

§ 35. ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

1. Плавление и кристаллизация
2. Испарение и конденсация

В этом параграфе мы рассмотрим превращения вещества из одного агрегатного состояния в другое.

Мы расскажем также, чем кипение отличается от испарения и почему роса выпадает в предутренние часы.

1. ПЛАВЛЕНИЕ И КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

Переход вещества из кристаллического состояния в жидкое называется *плавлением*.

Обратный процесс, при котором вещество переходит из жидкого состояния в кристаллическое, называется *кристаллизацией* или *отвердеванием*.

Температура плавления

Измерения показывают, что температура тела в течение всего процесса плавления остается постоянной. Эта температура называется *температурой плавления*.

Именно благодаря постоянству температуры в процессе плавления температуру плавления льда (или, что то же самое, температуру замерзания воды) и выбрали в качестве одной из опорных точек температурной шкалы Цельсия.

Температуры плавления для различных веществ могут различаться на тысячи градусов.

Примеры

Как известно, вода замерзает, а лед плавится при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Очень низкие температуры плавления у веществ, которые мы привыкли считать газами: например, водород плавится при $-259\text{ }^{\circ}\text{C}$, а кислород — при $-218\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Железо плавится при $1539\text{ }^{\circ}\text{C}$, а наиболее тугоплавкий металл — вольфрам — имеет температуру плавления $3387\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако всем известен и металл, который остается жидким даже при комнатной температуре, — это ртуть (ее температура плавления равна $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Удельная теплота плавления

Опыт показывает: чтобы расплавить кристаллическое тело, недостаточно только нагреть его до температуры плавления — к нему надо *продолжать* подводить тепло до *полного* превращения в жидкость.

Поскольку в течение всего процесса плавления температура тела остается *постоянной*, можно сделать вывод, что при плавлении средняя кинетическая энергия молекул не изменяется (см. § 28. *Температура и средняя кинетическая энергия молекул*). Следовательно, при плавлении все подводимое к телу тепло идет на увеличение потенциальной энергии молекул.

Количество теплоты Q , необходимое для того чтобы расплавить тело, пропорционально массе m этого тела: $Q = \lambda m$.

Величину λ называют *удельной теплотой плавления*.

Удельная теплота плавления численно равна количеству теплоты, необходимому для того чтобы расплавить 1 кг кристаллического вещества при температуре плавления.

Пример

Чтобы расплавить 1 кг льда, надо затратить примерно такое же количество теплоты, как и для нагревания получившейся в результате таяния воды до 80 °С (хотя при таянии льда его температура остается все время неизменной!).

Вот что писал об удельной теплоте плавления шотландский ученый Дж. Блэк:

«Если бы лед не обладал большой теплотой плавления, весной вся масса льда должна была бы растаять за несколько минут или секунд, так как теплота непрерывно передается льду из воздуха. Последствия этого были бы ужасны; ведь и при существующем положении возникают большие наводнения и сильные потоки воды при таянии больших масс льда и снега».

2. ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ

ИСПАРЕНИЕ

Процесс превращения жидкости в пар называется *парообразованием*.

Если парообразование происходит со свободной поверхности жидкости, оно называется *испарением*.

Испарение происходит при любой температуре: например, вода постепенно «улетучивается» из открытого сосуда, а лужи после дождя высыхают.

Могут ли испаряться твердые тела?

Как известно, замерзшее на морозе белье высыхает: лед испаряется, то есть превращается в пар, минуя жидкое состояние (воду). Можно заметить также, как из твердого состояния в газообразное превращается йод: желтое пятно от йода светлеет и со временем исчезает.

Однако лед и йод не являются исключениями: опыты показывают, что испаряются все твердые тела, но большинство из них испаряется настолько медленно, что мы этого не замечаем.

Почему жидкость при испарении охлаждается?

При испарении из жидкости вылетают наиболее быстрые молекулы: их кинетическая энергия такова, что они могут вырваться из жидкости, несмотря на притяжение других молекул. В результате *средняя* кинетическая энергия оставшихся молекул уменьшается. А так как температура пропорциональна средней кинетической энергии молекул, то жидкость при испарении охлаждается.

Чем быстрее испаряется жидкость, тем сильнее она охлаждается. Потрите руку ваткой, смоченной в воде, а затем — ваткой, смоченной в одеколоне: во втором случае ощущение прохлады будет сильнее, потому что одеколон испаряется быстрее, чем вода.

Всем знакомо ощущение прохлады при выходе из воды после купания. При ветре это ощущение прохлады значительно усиливается, потому что испарение происходит быстрее.

Удельная теплота парообразования

Чтобы температура жидкости при испарении не уменьшалась, надо подводить к жидкости тепло. При этом все подводимое тепло идет на увеличение потенциальной энергии вылетающих из жидкости молекул, то есть на разрыв связей между молекулами.

Количество теплоты Q , необходимое для того чтобы превратить жидкость в пар при постоянной температуре, пропорционально массе m жидкости: $Q = Lm$.

Величина L называется *удельной теплотой парообразования*.

Удельная теплота парообразования численно равна количеству теплоты, необходимому для того чтобы обратить в пар 1 кг жидкости при неизменной температуре.

Пример

Для превращения одного литра воды в пар необходимо затратить столько же энергии, сколько нужно для подъема слона на двадцать этажей. А ведь летом после дождя лужи высыхают менее чем за час!

Процесс, противоположный процессу парообразования, то есть превращение пара в жидкость, называют *конденсацией*. При конденсации теплота не поглощается, а выделяется: при конденсации 1 кг пара выделяется количество теплоты, численно равное L .

Кипение

В жидкости всегда есть маленькие пузырьки воздуха. Жидкость испаряется внутрь этих пузырьков, в результате чего пар внутри пузырьков становится насыщенным. Если давление насыщенного пара меньше давления внутри жидкости (для неглубоких сосудов оно практически равно атмосферному), эти пузырьки не смогут увеличиваться, то есть парообразование будет происходить только со свободной поверхности жидкости.

Однако давление насыщенного пара быстро увеличивается с ростом температуры: ведь чем выше температура, тем больше средняя кинетическая энергия молекул и, следовательно, большая их доля может вырваться из жидкости, преодолев притяжение других молекул. Если нагревать жидкость, то при некоторой температуре давление насыщенного пара станет равным давлению в жидкости (примерно равным атмосферному) и начнется интенсивное испарение жидкости внутрь пузырьков. Наполняясь паром, пузырьки будут быстро расти, подниматься вверх и лопаться на поверхности жидкости. Эта картина хорошо всем знакома — речь идет о *кипении*.

Итак, кипение жидкости происходит при температуре, при которой давление насыщенного пара становится равным внешнему давлению. Эта температура называется *температурой кипения*.

Температура кипения воды при атмосферном давлении равна $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Может ли вода кипеть при температуре, отличной от $100\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Так как давление насыщенного пара с ростом температуры повышается, то, увеличивая внешнее давление, можно повысить и температуру кипения. На этом основано действие кастрюль-скороварок: в них создается давление, которое в 2 раза больше атмосферного, вследствие чего температура кипения повышается до $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это ускоряет приготовление пищи в несколько раз.

При уменьшении же внешнего давления температура кипения понижается. Например, в горах, где давление меньше, чем на уровне моря, вода кипит при температуре ниже $100\text{ }^{\circ}\text{C}$: на высоте 5 км — при температуре $83\text{ }^{\circ}\text{C}$. Так что сварить мясо в горах — непростая задача!

Количество теплоты (Q)

количественная мера ΔU при теплообмене

$$Q = cm(t_2 - t_1) = cm\Delta t$$

при нагревании или
охлаждении

t_2 – конечная t

t_1 – начальная t

$$[c] = [\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}]$$

удельная теплоемкость

$$Q_{\text{п}} = rm \quad Q_{\text{к}} = -rm$$

при парообразовании
или конденсации

$$[r] = [\text{Дж}/\text{кг}]$$

удельная теплота парообразования

$$Q_{\text{пл}} = \lambda m \quad Q_{\text{кр}} = -\lambda m$$

при плавлении
или кристаллизации

$$[\lambda] = [\text{Дж}/\text{кг}]$$

удельная теплота плавления

**(Мы обозначаем удельную теплоту
парообразования L)**