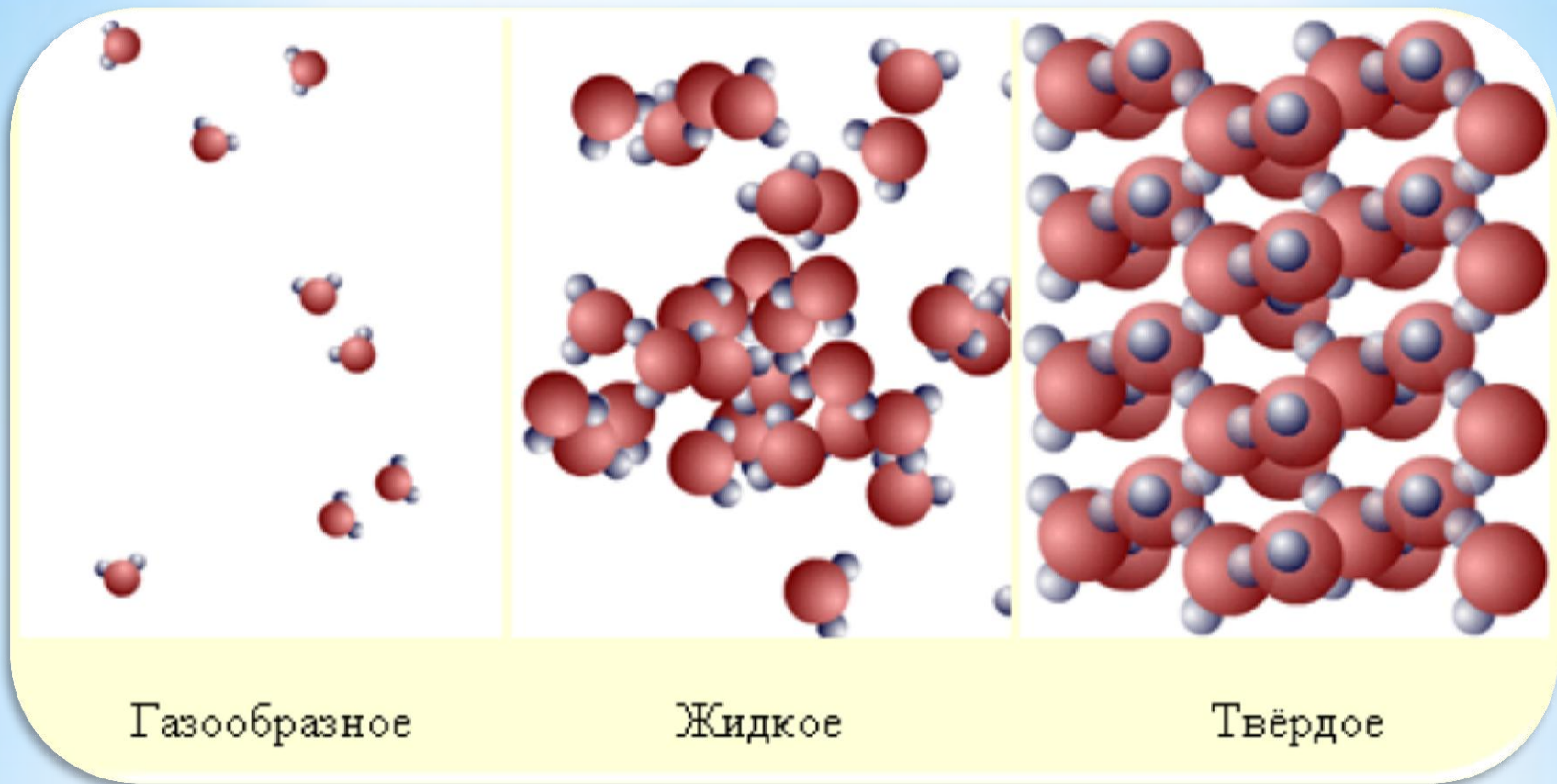


# **Агрегатные состояния вещества**



В зависимости от условий тела могут находиться в жидком, твердом или газообразном состоянии. Эти состояния называются **агрегатными состояниями вещества.**

Переход из одного агрегатного состояния в другое называется **фазовым переходом**.

Переход вещества из твердого состояния в жидкое называется **плавлением**, а температуру, при которой это происходит, – **температурой плавления**.

Переход вещества из жидкого состояния в твердое называется **кристаллизацией**, а температуру перехода – **температурой кристаллизации**.

\* При кристаллизации выделяется такое же количество теплоты, какое поглощается при плавлении.

\* Количество теплоты, которое выделяется при кристаллизации тела либо поглощается телом при плавлении, отнесенное к единице массы тела, называется **удельной теплотой плавления (кристаллизации)  $\lambda$** :

$$Q = \lambda t.$$

Существует особая категория тел – **аморфные тела**, – у которых не имеется определенной температуры плавления (кристаллизации).

\* Переход вещества из жидкого состояния в газообразное называется **парообразованием**.

\* Переход вещества из газообразного состояния в жидкое называется **конденсацией**.

\* Количество теплоты, необходимое для парообразования (выделяющееся при конденсации):

$$Q = Lm$$

\* Парообразование, происходящее с поверхности жидкости, называется **испарением**. Испарение может происходить при любой температуре.

\* Переход жидкости в пар, происходящий по всему объему тела, называется **кипением**, а температуру, при которой жидкость кипит, – **температурой кипения**.

**Сублимация** – это переход вещества из твердого состояния непосредственно в газообразное, минуя жидкую стадию.

\* Если количество молекул, покидающих жидкость, равно количеству молекул, возвращающихся в жидкость, то говорят, что наступило динамическое равновесие между жидкостью и ее паром. Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется **насыщенным**.

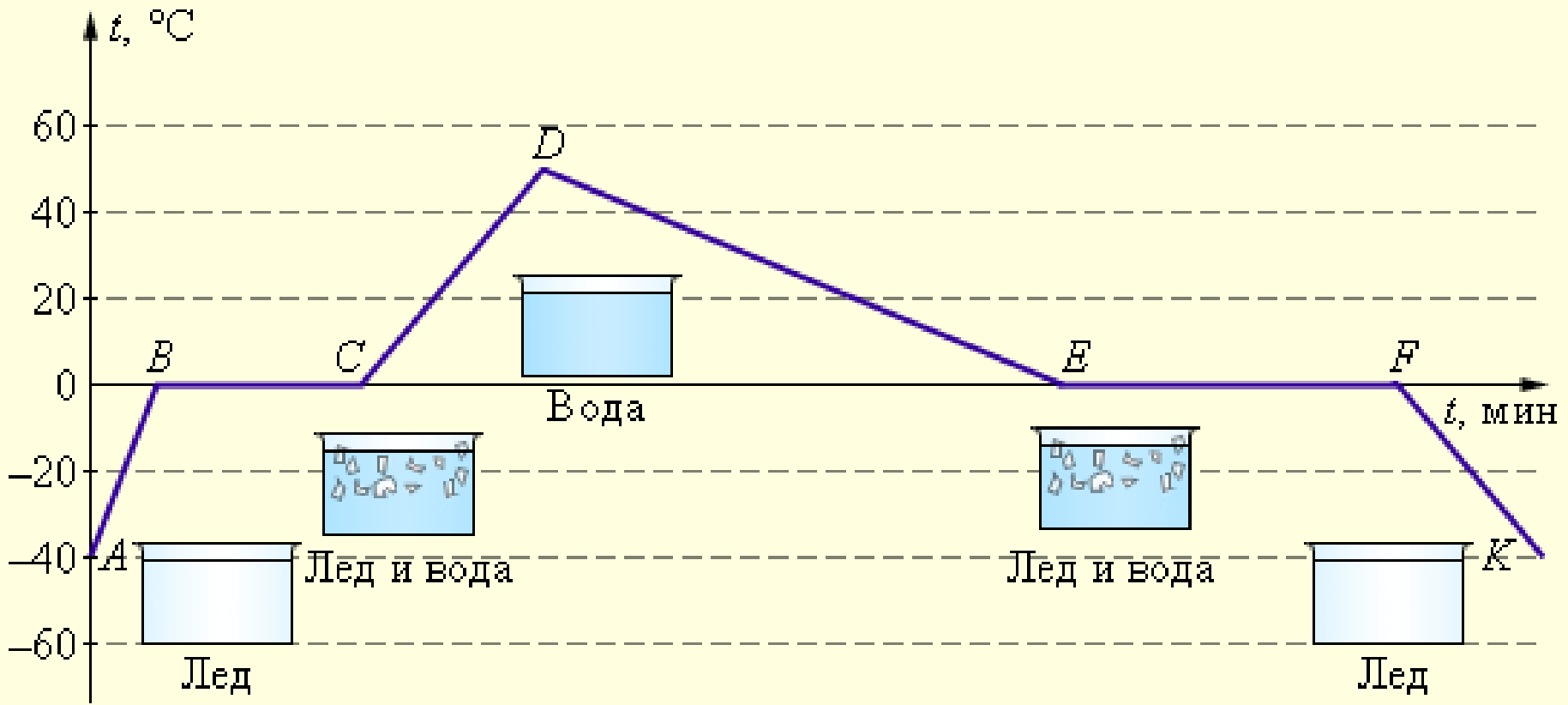
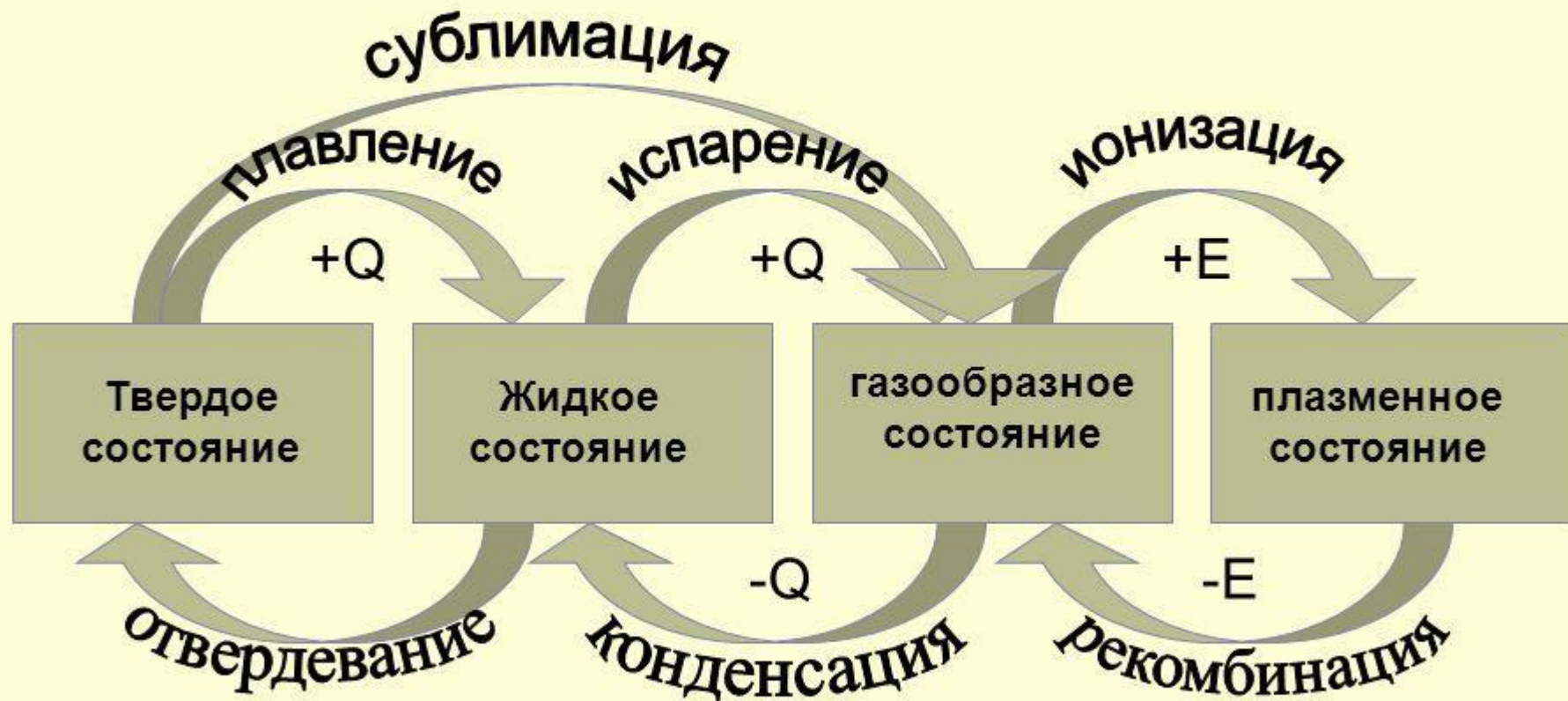


Рис. График плавления и отвердевания кристаллических тел.  $AB$  – нагревание льда,  $BC$  – плавление льда,  $CD$  – нагревание воды,  $DE$  – охлаждение воды,  $EF$  – отвердевание воды,  $FK$  – охлаждение льда

# АГРЕГАТНОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА



**Фазовый переход – переход системы из одного агрегатного состояния в другое**

# Снежинки



*Невозможно  
найти две  
абсолютно  
одинаковые  
снежинки. Они  
все разные и  
строго  
симметричные*

# *Вода*



*«Вода! Ты не просто  
необходима для  
жизни, ты и есть  
сама жизнь!»*

*А.Сент-Экзюпери.*

*«Маленький принц»*

# *Газообразное состояние*

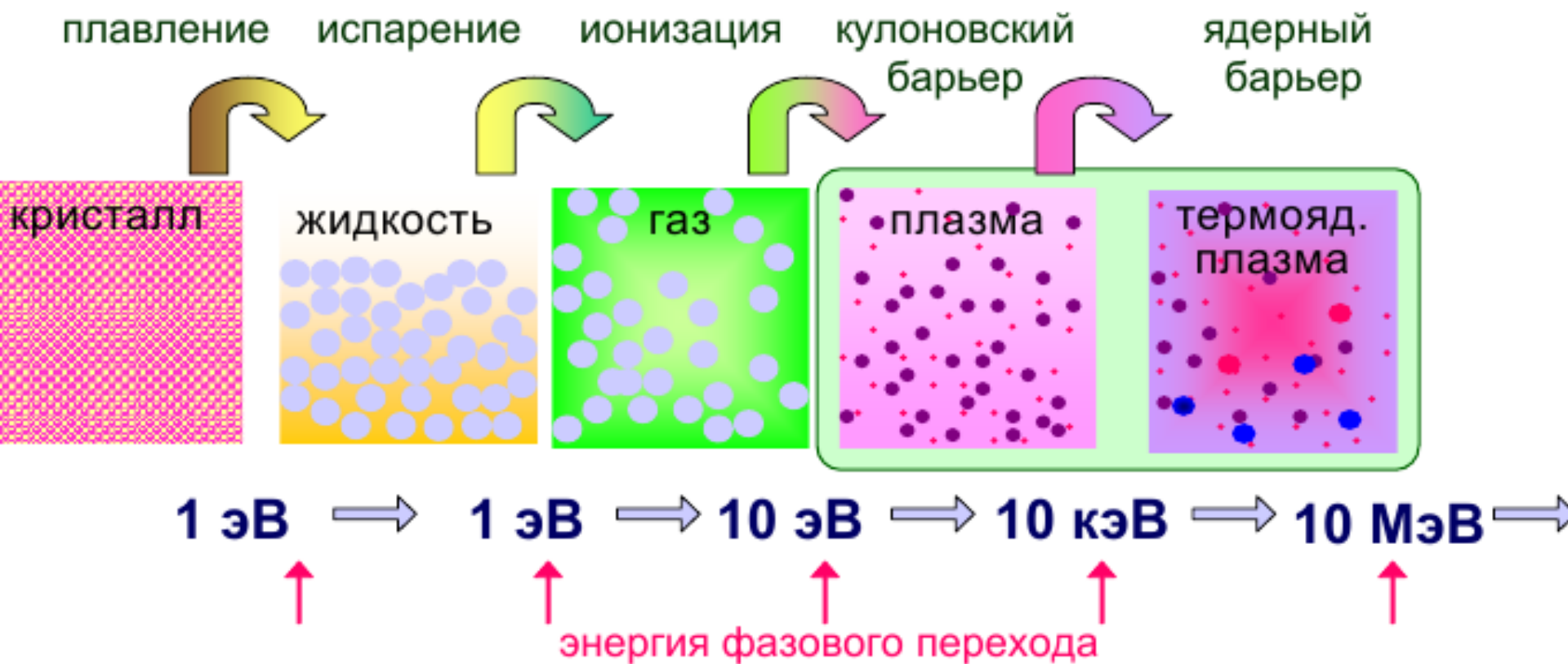


*В глобальных масштабах переход жидкости в пар происходит при испарении воды с поверхности Мирового океана.*

*При этом образуются облака.*

# Четвёртое состояние вещества

Плазма = квазинейтральная среда заряженных частиц



При достаточно сильном нагревании любое вещество испаряется, превращаясь в газ. Если увеличивать температуру и дальше, резко усилится процесс термической ионизации, то есть молекулы газа начнут распадаться на составляющие их атомы, которые затем превращаются в ионы.

# Плазма

Часто причисляемая к агрегатным состояниям вещества плазма отличается от газа большой степенью ионизации атомов.

Большая часть барионного вещества(по массе ок 99,9%) во Вселенной находится в состоянии плазмы.



## **Плазма – это квазинейтральная среда, состоящая из заряженных и нейтральных частиц**

*простые формулы и понятия в красных  
рамочках полезно помнить наизусть*

Слово «**квазинейтральная**» означает, что количество положительных и отрицательных зарядов в единице объёма практически одинаково.

Есть и дополнительные условия, при соблюдении которых данную совокупность частиц можно считать плазмой.

Слово «среда» часто заменяется на слово «газ». Оба варианта не являются идеальными.

# ПЛАЗМА

**Электронейтральная совокупность  
нейтральных и заряженных частиц  
(трехкомпонентная: атомы, ионы,  
электроны)**

**Ионизация – процесс образования  
ионов из атомов  $X+Y \rightarrow X+Y^++e^-$   
( неупругое соударение)**

**Рекомбинация – процесс образования  
атомов из ионов –  $Y^+ + e^- \rightarrow Y$**

\* **Пла́зма** (от греч Πλάσμα «вылепленное», «оформленное») — частично или полностью ионизированный газ, образованный из нейтральных атомов (или молекул) и заряженных частиц (ионов и электронов).

\* Важнейшей особенностью плазмы является ее квазинейтральность, это означает, что объемные плотности положительных и отрицательных заряженных частиц, из которых она образована, оказываются почти одинаковыми.

Философы античности, начиная с Эмпедокла, утверждали, что мир состоит из четырёх стихий: земли, воды, воздуха и огня. Это положение с учётом некоторых допущений укладывается в современное научное представление о четырёх агрегатных состояниях вещества, причем плазме, очевидно, соответствует огонь. Свойства плазмы изучает физика плазмы.

- \* Легко понять, что плазма сохраняет квазинейтральность, лишь если ее линейные размеры по всем измерениям сильно превышают дебаевский радиус.
- \* Стоит отметить, что этот параметр возрастает при нагреве плазмы и падает по мере увеличения ее плотности.
- \* В плазме газовых разрядов по порядку величины он равен 0,1 мм, в земной ионосфере — 1 мм, в солнечном ядре — 0,01 нм.

- \* Слово «ионизированный» означает, что от электронных оболочек значительной части атомов или молекул отделён по крайней мере один электрон.
- \* Слово «квазинейтральный» означает, что, несмотря на наличие свободных зарядов (электронов и ионов), суммарный электрический заряд плазмы приблизительно равен нулю.
- \* Присутствие свободных электрических зарядов делает плазму проводящей средой, что обуславливает её заметно большее (по сравнению с другими агрегатными состояниями вещества) взаимодействие с магнитным и электрическим полями.
- \* Четвёртое состояние вещества было открыто У. Круксом в 1879 году и названо «плазмой» И. Ленгмюром в 1928 году, возможно из-за ассоциации с плазмой крови.

# 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.

# Температура

\* 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:  $1 \text{ эВ} = 11600 \text{ К}$  (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 млн К.

\* Низкотемпературная плазма характеризуется малой степенью ионизации (порядка 1%) и температурой до 100 тысяч градусов . Именно по этому плазму такого рода часто используют в различных технологических процессах (нанесение алмазной пленки на поверхность, изменение смачиваемости вещества, озонирование воды и т.д.).

\* Высокотемпературная или “горячая” плазма обладает практически 100% ионизацией (именно такое состояние и подразумевают под четвертым агрегатным состоянием) и температурой до 100 миллионов градусов.

\* В природе – это звезды.

\* В земных условиях именно высокотемпературная плазма используется для опытов термоядерного синтеза. Контролируемая реакция достаточно сложна и энергозатратна, а вот неконтролируемая достаточно зарекомендовала себя как оружие колоссальной мощности – термоядерная бомба, испытанная СССР 12 августа 1953 года.



# Получение плазмы

- \* Чтобы получить термическим путем полную ионизацию плазмы большинства газов, нужно нагреть их до температур в десятки и даже сотни тысяч градусов.
- \* Общепринятым способом получения плазмы в лабораторных условиях и технике является использование электрического газового разряда. Газовый разряд представляет собой газовый промежуток, к которому приложена разность потенциалов. В промежутке образуются заряженные частицы, которые движутся в электрическом поле, т.е. создают ток. Для поддержания тока в плазме нужно, чтобы отрицательный электрод (катод) испускал в плазму электроны.

# Получение плазмы

- \* Чтобы перевести газ в состояние плазмы, нужно оторвать хотя бы часть электронов от атомов, превратив эти атомы в ионы. Такой отрыв от атомов называют ионизацией. В природе и технике ионизация может производиться различными путями. Самые распространенные из них:
- \* Ионизация тепловой энергией
- \* Ионизация электрическим разрядом.
- \* Ионизация давлением.
- \* Ионизация лазерным излучением.

\* Эмиссию электронов с катода можно обеспечивать различными способами, например нагреванием катода до достаточно высоких температур (термоэмиссия), либо облучением катода каким-либо коротковолновым излучением (рентгеновские лучи,  $\gamma$ -излучение), способным выбивать электроны из металла (фотоэффект).

\* Такой ***разряд, создаваемый внешними источниками, называется несамостоятельным.***

## **\* К самостоятельным разрядам**

относятся искровой, дуговой и тлеющий разряды, которые принципиально отличаются друг от друга по способам образования электронов у катода или в межэлектродном промежутке.

\* Искровой разряд обычно оказывается прерывистым даже при постоянном напряжении на электродах. При его развитии возникают тонкие искровые каналы (стримеры), пронизывающие разрядный промежуток между электродами и заполненные плазмой. Пример одного из наиболее мощных искровых разрядов являет собой молния.

**\* Дуговой разряд** возможен и между тугоплавкими металлическими электродами, с этим связаны многочисленные практические применения плазмы дугового разряда в мощных источниках света, в электродуговых печах для плавки высококачественных сталей, при электросварке металлов, а также в генераторах непрерывной плазменной струи – так называемых плазмотронах.

**\* Температура плазменной струи может достигать при этом 7000–10 000 К.**

\* Различные формы **холодного или тлеющего разряда** создаются в разрядной трубке при низких давлениях и не очень высоких напряжениях.

\* В этом случае катод испускает электроны по механизму так называемой автоэлектронной эмиссии, когда электрическое поле у поверхности катода просто вытягивает электроны из металла.

\* Газоразрядная плазма, простирающаяся от катодного до анодного участков, а некотором расстоянии от катода образует положительный столб, отличающийся от остальных участков разряда относительным постоянством по длине характеризующих его параметров (например, напряженности электрического поля).

\* Светящиеся рекламные трубки, лампы дневного света, покрытые изнутри люминофорами сложного состава, представляют собой многочисленные применения плазмы тлеющего разряда.

\* Тлеющий разряд в плазме молекулярных газов (например, СО и СО<sub>2</sub>) широко используется для создания активной среды газовых лазеров на колебательно-вращательных переходах в молекулах.

\* В наши дни плазма используется в великом множестве технологий. Одни из них известны каждому (газосветные лампы, плазменные дисплеи), другие представляют интерес для узких специалистов (производство сверхпрочных защитных пленочных покрытий, изготовление микрочипов, дезинфекция). Однако наибольшие надежды на плазму возлагают в связи с работами по осуществлению управляемых термоядерных реакций.

\* Чтобы ядра водорода слились в ядра гелия, их надо сблизить на расстояние порядка одной стомиллиардной доли сантиметра — а там уже заработают ядерные силы. Такое сближение возможно лишь при температурах в десятки и сотни миллионов градусов — в этом случае кинетической энергии положительно заряженных ядер хватит для преодоления электростатического отталкивания. Поэтому для управляемого термоядерного синтеза необходима высокотемпературная водородная плазма.

A glowing brain with neural pathways in blue and red, a green highlighted area, and a person's face in the background.

*Спасибо за внимание!*