**Занятие № 3 «Фундаментальные опыты в молекулярной физике»**

**Оперативные цели**:

Учащиеся должны планировать эксперимент, выполнять его и интерпретировать результаты в письменной и устной речи; предположительно описывать будущие последствия, вытекающие из имеющихся данных; работать с дополнительной литературой, самостоятельно отбирать нужный материал для выступления.

Формирование и понимание физической картины мира, с точки зрения аспектов молекулярной физики (в устной речи). Аргументирование собственного мнения. Демонстрация приводимых примеров в речи.

Знать (на уровне воспроизведения) имена ученых, поставивших изученные фундаментальные опыты.

Учащиеся должны понимать смысл фундаментальных опытов в молекулярной физике. (интерпретация данных опытов в устной речи).

Выполнять лабораторные работы в классе, проявлять стремление к сотрудничеству в парной работе; умеет трансформировать текстовую информацию в графическую, знаково-символьную.

**План занятия**

1. Теоретическая часть
2. Возникновение атомарной гипотезы строения вещества.
3. Фундаментальные опыты в молекулярной физике

* Опыты Броуна
* Опыт Релея
* Опыт Штерна

1. Практическая часть (демонстрации)

* Модель броуновского движения; (компьютерное моделирование)
* Диффузия
* Кипение воды при пониженном давлении

Лабораторная работа

* Опытная проверка закона Гей-Люссака

*Теоретическая часть занятия*

1. **Возникновение атомарной гипотезы строения вещества**

**Учитель:** Все тела состоят из мельчайших частиц – АТОМОВ, невидимых глазу, двигающихся в пустом пространстве и соединяющихся между собой в разные комбинации

**Ученик:** Слово «атом» — греческого происхождения, и переводится оно «неделимый». Принято считать, что первым идею о том, что кажущаяся гладкой и непрерывной материя на самом деле состоит из великого множества мельчайших и потому невидимых частиц, выдвинул древнегреческий философ Демокрит.

Логика рассуждений Демокрита, если перевести ее на современный язык, была крайне проста. Представим, говорил он, что у нас есть самый острый в мире нож. Берем первый попавшийся под руку материальный объект и разрезаем его пополам, затем одну из получившихся половинок также разрезаем пополам, затем разрезаем пополам одну из получившихся четвертинок и так далее. Рано или поздно, утверждал он, мы получим частицу столь мелкую, что дальнейшему делению на две она не поддается. Это и будет неделимый атом материи.

По представлениям Демокрита атомы были вечными, неизменными и неделимыми. Изменения во Вселенной происходили исключительно из-за изменений в связях между атомами, но не в них самих.

От древнегреческих представлений об атоме на сегодняшний день сохранилось разве что само слово «атом». Теперь мы знаем, что атом состоит из более фундаментальных частиц.

Идея об атомном строении материи так и оставалась чисто философским умопостроением вплоть до начала XIX века, когда сформировались основы химии как науки. Химики первыми и обнаружили, что многие вещества в процессе реакций распадаются на более простые компоненты. Например, вода распадается на водород и кислород.

Первым осмысленную интерпретацию этих фактов предложил Джон Дальтон, чьё имя увековечено в открытом им законе Дальтона. В своих химических опытах он исследовал поведение газов, но этим круг его интересов не ограничивался.

Для Дальтона, как и для Демокрита, атомы оставались неделимыми. В черновиках и книгах Дальтона мы находим рисунки, где атомы представлены в виде шариков. Однако основное положение его работы — что каждому химическому элементу соответствует особый тип атома — легло в основу всей современной химии и физики. Этот факт остается непреложным и теперь, когда мы знаем, что каждый атом сам по себе является сложной структурой и состоит из тяжелого, положительно заряженного ядра и легких, отрицательно заряженных электронов, вращающихся по орбитам вокруг ядра. Но, тем не менее, концепция атома не исчерпала себя и в XXI веке, чтобы понять это, достаточно обратиться к сложностям квантовой механики (Атом Бора и Уравнение Шрёдингера).

1. **Фундаментальные опыты в молекулярной физике**

* **Опыт Броуна**

**Учитель:** в развитие молекулярной физики существенный вклад внес Р. Браун. Роберт Браун (R.Brown), будучи ботаником, обнаружил хаотическое дрожание мелких твердых частиц пыльцы, взвешенных в капле воды.

**Выступление ученика:**

Броуновское движение было открыто ботаником Робертом Брауном (1773–1858) в 1827 году при изучении пыльцы растений. Браун рассматривал в микроскоп каплю воды, в которой находились во взвешенном состоянии мельчайшие частицы пыльцы. Оказалось, что эти частицы участвовали в непрерывном поступательном и вращательном хаотическом движении. Точно такое же движение наблюдалось у микропылинок, находившихся в заполненных водой вакуолях (полостях) внутри обычной частички пыльцы.

Обнаруженное явление озадачило Брауна, поскольку прямых свидетельств о молекулярной структуре вещества и тепловом движении молекул в его времена не было. Движение частиц замедлялось при замене воды на более вязкое вещество, но, все же, никогда не прекращалось. Первая гипотеза Бауна о наблюдаемом явлении была полном смысле слова биологической: он предположил, что наблюдает некую форму жизни внутри растений или даже «активные молекулы» жизни. Однако изучение мертвых растений из гербариев столетней давности показало абсолютно ту же картину хаотического движения с точно такими же параметрами. Между прочим, как заявлял в публикациях сам Браун, хаотическое движение частиц живых организмов и ранее наблюдалось биологами, работавшими с микроскопами, однако последние сразу же заключали, что данное явление и есть «микроскопическая сущность жизни». Лишь Браун установил, что частицы любого, достаточно хорошо измельченного твердого вещества участвуют в хаотическом движении, тем самым вынеся данное явление за пределы биологии. В рамках физики, однако, могли существовать и другие механизмы возникновения броуновского движения, кроме столкновения с молекулами.

Далее, во второй половине XIX века физик А.Ж. Гюи явно сравнил характеристики броуновского движения в доме рядом с большой мостовой (которая создавала волны встрясок) и в тихой деревне, заключив их независимость от данного типа внешних воздействий. Он также впервые обнаружил, что броуновское движение становится более интенсивным при повышении температуры. Рихард Жигмонди — изобретатель [*ультрамикроскопа*](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF), позволяющего дифракционными методами наблюдать объекты, гораздо меньшие длины волны света (т.е. 0,5 мкм) — активно изучал броуновское движение сверхмелких золотых пылинок, уже образующих [*коллоидный раствор*](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80). Как выяснилось, в доступных эксперименту пределах интенсивность движения возрастала с уменьшением размера взвешенных частиц.

В 1881 году польский ученый Бодашевский наблюдал броуновское движение уже в газе, а именно движение частичек пепла, входящих в состав табачного дыма (дым = пепел + водяной пар + углекислый газ + различные пары эфирных смол и другие газообразные вещества).

Максимально близкие к современным взгляды на механизм броуновского движения были впервые высказаны бельгийским ученым Карбонелем: согласно ему, мелкие частицы постоянно и со всех сторон испытывают столкновения с гораздо более легкими молекулами, однако импульс, переданный частице в ходе этих столкновений, равен нулю только в среднем по достаточно большому промежутку времени.  В малых масштабах времени имеет место нескомпенсированность этого импульса, что приводит к движению броуновской частицы. Отсюда же сразу следует, что для более мелких частиц, которые приобретают при тех же столкновениях с молекулами б***о***льшие скорости, а также сталкиваются с меньшим их числом за единицу времени, броуновское движение оказывается более интенсивным. К сказанному стоит добавить известный, но нетривиальный факт: «столкновение» броуновской частицы с отдельной молекулой совсем не похоже на мгновенный отскок мяча от стенки, а длится достаточно долго, на много порядков дольше среднего времени между двумя такими «столкновениями».

Между прочим, не стоит путать броуновское движение с движением пылинок в воздухе, наблюдаемом в тонком луче света. Действительно, если в плотной ширме, которая занавешена комната от прямых солнечных лучей, проделать тонкое отверстие, то на фоне общей темноты будут видны пылинки, пролетающие сквозь проходящий через отверстие луч света. Эти пылинки будут также совершать зигзагообразное беспорядочное движение — и такое движение было описано еще древнеримским философом [Титом Лукрецием Каром](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B8%D1%82_%D0%9B%D1%83%D0%BA%D1%80%D0%B5%D1%86%D0%B8%D0%B9_%D0%9A%D0%B0%D1%80). Тем не менее, это движение связано с флуктуациями температуры воздуха и неравномерным нагревом пылинок в солнечном свете, а не со столкновениями с молекулами, поэтому не может быть названо броуновским. И, конечно же, не следует путать броуновское движение и тепловое движение молекул, несмотря на то, что они подчиняются очень похожим законам.

Трудно переоценить значение открытия Роберта Брауна в молекулярно-кинетической теории, ведь броуновское движение является мостом между наблюдаемым макромиром, где царит механика Ньютона, и миром молекул, погруженным в беспорядочное тепловое движение, поддающееся лишь статистическому описанию. Окончательным этапом в изучении броуновского движения явились его теория, развитая А. Эйнштейном и М. Смолуховским, и опыты Перрена, подтвердившие эту теорию.

* **Опыт Релея**

**Учитель:** еще одним не менее важным фундаментальным опытом в молекулярной физике является [Опыт Дж. Рэлея по определению размеров молекул](http://novmysl.finam.ru/ThermoStat/Ralay_MolSize.html).

**Ученик**: Опыт, поставленный в начале XX века лордом Рэлеем (Джоном Вильямом Страттом, 1842–1919), был предельно простым по содержанию и сделал прорыв в молекулярной физике.

В опытах Рэлея использовалась капля оливкового масла, растекавшаяся по поверхности воды. Интересно, что [липиды](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%BF%D0%B8%D0%B4%D1%8B) — молекулы жиров, в частности, масла — имеют *амфимильную* структуру. Это означает, что одна из частей молекулы смачивается водой (т.е. ее контакт с водой является энергетически выгодным), а другая — не смачивается. Молекулы масла имеют вид голов с двумя или тремя хвостами (см. рис. ниже), причем головы смачиваются водой, а хвосты — нет.    
Это приводит к тому, что на поверхности раздела между водой и маслом молекулы последнего «смотрят» в воду своими головами и капле масла оказывается энергетически выгодным растекаться по поверхности воды.

Растекание продолжается до тех пор, пока поверхность воды не останется покрытой всего лишь одним слоем молекул масла, направленных «головами вниз». В этом случае линейный размер молекул можно оценить как отношение объема исходной капли http://novmysl.finam.ru/ThermoStat/Ralay_MolSize_image002.png к предельной площади масляной пленки http://novmysl.finam.ru/ThermoStat/Ralay_MolSize_image003.png. Здесь, конечно, неявно использовано предположение о том, что каждая молекула в жидкости занимает определенный удельный объем http://novmysl.finam.ru/ThermoStat/Ralay_MolSize_image004.png (http://novmysl.finam.ru/ThermoStat/Ralay_MolSize_image005.png — число молекул), не зависящий от формы, которую приняла жидкость. Хотя в случае мономолекулярного масляного слоя это предположение теряет физический смысл, оно применимо в широком диапазоне условий и, в частности, отражается в несжимаемости жидкости (т.е. независимости ее удельного объема от давления, температуры и формы), имеющей место с высокой точностью.

В опыте Рэлея использовалась капля объемом http://novmysl.finam.ru/ThermoStat/Ralay_MolSize_image006.png, которая была помещена в большой таз с водой и растеклась до пленки площадью http://novmysl.finam.ru/ThermoStat/Ralay_MolSize_image007.png, так что размеры молекул оцениваются равными

http://novmysl.finam.ru/ThermoStat/Ralay_MolSize_image008.png

И, конечно же, как практически любой эксперимент, даже имеющий под собой простое физическое явление, эксперимент Рэлея содержал тонкости, которые делали его убедительным. Одной из них являлся способ, которым Рэлей определял, растеклась ли капля до своего максимального размера или нет. Действительно, визуально отличить двух - или трехмолекулярный слой масла от мономолекулярного очень непросто; с другой стороны, масло может растечься в пленку, внутри которой будет «озеро» из воды, не покрытой маслом. Рэлей элегантно обошел эту трудность, несколько переформулировав экспериментальную процедуру: теперь для заданной площади таза с водой http://novmysl.finam.ru/ThermoStat/Ralay_MolSize_image003.png подбиралась капля *минимального* объема http://novmysl.finam.ru/ThermoStat/Ralay_MolSize_image002.png, способная покрыть всю поверхность воды. Чтобы проверить, действительно ли внутри масляной пленки нет «озер», по прошествии времени растекания капли Рэлей бросал в таз немного частиц камфоры. Это вещество известно тем, что на поверхности воды начинает «плясать», т.е. совершать хаотическое движение, подобное броуновскому, а на поверхности масла — нет. Оказалось, что капли только начиная с определенного объема http://novmysl.finam.ru/ThermoStat/Ralay_MolSize_image002.png были способны покрыть всю поверхность воды — и именно этот объем подставлялся в расчетную формулу для размеров молекул.

Опыт, проведенный Рэлеем, поставил флаг на новой вершине в познании микромира, отметив масштабы расстояний, на которых начинает проявляться дискретность вещества. Следующим этапом на этом пути явилось измерение масс молекул, произведенное Жаном Перреном.

<http://collection.edu.yar.ru/dlrstore/bf224af0-db7c-4fe0-b0f8-783f8a76fdd8/%5BPH10_06-005%5D_%5BPD_18%5D.swf>

* **Опыт Штерна**

**Учитель**: другим, не менее важным опытом в молекулярной физике является опыт Штерна

**Ученик:** Опыт Штерна — опыт, впервые проведённый немецким [физиком](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA) [Отто Штерном](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%82%D1%82%D0%BE_%D0%A8%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD" \o "Отто Штерн) в [1920](http://ru.wikipedia.org/wiki/1920) году. Опыт явился одним из первых практических доказательств состоятельности молекулярно-кинетической теории строения вещества. В нём были непосредственно измерены скорости теплового движения молекул и подтверждено наличие [распределения молекул газов по скоростям](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B0).

Для проведения опыта Штерном был подготовлен прибор, состоящий из двух [цилиндров](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D1%80) разного радиуса, ось которых совпадала и на ней располагалась [платиновая](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B0) проволока с нанесённым слоем [серебра](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B1%D1%80%D0%BE). В пространстве внутри цилиндров посредством непрерывной откачки воздуха поддерживалось достаточно низкое [давление](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5). При пропускании [электрического тока](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%82%D0%BE%D0%BA) через проволоку достигалась [температура плавления](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F) серебра, из-за чего [атомы](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC) начинали испаряться и летели к внутренней поверхности малого цилиндра [равномерно и прямолинейно](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) со скоростью *v*, соответствующей подаваемому на концы нити [напряжению](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D1%80%D1%8F%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5). Во внутреннем цилиндре была проделана узкая щель, через которую атомы могли беспрепятственно пролетать далее. Стенки цилиндров специально охлаждались, что способствовало оседанию попадающих на них атомов. В таком состоянии на внутренней поверхности большого цилиндра образовывалась достаточно чёткая узкая полоса серебряного налёта, расположенная прямо напротив щели малого цилиндра. Затем всю систему начинали вращать с некой достаточно большой [угловой скоростью](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B3%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) *ω*. При этом полоса налёта смещалась в сторону, противоположную направлению вращения, и теряла чёткость. Измерив смещение *s*наиболее тёмной части полосы от её положения, когда система покоилась, Штерн определил время полёта, через которое нашёл скорость движения молекул:

Найденная таким образом скорость движения атомов серебра совпала со скоростью, рассчитанной по законам молекулярно-кинетической теории, а тот факт, что получившаяся полоска была размытой, свидетельствовал в пользу того, что скорости атомов различны и распределены по некоторому закону — [закону распределения Максвелла](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B0): атомы, двигавшиеся быстрее, смещались относительно полосы, полученной в состоянии покоя, на меньшие расстояния, чем те, которые двигались медленнее.

### Учитель: так как у нас выполнить опыт Штерна в условиях нашей лаборатории не является возможным, то давайте посмотрим интерактивную анимацию, иллюстрирующую прямые измерения скоростей теплового движения молекул.

<http://somit.ru/mkt/skorosti2_0.htm>

<http://collection.edu.yar.ru/dlrstore/f1d5d455-4100-4c24-aaa5-8017710bc855/%5BPH10_06-005%5D_%5BIM_04%5D.swf>

*Практическая часть*

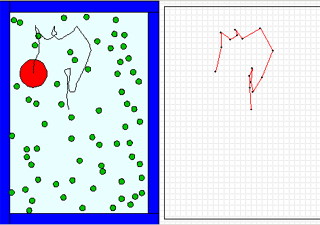
**Модель броуновского движения; (компьютерное моделирование)**

[Броуновское движение](http://www.physics.ru/courses/op25part1/content/chapter3/section/paragraph1/theory.html#2) – это тепловое хаотическое движение мельчайших частиц, взвешенных в жидкости или газе. Броуновские частицы движутся под влиянием беспорядочных ударов молекул.

Молекулярно-кинетическая теория броуновского движения была создана [А. Энштейном](http://www.physics.ru/courses/op25part1/content/scientist/einstein.html). Главный вывод теории состоит в том, что квадрат смещения <*r*2> броуновской частицы от начального положения, усредненный по многим броуновским частицам, пропорционален времени наблюдения (диффузионный закон). При этом сам коэффициент пропорциональности растет при увеличении абсолютной температуры *T*.

Компьютерная модель демонстрирует хаотическое движение броуновской частицы в идеальном двумерном газе. Через равные промежутки времени компьютер определяет координату броуновской частицы и вычисляет квадрат ее смещения из положения равновесия, усредненный по всем предшествующим отсчетам. Через каждые 100 шагов компьютер автоматически переключается на следующую частицу. То же происходит при нажатии кнопки сброс

<http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/3980f9fe-35c1-41cc-b272-f3b59fc5a1d3/8_47.swf>

[](javascript:lsCallExternalApp('StratumStarter.exe','23_brawn%20/open:run%20/stop:edit%20/hidewindows',%20-1,%20true,%20false))

**Учитель**: почему опыты Броуна являются фундаментальными?

**Ученики:** Броуновское движение служит прямым экспериментальным доказательством существования молекул жидкости или газа и хаотического характера их теплового движения.

Следующим опытным основанием молекулярной физической теории является диффузия.

**Демонстрация: Диффузия перманганата калия**

**Оборудование:**колба, шпатель, вода.

**Техника безопасности.** Избегать контакта кожи и слизистых оболочек с кристаллами перманганата калия.

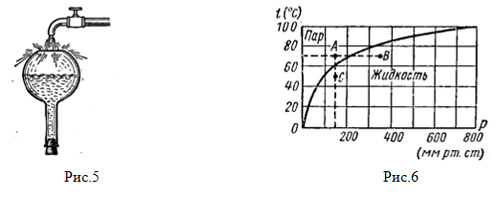
**Ученик:** В жидкостях, как и в газах, частицы вещества (молекулы и ионы) находятся в постоянном движении. Это можно увидеть с помощью ярко окрашенных веществ. Бросим в колбу с водой кристаллики перманганата калия. Фиолетовая окраска, появившаяся вокруг кристаллов, постепенно распространяется по всему сосуду. Распространение вещества — диффузия происходит из-за постоянного беспорядочного  движения частиц.

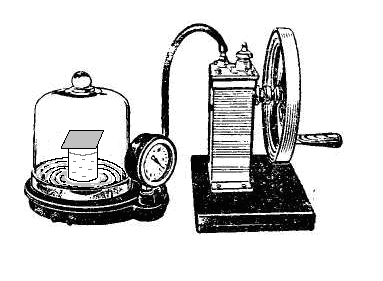
**Видео демонстрация**

**Учитель:** Частицы одного вещества проникают между частицами другого.

Все тела состоят из мельчайших частиц – атомов, невидимых глазу, двигающихся в пустом пространстве и соединяющихся между собой в разные комбинации

**Демонстрация: Кипение воды при пониженном давлении**





**Ученики:** оборудование:насос Комовского, тарелка вакуумная с манометром, колокол стеклянный, тарелка вакуумная с манометром.

Соединить тарелку резиновым шлангом с ниппелем «Разрежение « насоса Комовского установить на тарелку стакан, наливают в него горячую воду (90-95°), накрывают колоколом, откачать воздух и смотрим за показанием манометра.

Температура кипения воды зависит от давления. При уменьшении давления вода закипает при меньшей температуре, чем при нормальном атмосферном давлении

Зависимость температуры кипения от внешнего давления используется:

а) в медицине; б) в жизни; в) в производстве.

а) В медицинских учреждениях в герметически закрытых сосудах – автоклавах t кипения значительно выше 100оС. Автоклавы применяют для стерилизации хирургических инструментов, т.к. не все микробы погибают при 100оС.

б) При подъеме в горы атмосферное давление уменьшается, поэтому уменьшается t кипения. На высоте 7134 м (пик Ленина на Памире) вода кипит при 70оС. Сварить мясо в этих условиях невозможно.

в) Выпаривание сахарного сиропа при пониженном давлении и низкой t в сахарном производстве, чтобы не подгорел сахар.

**Учитель.** При неизменном внешнем давлении температура кипящей жидкости не повышается, даже если продолжать подвод тепла, т. к. подводимая энергия идет на образование пара. Поэтому ожоги паром опаснее, чем кипятком.

**Лабораторная работа: Опытная проверка закона Гей-Люссака**

Перед тем как выполнять лабораторную работу вспомним об изопроцессах.

Изопроцессы — [термодинамические процессы](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81), во время которых количество вещества и ещё одна из физических величин - параметров состояния: [давление](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), [объём](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%8A%D1%91%D0%BC) или [температура](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0) - остаются неизменными. Так, неизменному давлению соответствует [изобарный процесс](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D0%B0%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81), объёму - [изохорный](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BE%D1%85%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81), температуре - [изотермический](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81).

Изобарный процесс (др.-греч. ισος, isos — «одинаковый» + βαρος, baros — «вес») — процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянном давлении

*Р=const*

Зависимость объёма газа от температуры при неизменном давлении была экспериментально исследована в 1802 году Жозефом Луи Гей-Люссаком. [Закон Гей-Люссака](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%93%D0%B5%D0%B9-%D0%9B%D1%8E%D1%81%D1%81%D0%B0%D0%BA%D0%B0): При постоянном давлении и неизменных значениях массы газа и его молярной массы, отношение объёма газа к его абсолютной температуре остаётся постоянным*: V/T = const.*

Изохорный процесс (от греч. хора — занимаемое место) — процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянном объёме ( *V=const*). Для идеальных газов изохорический процесс описывается [законом Шарля](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%A8%D0%B0%D1%80%D0%BB%D1%8F): для данной массы газа при постоянном объёме, давление прямо пропорционально температуре:

Изотермический процесс (от греч. «термос» — тёплый, горячий) — процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянной температуре (*T=const*), (*PV=const*). Изотермический процесс описывается [законом Бойля — Мариотта](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%91%D0%BE%D0%B9%D0%BB%D1%8F_%E2%80%94_%D0%9C%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%BE%D1%82%D1%82%D0%B0):

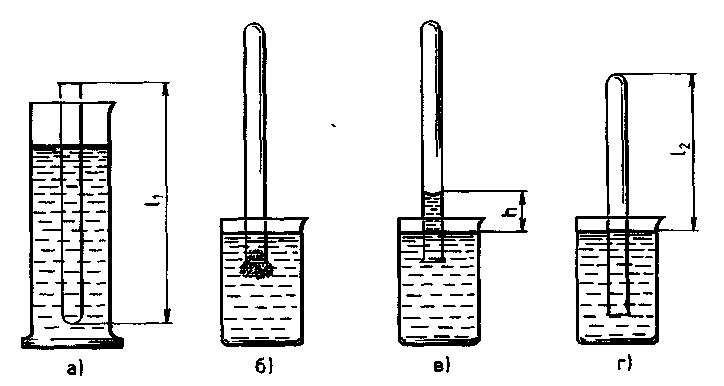
При постоянной температуре и неизменных значениях массы газа и его молярной массы, произведение объёма газа на его давление остаётся постоянным: PV = const.

**Оборудование**: стеклянная трубка, запаянная с одного конца, длиной 600 мм и диаметром 8—10 мм; цилиндрический сосуд высотой 600 мм и диамет­ром 40—50 мм, наполненный горячей водой (t ~ 60 °С); стакан с водой комнатной температуры; пластилин, термометр, линейка.

**Теоретическая часть работы:**

Чтобы проверить закон Гей-Люссака, достаточно изме­рить объем и температуру газа в двух состояниях при по­стоянном давлении и проверить справедливость равенства . Это можно осуществить, используя воздух при атмосферном давлении.

Стеклянная трубка открытым концом вверх помеща­ется на 3—5 мин в цилиндрический сосуд с горячей во­дой (рис. а). В этом случае объем воздуха V1 равен объему стеклянной трубки, а температура — температу­ре горячей воды Т1. Это — первое состояние.



Чтобы при переходе воздуха в следующее состояние его количество не изменилось, открытый конец стеклянной трубки, на­ходящейся в горячей воде, замазывают пластилином. По­сле этого трубку вынимают из сосуда с горячей водой и замазанный конец быстро опускают в стакан с водой ком­натной температуры (рис. б), а затем прямо под во­дой снимают пластилин. По мере охлаждения воздуха в трубке вода в ней будет подниматься. После прекраще­ния подъема воды в трубке (рис. в) объем воздуха в ней станет равным V2<V1, а давление p=paтм—pgh. Что­бы давление воздуха в трубке вновь стало равным атмосферному, необходимо увеличивать глубину погружения трубки в стакан до тех пор, пока уровни воды в трубке и в стакане не выровняются (рис. г). Это будет вто­рое состояние воздуха в трубке при температуре T2 окру­жающего воздуха. Отношение объемов воздуха в трубке в первом и втором состояниях можно заменить отноше­нием высот воздушных столбов в трубке в этих состоя­ниях, если сечение трубки постоянно по всей длине

Поэтому в работе следует сравнить отношения. Длина воздушного столба измеряется линейкой, температура — термометром.

**Подготовка к проведению работы**

1. Подготовьте бланк отчета с таблицей (см. табли­цу) для записи результатов измерений и вычислений

Таблица

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Измерено | | | | | | Вычислено | | | | | |
| l1, мм | l2, мм | t1, °С | t2, °С | Δиl, мм | | Δоl, мм | Δl, мм | Т1, К | Т1, К | ΔиТ, К | ΔоТ, К |
| Вычислено | | | | | | | |  |  |  |  |
| ΔТ, К | l1/l2 | ε1, % | Δ1 | T1/T2 | ε2, % | | Δ2 |  |  |  |  |

2. Подготовьте стакан с водой комнатной температуры и сосуд с горячей водой.

**Проведение эксперимента, обработка результатов**

1. Измерьте длину l1 стеклянной трубки и температу­ру воды в цилиндрическом сосуде.

2. Приведите воздух в трубке во второе состояние так, как об этом рассказано выше. Измерьте длину 12 воздушно­го столба в трубке и температуру окружающего воздуха Т2.

3. Вычислите отношения l1/l2 и T1/T2, относительные (ε1 и ε2) и абсолютные (Δ1 и Δ2) погрешности измерений этих отношений по формулам





4. Сравните отношения l1/l2 и T1/T2.

5. Сделайте вывод о справедливости закона Гей-Люссака.

**Контрольные вопросы**

1. Почему после погружения стеклянной трубки в ста­кан с водой комнатной температуры и после снятия пла­стилина вода в трубке поднимается?

2. Почему при равенстве уровней воды в стакане и в трубке давление воздуха в трубке равно атмосферному?

<http://barsic.spbu.ru/www/lab_dhtml/common/index.html>

Виртуальная лабораторная работа по физике