

# ФИЗИКА ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

Лектор: Болегенова Салтанат Алихановна

+7 701 386 97 55

e-mail.: [Saltanat.Bolegenova@kaznu.kz](mailto:Saltanat.Bolegenova@kaznu.kz)

## ВВЕДЕНИЕ

Цель лекции - Основные понятия и определения.

### 1. Понятие явления горения

Обычно принято считать горением всякую быстро протекающую химическую реакцию, сопровождающуюся выделением тепла и света. С этой точки зрения вещества могут "гореть" не только в кислороде. Например, многие металлы "горят" в хлоре, окиси натрия и бария "горят" в углекислом газе, порох горит без участия газовой среды и т.д.

В узком смысле слова горение представляют собой реакцию соединения вещества с кислородом. В большой или меньшей степени все вещества подвержены горению. Медленное окисление также иногда называют медленным горением.

В данном курсе мы будем иметь в виду только процессы, связанные с наличием пламени. Точнее, будем называть горением интенсивные химические реакции, сопровождаемые свечением и тепловыделением.

Процесс горения принадлежит к числу тех немногих явлений природы, открытие которых относится к самому раннему периоду истории человечества. Использование огня положило начало овладению силами природы и во всем дальнейшем развитии цивилизаций играло особую роль в ходе технического процесса.

Значение огня стало особенно велико, когда наряду с его использованием главным образом в чисто технологических производственных целях горение (огонь) стало средством производства механической энергии (работы). Все это привело к той высокой степени энергооборуженности, которое характеризует современное состояние техники.



В средние века вопрос о процессах горения особенно привлекал к себе внимание химиков. В начале XVIII века была сделана попытка объединить все химические факты на основе одной гипотезы, привести их в систему при помощи теории флогистона. Согласно этой теории, все вещества, способные гореть или изменяться от действия огня, содержат особое «вещество огня» – флогистон. Эта теория, которую поддерживали все химики того времени, господствовала в течение целого столетия.

М.В.Ломоносов впервые правильно истолковал горение как соединение горящего вещества с «тяжелыми частицами воздуха» (состав воздуха тогда еще не был известен).

Опытами по нагреванию металлов в запаянных ретортах М.В. Ломоносов в 1753-1760 гг. установил роль воздуха при горении и ложность теории флогистона. После этих опытов, связанных с процессом горения, в 1760 г. он окончательно сформулировал важнейший закон сохранения вещества, который стал основой современной химии.

В 1773 г. А.Лавуазье повторил опыты по прокаливанию металлов и пришел к объяснению горения, как соединения вещества с кислородом, т.е. к основе современных взглядов на явление горения.

С этого момента наши знания о горении продвинулись очень далеко, а в области практики послужили основой к созданию различных процессов сжигания в разнообразных целях и главным образом для производства энергии.

Хорошо известно, что в топках электростанций сжигается твердое, жидкое и газообразное топливо, причем, современные топочные устройства достигли больших мощностей и достаточно высокой степени совершенства в отношении обеспечения максимальной полноты сгорания.

Двигатели внутреннего сгорания, получившие быстрое развитие в последние 100 лет, используют процесс горения газов или парообразных и жидких горючих и составляют энергетическую основу авиационного и автомобильного транспорта. Эффективность возникших в последнее время реактивных аппаратов в еще большей степени зависит от применяемых в этих двигателях методов сжигания топлива. По существу и вся “военная энергетика” – артиллерия, реактивные снаряды, ракеты и другие средства разрушения, основывается на использовании явления сгорания. Широко используется процесс горения и в различных производственных целях – для организации тех или иных химических, металлургических и других процессов, нуждающихся в соответствующих температурных условиях.

Знание свойств и законов горения различных веществ является поэтому очень важным, тем более что в любой области техники в настоящее время ставится задача всемирной интенсификации процессов и экологической чистоты производства.

Всякий процесс горения или разложения веществ является, прежде всего, химическим процессом, поскольку он сопровождается превращением вещества, изменением его качества. Исследование законов соединений и превращений и отыскание необходимых для этого условий составляет содержание химической науки. Средства химии указывают, в каком направлении и как глубоко пройдет та или иная реакция. Однако они ничего не дают для суждения о скоростях превращений. Для этого необходимо знание некоторых новых свойств горючего вещества – его динамических свойств, проявляющихся только в процессе превращения.

При ближайшем рассмотрении этого вопроса оказывается, что во многих случаях, имеющих наибольшее практическое значение, наблюдаемые и используемые нами процессы горения подчиняются в первую очередь чисто физическим закономерностям. Такое положение оказывается следствием того, что химическое превращение как таковое при известных условиях, например, при высокой температуре, может протекать с очень большими скоростями. Развитие химического превращения не происходит обособленно и независимо от реальной физической обстановки и сопровождается различными физическими явлениями, которые развиваются по свойственным им законам. Вследствие этого химический процесс при своем развитии сплошь и рядом оказывается подчиненным таким физическим процессам, как перенос тепла, диффузия и другие и ими регулируется. Иначе говоря, это означает, что *то или иное химическое превращение, обладая очень большими потенциальными возможностями в смысле быстроты его протекания, в действительности характеризуется довольно ограниченной скоростью и, кроме того, подчиняется закономерностям того или иного лимитирующих физических явлений, а не следует чисто кинетическим законам.*

Примером может явиться хотя бы случай горения угольной частицы при достаточно высокой температуре, когда реакционная способность углерода очень высока. В этом

случае скорость горения будет определяться не тем, с какой скоростью мог бы реагировать углерод, а тем, с какой скоростью к угольной частице будет поступать кислород из окружающего пространства. Подача кислорода, например, в покоящемся воздухе может осуществиться только посредством диффузии. Этот чисто физический процесс обладает сравнительно небольшими скоростями, и, именно эти скорости и будут в основном определять скорость сгорания угольной частицы при высокой температуре.

В случае горения газовых смесей также можно найти подобные примеры. При зажигании заранее перемешанной и, следовательно, максимально реакционноспособной холодной газовой смеси посредством, например, искры вблизи нее создается небольшой очаг газового пламени. Чтобы это пламя распространилось дальше по всему объему газовой смеси (холодной), необходимо, очевидно, чтобы из области очага определенное количество тепла передалось в соседние слои газа и нагрело их до нужной температуры. В нормальных условиях передача тепла осуществляется путем теплопроводности, и в этом случае, естественно, скорость сгорания смеси будет характеризоваться величиной, типичной для скорости чисто физического процесса распространения тепла.

Подобных примеров можно привести много, и они ясно указывают на возможно большую роль физических процессов, сопровождающих явление горения.

Все сказанное по этому поводу можно кратко сформулировать следующим образом. Основой процесса горения является химическое превращение (реакция), связанное с тепловыделением. *Химическое превращение в процессе своего развития влечет за частую появление различных физических процессов:* переноса тепла, переноса реагирующих веществ и др.

При прогрессивном развитии и ускорении реакции эти процессы на известной стадии из независимых и второстепенных *становятся ведущими и определяют условия протекания и интенсивность химического превращения*, послужившего причиной их возникновения. В результате горение по своим закономерностям *из качественно чисто химического процесса переходит в процесс в основном качественно чисто физический*, при этом большей частью этот переход от одного качественного состояния к другому происходит довольно резко, скачкообразно. Это обстоятельство следует всегда иметь в виду при анализе явлений горения. Примеров этому мы достаточно много найдем в последующем изложении.

Все это означает, что ***процесс горения*** необходимо в общем случае рассматривать как сложный физико-химический процесс, скорость которого определяется интенсивностью физических и химических явлений и особенностями их взаимодействия.

Отсюда вытекает характер и задачи настоящего курса «Физика горения» как учения о физических процессах и их роли при горении. Такая в основном физическая трактовка процесса горения обладает достаточной полнотой, конкретна и практически оправдана.

## **2. Исторический обзор**

Несмотря на то, что явление горения было открыто человеком очень давно, и имеется большой практический опыт использования его в разнообразных отраслях техники, до сих пор вряд ли можно говорить о физике горения как о вполне сложившемся и цельном учении, объединяющем в едином и логическом изложении всю совокупность разнообразных экспериментальных фактов из области горения газообразных, жидких и твердых веществ.

Основной причиной этого является сложность самой природы процессов горения, сочетающих в себе различные физические и химические явления в их взаимодействии.

Вопросы статистической физики, теплообмена, гидродинамики, а иногда и газодинамики, как мы увидим ниже, имеют самое тесное отношение к физике горения. Естественно, что все эти обстоятельства в значительной степени осложняют изучение и изложение вопроса.

Основоположниками современной теории нормального горения газов являются французские ученые Малляр и Ле-Шателье и русский физик, профессор В.А. Михельсон. Михельсон еще в 1890 году дал глубокий анализ этого процесса в трубах и теорию пламени на горелке Бунзена и теоретически обосновал широко известный сейчас метод измерения нормальных скоростей пламени с помощью горелки.

Не менее важные взгляды были высказаны Михельсоном и по поводу распространения механизма детонации. Несколько лет спустя изложение гидродинамической теории детонации было сделано Чепменом. В работе последнего остался нерешенным важнейший вопрос обоснования того единственного режима, который соответствует наблюдаемому в опыте. Основы к решению этого вопроса содержались, однако, еще в работе Михельсона, и лишь значительно позже они послужили исходным пунктом к решению этой задачи Я.Б.Зельдовичем.

В 1931 году в Ленинграде академиком Н.Н. Семеновым был создан НИИ химической физики, который вскоре перешел в систему АН СССР и стал ведущим институтом Советского Союза. Этим институтом в течение сравнительно небольшого периода (10-15 лет) были проведены весьма важные работы в области изучения процессов воспламенения и горения газов и заложены основы теории основных явлений горения: основы кинетики цепных реакций, теории теплового самовоспламенения, теории распространения нормального горения и пр. Созданная Семеновым теория цепных реакций получила мировое признание и высокую оценку в виде присуждения ее автору Нобелевской премии.

Значительное развитие получила в Советском Союзе разработка физико-химических основ горения твердых горючих, в основном угля, как основы общей теории гетерогенного горения.

Прогрессивно и быстро, особенно в период после второй мировой войны, развивались исследования в области горения за границей. В наибольшей степени это заметно на примере США, где над вопросом горения в настоящее время работают многочисленные НИИ – центры, учебные институты и университеты с большим числом занятых в них квалифицированных кадров физиков, химиков, математиков и техников.

Важным событием для развития горения во всех странах стала организация в США систематических симпозиумов по горению. С 1948 г. эти симпозиумы приобрели международный характер и привлекают большое количество участников из разных стран. Несколько позднее аналогичные симпозиумы (конференции) начали проводиться в СССР. В 1986 г. Всесоюзный симпозиум по горению и взрыву проводился в Алма-Ате, что явилось признанием научной школы по горению, сложившейся в Казахстане. Основоположником этой школы является выдающийся ученый с мировым именем Лев Абрамович Вулис. Его ученики – известные казахстанские ученые: Н.Д.Косов, В.П.Кашкаров, С.И.Исатаев, К.Е.Джаугаштин, Ш.А.Ершин, А.Т.Лукиянов, Л.Ю.Артюх и многие другие – имеют многочисленные труды по физике горения, которые внесли существенный вклад в развитие этой науки. Л.А.Вулисом была создана теория теплового режима горения, внесен большой вклад в развитие теории устойчивости горения, разработан метод эквивалентной задачи теории теплопроводности для расчета диффузионных факелов.

### **3. Виды горения**

Всю обширную область явлений горения можно разделить в основном на две группы:

1. горение газообразных горючих – гомогенное горение (характеризуется системой газ + газ);
2. горение твердых и жидких горючих – гетерогенное горение (системы: твердое тело + газ или жидкость + газ);



В последнее время большое значение приобретает также горение систем жидкость-горючее + жидкость-окислитель, которые также можно отнести к гомогенным системам.

Таким образом, *гомогенное горение можно определить как горение системы, все компоненты которой находятся в одном агрегатном состоянии.*

Рассмотрим, прежде всего, основные закономерности горения газов не только в силу большой их значимости и большей изученности этого процесса, но также и потому, что при горении твердых и жидких топлив всегда может иметь место горение в газовой фазе.

В общем случае газовая система, способная к горению, состоит из веществ двоякого рода – горючего и окислителя, которые в процессе горения или взрыва химически взаимодействуют друг с другом.

Для двухкомпонентных систем в преобладающем числе случаев одной химически активной частью смеси окислителем является кислород (случай горения в узком смысле этого слова), вторая же часть может представлять любую смесь горючих газов. Как та, так и другая части могут, кроме того, могут содержать те или иные негорючие примеси. Например, воздух содержит 79% азота и только 21% кислорода. Для того, чтобы произошло воспламенение или горение, необходимо, очевидно, чтобы еще до этого произошло смешение активных компонентов газовой смеси друг с другом.

Полезно с самого начала представить в связи с этим два типичных примера газовых систем. *Можно перед воспламенением предварительно тщательно перемешать друг с другом горючее и окислитель и создать таким способом вполне однородные начальные условия для процесса.* Назовем такие системы **химически однородными газовыми системами.**



В отличие от этого, *воспламенение можно производить при условии разделенного состояния горючих компонентов в начале процесса.* Воспламенение и сгорание их в этом случае происходит в процессе одновременного перемешивания и сопряжено с более сложными физическими условиями. Назовем такие системы **химически неоднородными.**

Как первая, так и вторая системы в равной мере встречаются в практике технического сжигания газов.

Химический процесс, химическое превращение лежит в основе процессов горения. Необходимо поэтому, прежде чем заниматься собственно процессом горения газов, кратко познакомиться с основами химической кинетики.

**Контрольные вопросы:**

- 1 Что такое процесс горения?
- 2 Приведите примеры горения.
- 3 Какие процессы сопровождают горение?
- 4 Что называют гомогенным горением?
- 5 Горение каких систем можно отнести к гомогенным?
- 6 Какие системы называются однородными газовыми системами?
- 7 Что такое неоднородные газовые системы?