

**ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И
ТВОРЧЕСКИХ РАБОТ МОЛОДЁЖИ
«МЕНЯ ОЦЕНЯТ В XXI ВЕКЕ»**

Направление: Физика

Тема: «Эффузия газов»

**Соискатель:
Старых Кирилл Романович
Научный руководитель:
Ягубянец Ирина Владимировна
Место выполнения работы:
Г. Ярославль**

Оглавление	2
1. Введение.....	3
2. Эффузия.....	4-5
3. Виды эффузии.....	5
4. Закон Грэма.....	6
5. Томас Грэм.....	6
6. Эффузия в разреженных газах и вакууме.....	7-8
а) Виды вакуума и его применение	
7. Эффузия и молекулярные пучки.....	8
8. Применение эффузии.....	9
9. Практическая часть.....	12
10. Заключение.....	12
Список литературы.....	13

1. Введение.

Физика-основа техники. Техника непрерывно совершенствуется. Мы привыкли к тому, что на орбите Земли постоянно находятся космические корабли, в которых живут люди. Работа на орбите может длиться несколько месяцев. Космонавты трудятся, исследуют космическое пространство. Космический корабль – замкнутый объект. Внутри него воздух, которым дышат исследователи, его надо восполнять, потому, что газ вытекает через обшивку корабля. Задав вопрос учителю физики, узнал, что это происходит из-за эффузии газов. Меня заинтересовала эта тема. Я решил разобраться в ней подробнее.

Цель: Ознакомиться с физическим явлением эффузия газов.

Задачи:

1. Прочитать литературу по данной теме
2. Узнать, что такое эффузия
3. Рассмотреть виды эффузии
4. Выяснить, где встречается это явление, его применение.
5. При выполнении практической части убедиться в справедливости закона Грэма.

Гипотеза: создать модель эффузии в обычных условиях.

Объект исследования: явление эффузии в газах.

Методы исследования: сбор и обработка информации по теме, выполнение практической части.

2. Эффузия.

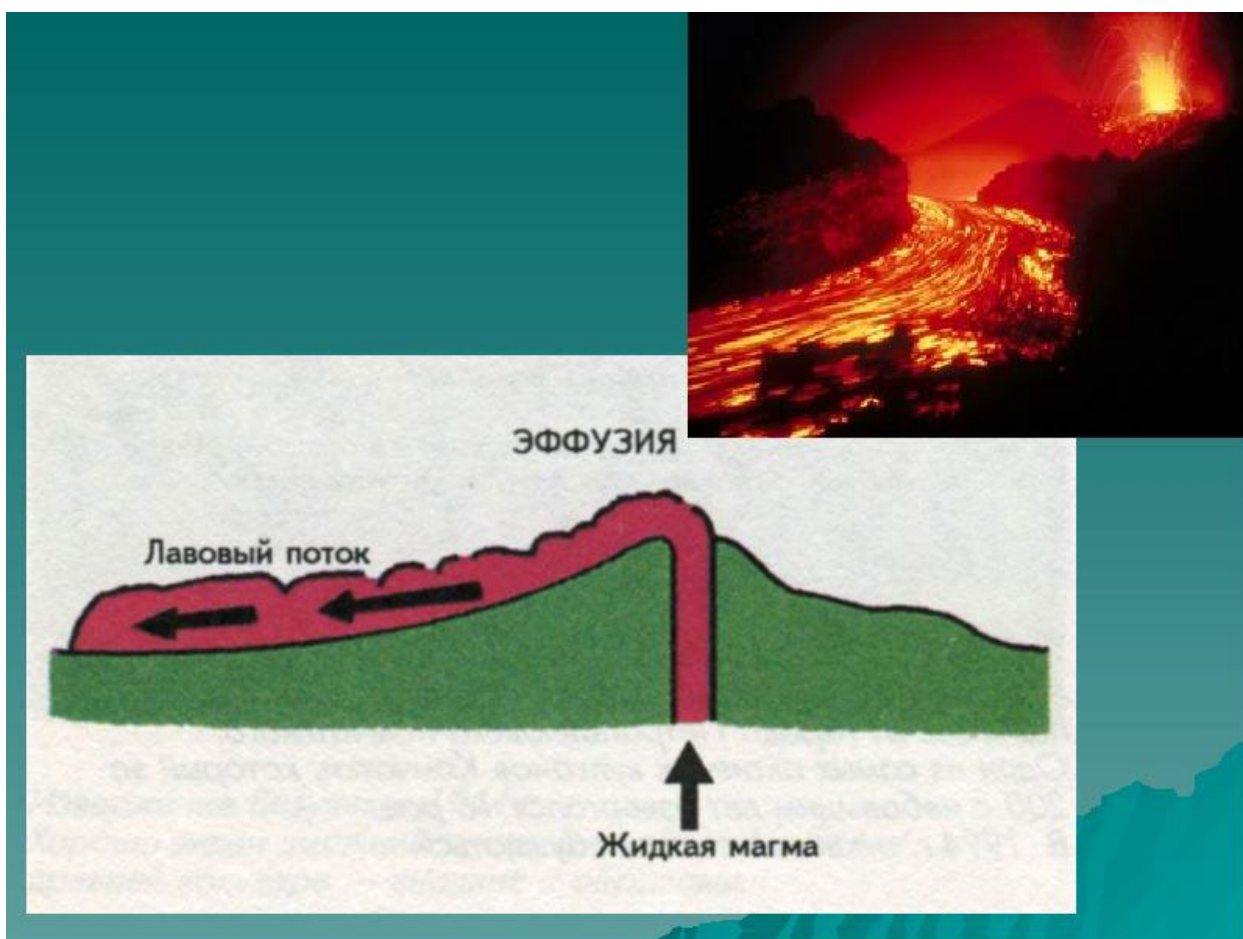
Эффузия (от лат. *effusio* - разлитие, растекание) – это процесс медленного истечения газов через маленькие (часто микроскопические) отверстия.

Исследования данного явления проводились еще в первой половине 19 века шотландским ученым Томасом Грэмом.

Процесс истечения газа через относительно малые отверстия в результате теплового движения молекул, получивший название эффузия, часто встречается в природе и технике.

Эффузия так же встречается и при извержении вулканов, с ее тремя видами:

- 1) Эффузия латеральная — излияние лавы из кратеров, расположенных на склонах вулкана в удалении от главного кратера.
- 2) Эффузия субтерминальная — излияние лавы, происходящее из выводного канала, расположенного на внешнем склоне центрального вулкана, недалеко от главного кратера
- 3) Эффузия терминальная — излияние лавы из вершинного кратера.



С появлением летательных аппаратов, предназначенных для полетов в разреженных слоях атмосферы и в условиях космического вакуума, на передний план вышла проблема возможной разгерметизации жилых отсеков в результате различных аварий, браков, деградации сварных швов, столкновений с метеоритами, частицами космического мусора и т.д. В качестве примера можно привести разгерметизацию космического корабля

«Союз-11» в 1971 году в результате повреждения вентиляционного клапана, что повлекло за собой гибель экипажа. Другой пример – авария на орбитальной станции

«Мир» в 1997 году. Тогда удалось изолировать поврежденный модуль станции. Появлению больших течей часто предшествуют малые течи, которые труднее поддаются диагностике. Истечение воздуха сквозь материалы космического корабля приходится учитывать при планировании длительных полётов: так возобновление запасов воздуха на борту Международной космической станции производится при помощи транспортных грузовых кораблей «Прогресс».

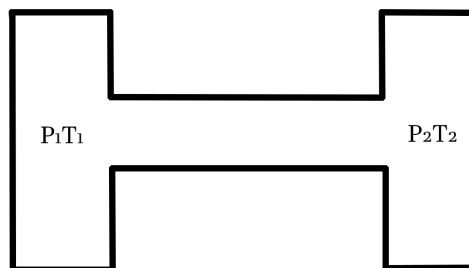
3. Виды эффузии.

Различают два вида эффузии:

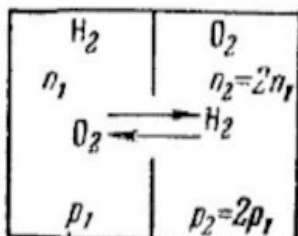
Диаметр отверстия мал по сравнению со средней длиной свободного пробега молекул (давление газа в сосуде очень мало). В этом случае имеет место молекулярное истечение, при котором столкновения между молекулами не играют роли.

Наблюдается явление перетекания газов при одинаковых давлениях разряженного газа через поры (малые отверстия), от низкой к более высокой температуре.

1) **Тепловая эффузия** наблюдается, когда при равенстве давлений в обеих частях сосуда, в условиях вакуума давление больше в той части сосуда, у которой температура стенок больше. $P_1/P_2 = n_1/n_2 = \sqrt{T_2} = \sqrt{T_1}$. (где P-плотность газа, n- концентрация газа, T-температура)

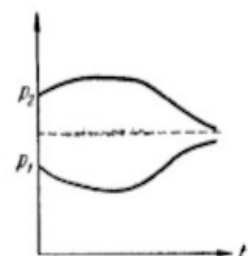


2) Когда давление газа настолько велико, что средняя длина свободного пробега молекул меньше диаметра отверстия, истечение газа происходит по законам гидродинамики. Вместо выравнивания давлений эффузионные потоки приведут к возрастанию различия в давлениях, называемой **изотермической эффузией**.



Условие равновесия

$$n_1 \bar{v}_1 = n_2 \bar{v}_2.$$



$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}, \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{n_1 k T_1}{n_2 k T_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

4. Закон Грэма.

Закон об относительной скорости истечения разных газов через пористую поверхность или искусственную мембрану при одинаковых условиях, открыт в 1829 году шотландским химиком Томасом Грэмом.

$r \cdot \sqrt{M} = k$, где k - константа.

Чем меньше относительная молекулярная масса газа, тем выше скорость эффузии.

Как следует из уравнения состояния идеального газа, при постоянных температуре и давлении плотность газа пропорциональна его молярной массе M . Исходя из этого, можно переписать уравнение закона Грэма для двух разных газов следующим образом:

$r_1/r_2 = \sqrt{M_2}/\sqrt{M_1}$ - где r_1 и r_2 — скорости истечения первого и второго газов соответственно, M_1 и M_2 — их молярные массы.

Закон Грэма нашел применение и при конструировании космических кораблей, предназначенных для длительного нахождения человека в космосе. Корабль, конечно, отличается от воздушного шарика, но с течением времени воздух будет просачиваться через материал, из которого сделан корпус, так же, как он просачивается через оболочку шарика. Следует придумать способ получения газов прямо на борту корабля, чтобы компенсировать потери в безвоздушное пространство.

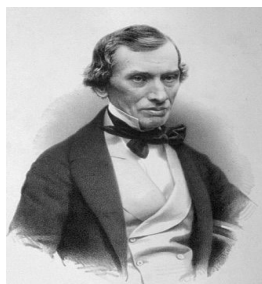
Скорость эффузии газа обратно пропорциональна корню квадратному из молярной массы (массы его молекул).

$M = M_r \cdot 10^{-3}$ используется для расчёта молярной массы (где M – молярная масса, M_r – относительная молекулярная масса, 10^{-3} – коэффициент для перевода в единицы измерения молярной массы).

Чем меньше плотность идеального газа, тем больше скорость его истечения через микроскопические отверстия в стенках сосуда.

5. Томас Грэм.

Томас Грэм родился в Глазго, Шотландия в 1805 году. Стал в 1819 году студентом университета Глазго. Там в нём проснулся сильный интерес к химии. В 1826 году, после получения степени магистра искусств, он покинул университет. Впоследствии работал в различных колледжах и университетах. Последние 15 лет жизни (1854—1869) Грэм занимает должность директора Монетного двора. В 1836 году Лондонское королевское общество наградило учёного одной из своих высших наград — Королевской медалью. Изучение процессов диффузии привело к открытию газового закона, согласно которому скорость эффузии газа обратно пропорциональна квадратному корню его молярной массы (закон Грэма).



6. Эффузия в разреженных газах и вакууме.

а) разреженные газы.

Разреженным называют газ, находящийся при очень низком давлении. Условие равновесия для разреженного газа существенно отличается от условия равновесия для не разреженного газа, длина свободного пробега молекул которого много меньше характерного размера отверстия в перегородке сосуда. Для не разреженного газа равновесие наступает при равенстве давлений в обеих частях сосуда.

б) вакуум

Соотношение между длиной свободного пробега молекул газа λ и характерным размером среды d , называют вакуумом.

Виды вакуума:

1. Космический вакуум можно определять как пустоту, в которой отсутствуют все частицы материи в виде твердых тел, жидкостей или газов и которая свободна от всех тепловых и других видов излучения в холодной пустоте (при абсолютном нуле) 0 К-кельвинов.

Космический вакуум отличается от лабораторного огромным разнообразием физических условий и явлений, важнейшими из которых являются, в частности:

- низкая концентрация газовых частиц в космосе;
- разнообразные массы и скорости частиц в широких интервалах;
- изменения скоростей и концентраций частиц;
- низкий коэффициент возврата для частиц различных масс;
- неограниченная поглощающая способность космического вакуума;
- наличие различных типов излучения.

2. Физический вакуум - это не пустота или некий разреженный объем, а особое состояние материи, в котором нет частиц вещества и установилось низкое энергетическое состояние. Исходная идея состоит в том, что такая энергия имеет значение только для таких физических проблем, как малые возмущения в процессах атомных выбросов, которые в настоящее время, как известно, играют важную роль в масштабных явлениях и представляют интерес для технологов. Газ в состоянии высокого вакуума называют ультраразреженным.

Применение вакуума

Развитие вакуумной промышленности привело к появлению различных устройств и систем, использующих вакуум. Это вакуумные насосы различных типов, вакуумные печи, вакуумные поезда, электровакуумные приборы, вакуумная изоляция и др. Здесь возможно проникание газа через зазоры трущихся деталей и микротрещины в вакуумное пространство, что приводит к различным нарушениям функциональности.

Явление эффузии лежит в основе ряда технологических процессов, связанных с разделением смеси газов на отдельные компоненты путем ее пропускания через пористые вещества. Примером может служить процесс получения обогащенного урана в атомной промышленности.

Учитывая приведенные выше примеры, такое исследование представляется актуальным.

Вакуумная печь:



Вакуумный поезд:

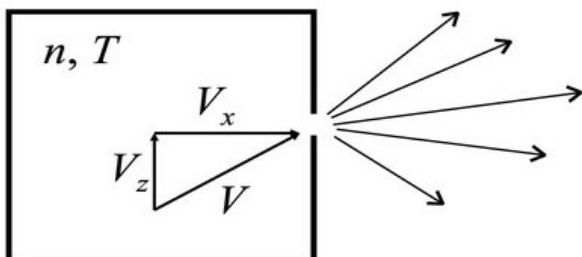


7. Эффузия и молекулярные пучки.

Молекулярный пучок - представляет собой струю молекул, образующуюся при испарении вещества в специальной печи и пропускании его через узкое сопло.

Его можно использовать с целью:

1. Изучение свойства молекул газа, находящегося в равновесии внутри сосуда.
2. Молекулярный пучок дает возможность изучать изолированные атомы и молекулы, что позволяет определить их атомные и ядерные свойства.



8. Применение эффузии.

1. Явление эффузии используется для разделение газовых смесей, компоненты которых отличаются только тем, что в состав их молекул входят разные изотопы одних и тех же химических элементов.

2. Развитие вакуума привело к появлению различных устройств и систем использующих вакуум.

3. Закон Грэма нашел применение и при конструировании космических кораблей.



9. Практическая часть.

Цель:

Подтвердить закон Грэма: чем меньше относительная молярная масса газа, тем выше скорость эффузии.

Оборудование:

Три воздушных резиновых шарика (один наполнен углекислым газом, другой - гелием, третий - воздухом), измерительная лента, линейка.

Ход работы:

- 1) Для начала, я наполнил три шара разными газами, белый шар - гелием, зеленый шар - воздухом, а красный - углекислым газом.
- 2) Измерил первоначальную длину окружности каждого шарика по формуле $C=2Pr$:
 - а) Длина окружности шарика с углекислым газом: **700 мм.**
 - б) Длина окружности шарика с воздухом: **700 мм.**
 - в) Длина окружности шарика с гелием: **700 мм.**

3) Вычислил объем каждого шарика по формуле:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

а) Углекислый газ.

$$V = 0.003 \text{ м}^3$$

б) Воздух.

$$V = 0.003 \text{ м}^3$$

в) Гелий:

$$V = 0.003 \text{ м}^3$$

4) Вычислил молярную массу каждого газа:

а) Углекислый газ 44,01 г/моль

б) Воздух 28,98 г/моль

в) Гелий 4,0026 г/моль

В течении двух недель измерял длину окружности шаров. Заметил, что шарик с углекислым газом сдувался медленнее всех, шарик наполненный воздухом сдувался чуть медленнее, а шарик с гелием быстрее всех.



Через два дня их размеры стали:

а) Длина окружности шарика с углекислым газом: **694 мм.**

б) Длина окружности шарика с воздухом: **657 мм.**

в) Длина окружности шарика с гелием: **628 мм.**



По прошествии еще двух дней, длины окружностей стали еще меньше:

Шарик с углекислым газом: **688 мм.**

Шарик с воздухом: **614 мм.**

Шарик с гелием: **557 мм.**

На последних замерах, после 13 дней от момента начала опыта длины стали:

Шарик с углекислым газом: **660 мм.**

Шарик с воздухом: **480 мм.**

Шарик с гелием: **410 мм.**

Результат практической части:

Даты	17.03	18.03	19.03	20.03	21.03	22.03	23.03	24.03	25.03	26.03	27.03	28.03	29.03	30.03
Шары	$d \pm \Delta x$	$d \pm \Delta x$	$d \pm \Delta x$	$d \pm \Delta x$	$d \pm \Delta x$	$d \pm \Delta x$	$d \pm \Delta x$	$d \pm \Delta x$	$d \pm \Delta x$	$d \pm \Delta x$	$d \pm \Delta x$	$d \pm \Delta x$	$d \pm \Delta x$	$d \pm \Delta x$
Белый шар(с гелием)	700мм ± 0.5мм	664мм ± 0.5мм	628мм ± 0.5мм	592мм ± 0.5мм	557мм ± 0.5мм	521мм ± 0.5мм	485мм ± 0.5мм	450мм ± 0.5мм	440мм ± 0.5мм	435мм ± 0.5мм	430мм ± 0.5мм	425мм ± 0.5мм	420мм ± 0.5мм	410мм ± 0.5мм
Зеленый шар(с воздухом)	700мм ± 0.5мм	678мм ± 0.5мм	657мм ± 0.5мм	635мм ± 0.5мм	614мм ± 0.5мм	593мм ± 0.5мм	571мм ± 0.5мм	550мм ± 0.5мм	520мм ± 0.5мм	510мм ± 0.5мм	503мм ± 0.5мм	496мм ± 0.5мм	490мм ± 0.5мм	480мм ± 0.5мм
Красный шар(с углекислым газом)	700мм ± 0.5мм	697мм ± 0.5мм	694мм ± 0.5мм	691мм ± 0.5мм	688мм ± 0.5мм	686мм ± 0.5мм	683мм ± 0.5мм	680мм ± 0.5мм	677мм ± 0.5мм	674мм ± 0.5мм	672мм ± 0.5мм	669мм ± 0.5мм	665мм ± 0.5мм	660мм ± 0.5мм



Вывод по практической части:

Убедился на опыте, как действует закон Грэма. Исходя из молекулярной массы, я получил результат, соответствующий этому закону. Шарик с углекислым газом имел большую молекулярную массу, поэтому, сдувался медленнее остальных, судя по рассчитанному объему. Шарик с гелием сдувался заметно быстрее остальных, из-за разности молекулярных масс.

10. Заключение.

- ▶ Я убедился в справедливости закона Грэма об относительности истечения газов.
- ▶ Постарался смоделировать явление эффузии.
- ▶ Убедился на опыте, как действует закон Грэма.
- ▶ Гипотеза подтвердилась, цель работы достигнута.

Список литературы:

- 1) https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/3068/ЭФФУЗИЯ[https://ru.wikipedia.org/wiki/Эффузия_\(физика\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Эффузия_(физика))
- 2) <https://readera.org/jeffuzija-nejtralnogo-gaza-v-vakuum-143163373>
- 3) Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. М.: Наука, 2009.