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.**

Разрабатываются различные схемы плазменного ускорения заряженных частиц.



# Использование плазмы



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 **горно-рудной промышленности**, и для **резки металлов**. Созданы также **плазменные двигатели**, **магнитогидродинамические электростанции**.

# Центральной задачей физики плазмы является проблема управляемого термоядерного синтеза. Токамак (ТОроидальная КАмера с МАгнитными Катушками)

— это один из вариантов устройства, способного формировать долгоживущую горячую плазму высокой плотности. При достижении определенных параметров плазмы в ней **начинается термоядерная реакция синтеза ядер гелия** из исходного сырья — изотопов водорода (дейтерия и трития). При этом в токамак-реакторе должно вырабатываться существенно больше энергии, чем затрачивается на формирование плазмы. Термин “токамак” был введён русскими физиками **Е.В.Таммом** и **А.Д.Сахаровым** в 50х годах. Первый токамак был разработан под руководством **академика Л.А.Арцимова** в **Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова** в Москве и **продемонстрирован в 1968 в Новосибирске**. В настоящее время токамак считается наиболее перспективным устройством для осуществления управляемого термоядерного синтеза. Токамак представляет по сути **полый тор (бублик), на который намотан проводник, образующий магнитное поле**. Основное магнитное поле в камере-ловушке, содержащей **горячую плазму**, создается тороидальными магнитными катушками.