МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

МАОУ ГИМНАЗИЯ «МАРИИНСКАЯ» г. ТАГАНРОГ

***Определение заряда электрона***

***в домашних экспериментах***

**Выполнил**:

***Волохов Фёдор,*** ученик 9 класса «а»

МАОУ гимназия «Мариинская»

г. Таганрог

**Научный** **руководитель:**

***Бочарова Ирина Леонидовна,***

учитель физики.

г. Таганрог

2019 г.

***Содержание***

Введение………………………………………………………………………….3

Глава 1. Что такое электрон, история его открытия………………………….5

Глава 2. Действие магнитного поля на движущееся заряженное тело….....13

Глава 3. Электролиты. Электрический ток в электролитах…………………16

Глава 4. Явление электролиза………………………………………………….24

Глава 5. Эксперимент…………………………………………………………..27

5.1. Раствор хлорида натрия в воде………………………………………….27

5.2. Оборудование для эксперимента…………………………………………30

5.3.Качественные наблюдения электролиза………………………………….32

5.4. Электролиз водного раствора хлорида натрия………………………..35

5.5. Количество молекул в заданном объеме идеального газа……………..36

5.6. Электролиз и элементарный заряд………………………………………37

5.7. Экспериментальное определение заряда электрона……………………39

Заключение………………………………………………………………….......43

Литература……………………………………………………………………….46

***Введение***

Мы живём в мире электроники. Понятно, что в повседневной жизни нам необходимы также различные механизмы, тепловые машины, источники света и многое другое. Но именно электронные приборы определяют материальное и интеллектуальное благополучие человека. Целые отрасли современной технологии – электровакуумные приборы и полупроводники, радиовещание и телевидение, проводная и мобильная связь, компьютеры и Интернет – наполняют быт людей электронными девайсами. В основе действия этих приборов лежит умение управлять потоками электронов – элементарных частиц небольшой массы, несущих отрицательный заряд, входящих в состав атомов и способных сравнительно легко их покидать.

Усилиями физиков к началу XX века было установлено, что масса и заряд электрона равны *m*=9,1∙10-31 кг и *e*=1,6∙10-19 Кл. Это невообразимо маленькие величины, история измерения которых весьма поучительна.

Я задумался: как такую маленькую величину смогли определить более чем сто лет назад? Ведь в то время не существовало компьютеров и мощных вычислительных машин. Значит, и сегодня можно повторить эти рассуждения и эксперименты в школьном кабинете физики на уроках лабораторного практикума или в домашних условиях. У меня возникла идея показать, что компьютер - это не единственное средство в изучении нашего мира. Ведь гораздо больше пользы тем, кто интересуется физикой, принесёт самостоятельно подготовленный и выполненный эксперимент, в котором будет определён, например, заряд электрона. Оборудование для такого эксперимента у каждого есть под руками, поэтому его вполне можно осуществить в условиях домашней или школьной лаборатории.

***Тема исследовательской работы: «Определение заряда электрона в домашних экспериментах».***

***Цель работы:*** в домашних условиях изготовить самодельный прибор для электролиза, с его помощью провести эксперимент по выяснению электропроводности раствора поваренной соли и определить заряд электрона.

***Задачи исследовательской работы:***

1. Самостоятельное изучение теоретической базы и материалов в сети Интернет по темам:
   1. Что такое электрон, история его открытия;
   2. Действие магнитного поля на движущееся заряженное тело;
   3. Электролиты. Электрический ток в электролитах;
   4. Явление электролиза.
2. Проведение домашнего эксперимента в соответствии с планом:
   1. Изготовление самодельного прибора для электролиза;
   2. Выяснение электропроводности раствора поваренной соли;
   3. Анализ веществ, выделяющихся на аноде и катоде;
   4. Определение направления движения ионов в электролите;
   5. Установление зависимости объема выделяющегося газа от силы тока в цепи;
   6. Определение заряда электрона.
3. Систематизация изученных теоретических знаний и полученных в результате эксперимента практических результатов.

***Предмет исследования:*** заряд электрона.

***Методы исследования:*** теоретический анализ научной литературы по теме исследования, наблюдение, эксперимент, обобщение и систематизация полученных данных.

***Гипотеза: На экспериментальной установке из доступных приборов в домашних условиях можно с достаточно высокой точностью определить заряд электрона.***

***Глава 1. Что такое электрон, история его открытия***

**Электро́н** (от [др.-греч.](https://wiki.sc/wikipedia/%D0%94%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) ἤλεκτρον — [янтарь](https://wiki.sc/wikipedia/%D0%AF%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D1%8C)) - [стабильная](https://wiki.sc/wikipedia/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%8B) отрицательно [заряженная](https://wiki.sc/wikipedia/%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_%D0%B7%D0%B0%D1%80%D1%8F%D0%B4) [элементарная частица](https://wiki.sc/wikipedia/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0). Считается [фундаментальной](https://wiki.sc/wikipedia/%D0%A4%D1%83%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0) и является одной из основных структурных единиц вещества.

Электрон - единственный (наравне со своей античастицей — [позитроном](https://wiki.sc/wikipedia/%D0%9F%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD)) из известных заряженных лептонов, являющийся стабильным. Электроны образуют [электронные оболочки](https://wiki.sc/wikipedia/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D1%80%D0%B1%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C) [атомов](https://wiki.sc/wikipedia/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC), строение которых определяет большинство оптических, электрических, магнитных, механических, [химических свойств](https://wiki.sc/wikipedia/%D0%A5%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D0%B2%D0%BE%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0) вещества. Движение электронов обусловливает протекание [электрического тока](https://wiki.sc/wikipedia/%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) во многих проводниках (в частности, в [металлах](https://wiki.sc/wikipedia/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB)).

[Заряд](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D1%80%D1%8F%D0%B4_(%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0)) электрона неделим и равен **−1,6021766208(98)⋅10−19** [**Кл**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D0%BB%D0%BE%D0%BD), он был впервые непосредственно измерен в [экспериментах](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D1%8B%D1%82_%D0%9C%D0%B8%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B5%D0%BD%D0%B0) [А. Ф. Иоффе](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BE%D1%84%D1%84%D0%B5,_%D0%90%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%BC_%D0%A4%D1%91%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87) ([1911](https://ru.wikipedia.org/wiki/1911_%D0%B3%D0%BE%D0%B4_%D0%B2_%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B5)) и [Р. Милликена](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B5%D0%BD,_%D0%A0%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D1%80%D1%82_%D0%AD%D0%BD%D0%B4%D1%80%D1%8E%D1%81) ([1912](https://ru.wikipedia.org/wiki/1912_%D0%B3%D0%BE%D0%B4_%D0%B2_%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B5)). Эта величина служит [единицей измерения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F) электрического заряда других элементарных частиц (в отличие от заряда электрона, [элементарный заряд](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D1%80%D1%8F%D0%B4) обычно берётся с положительным знаком). Масса электрона равна **9,10938356(11)⋅10−31** кг.

В отличие от большинства других известных науке частиц, электрон стабилен (более точно, в пределах чувствительности эксперимента его [время жизни](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%8F_%D0%B6%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B8_%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B) не менее 6,6⋅1028 лет с 90%-й [доверительной вероятностью](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B0%D0%BB)). Распаду свободного электрона на [нейтрино](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BE) и [фотоны](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD) препятствует [закон сохранения электрического заряда](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D1%81%D0%BE%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%B7%D0%B0%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%B0), а распаду на другие элементарные частицы препятствует [закон сохранения энергии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D1%81%D0%BE%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D0%B8).

Название «электрон» происходит от греческого слова ήλεκτρον, означающего «[янтарь](http://www.wikiznanie.ru/wikipedia/index.php/%D0%AF%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D1%8C)»: ещё в древней Греции естествоиспытателями проводились эксперименты – куски янтаря натирали шерстью, после чего те начинали притягивать к себе мелкие предметы. Концепция неделимого количества электричества появилась для объяснения химических свойств атомов, начиная с 1838 г. у английского философа-натуралиста ***Ричарда Ламинга***. Термин «электрон» как название фундаментальной неделимой единицы заряда в [электрохимии](http://www.wikiznanie.ru/wikipedia/index.php/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F) был предложен ирландским физиком ***Дж. Дж. Стоуни*** в 1894 г. (сама единица заряда была введена им в 1874 г. при изучении законов электролиза).

В [1749 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1749_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) [***Бенджамин Франклин***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B6%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BD_%D0%A4%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%BD) высказал гипотезу, что электричество представляет собой своеобразную материальную субстанцию. Центральную роль электрической материи он отводил представлению об атомистическом строении электрического флюида. В работах Франклина впервые появляются термины: *заряд, разряд, положительный заряд, отрицательный заряд, конденсатор, батарея, частицы электричества.*

[***Иоганн Риттер***](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%98%D0%BE%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%BD_%D0%A0%D0%B8%D1%82%D1%82%D0%B5%D1%80&action=edit&redlink=1) в [1801 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1801_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) высказал мысль о дискретной, зернистой структуре электричества.

[***Вильгельм Вебер***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%B1%D0%B5%D1%80,_%D0%92%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%B3%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BC_%D0%AD%D0%B4%D1%83%D0%B0%D1%80%D0%B4) в своих работах с [1846 года](https://ru.wikipedia.org/wiki/1846_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) вводит понятие атома электричества и гипотезу, что его движением вокруг материального ядра можно объяснить тепловыми и световыми явлениями.

[***Майкл Фарадей***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B9%D0%BA%D0%BB_%D0%A4%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B5%D0%B9) ввел термин «[ион](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BE%D0%BD)» для носителей электричества в электролите и предположил, что ион обладает неизменным зарядом. [***Г. Гельмгольц***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BC%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%86,_%D0%93%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BD_%D0%9B%D1%8E%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3_%D0%A4%D0%B5%D1%80%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%B4) в [1881 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1881_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) показал, что концепция Фарадея должна быть согласована с [уравнениями Максвелла](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B0).[***Джордж Стони***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B8,_%D0%94%D0%B6%D0%BE%D1%80%D0%B4%D0%B6) в [1881 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1881_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) впервые рассчитал заряд одновалентного иона при электролизе, а в [1891 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1891_%D0%B3%D0%BE%D0%B4), в одной из теоретических работ Стони предложил термин «электрон» для обозначения электрического заряда одновалентного иона при электролизе.

[***Катодные лучи***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B8)***.*** Катодные лучи открыты в [1859 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1859_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) [***Юлиусом Плюккером***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D1%8E%D0%BA%D0%BA%D0%B5%D1%80,_%D0%AE%D0%BB%D0%B8%D1%83%D1%81), название дано [***Эйгеном Гольдштейном***](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%93%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B4%D1%88%D1%82%D0%B5%D0%B9%D0%BD,_%D0%AD%D0%B9%D0%B3%D0%B5%D0%BD&action=edit&redlink=1), который высказал волновую гипотезу: катодные лучи представляют собой процесс в [эфире](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%84%D0%B8%D1%80_(%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0)). Начиная с 1869 г. ***Йоханн Вильгельм Хитторф*** и с 1876 г. ***Эйген Гольдштейн***, оба немецкие физики, изучали свойства катодных лучей. Английский учёный ***Уильям Крукс*** в своих работах 1870-1879 гг. пытался понять отрицательный заряд катодных лучей, который вытекал из притяжения лучей к аноду и из их отклонения в магнитном поле. [***Уильям Крукс***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%8F%D0%BC_%D0%9A%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%81) высказал идею, что катодные лучи - это поток частичек вещества.

В 1890 г. английский физик ***Артур Шустер*** впервые предпринял попытку определения отношения заряда к массе для частиц катодных лучей.

В [1895 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1895_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) французский физик [***Жан Перрен***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D0%B0%D0%BD_%D0%9F%D0%B5%D1%80%D1%80%D0%B5%D0%BD) экспериментально доказал, что катодные лучи — это поток отрицательно заряженных частиц, которые движутся прямолинейно, но могут отклоняться магнитным полем.

[***Бета-лучи***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D1%82%D0%B0-%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B8)***.*** Во время изучения естественной флуоресценции минералов в 1896 г. французский физик ***Генри Беккерель*** открыл, что они излучают радиацию сами по себе, без поглощения энергии извне. Такие радиоактивные материалы привлекли интерес новозеландского физика ***Эрнеста Резерфорда***, который обнаружил у них излучение частиц. Он назвал их альфа и бета-частицами, с учётом их проникающей способности. В 1900 г. Беккерель показал, что бета-лучи, излучаемые радием, могут отклоняться электрическим полем, а отношение их массы к заряду такое же, как у катодных лучей. Это было ярким свидетельством того, что электроны являются некоторыми компонентами атомов.

***Опыт Томсона.*** С [1895 года](https://ru.wikipedia.org/wiki/1895_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) [Джозеф Джон Томсон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B6%D0%BE%D0%B7%D0%B5%D1%84_%D0%94%D0%B6%D0%BE%D0%BD_%D0%A2%D0%BE%D0%BC%D1%81%D0%BE%D0%BD) в [Кавендишской лаборатории](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B8%D1%88%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BB%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F) [Кембриджского университета](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B5%D0%BC%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%B4%D0%B6%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82) начинает методическое количественное изучение отклонения катодных лучей в электрических и магнитных полях. Итоги этой работы были опубликованы в [1897](https://ru.wikipedia.org/wiki/1897) г. в октябрьском номере журнала «[Philosophical Magazine](https://ru.wikipedia.org/wiki/Philosophical_Magazine" \o "Philosophical Magazine)». В своем опыте Томсон доказал, что все частицы, образующие катодные лучи, тождественны друг другу и входят в состав вещества. Суть опытов и гипотезу о существовании материи в состоянии ещё более тонкого дробления, чем атомы, Томсон изложил на вечернем заседании Королевского общества [29 апреля](https://ru.wikipedia.org/wiki/29_%D0%B0%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%8F) [1897](https://ru.wikipedia.org/wiki/1897) г. Извлечение из этого сообщения было опубликовано в «[Electrican](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Electrican&action=edit&redlink=1" \o "Electrican (страница отсутствует))» [21 мая](https://ru.wikipedia.org/wiki/21_%D0%BC%D0%B0%D1%8F) [1897](https://ru.wikipedia.org/wiki/1897) г. За это открытие Томсон в [1906 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1906_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) получил [Нобелевскую премию по физике](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D0%BE_%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B5), а **1897 год** стал считаться официальной датой открытия электрона.

Опыт Томсона заключался в изучении пучков катодных лучей, проходящих через систему параллельных металлических пластин, создававших электрическое поле, и систем катушек, создававших магнитное поле. Обнаружено, что лучи отклонялись при действии отдельно обоих полей, а при определенном соотношении между ними пучки не изменяли прямой траектории. Это соотношение полей зависело от скорости частиц. Проведя ряд измерений, Томсон выяснил, что скорость движения частиц гораздо ниже скорости света. Таким образом, было показано, что частицы должны обладать массой. Далее было выдвинуто предположение о наличии этих частиц в атомах и предложена модель атома, впоследствии развитая в [опытах Резерфорда](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D1%80%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%B4,_%D0%AD%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%81%D1%82).

Более точные результаты получил американский физик ***Роберт Милликен*** в 1909 г. в его опыте с падением заряженных капель масла в электрическом поле, с возникающей при этом электрической силой, уравновешивающей силу тяжести. В 1911 г. Милликен опубликовал свои результаты, указав, что его устройство могло измерять электрический заряд от 1–150 ионов с погрешностью порядка 0,3 %. В 1911 г. [***Абрам Иоффе***](http://www.wikiznanie.ru/wikipedia/index.php?title=%D0%98%D0%BE%D1%84%D1%84%D0%B5,_%D0%90%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%BC_%D0%A4%D1%91%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87&action=edit&redlink=1)повторил результаты Милликена, но на заряженных частичках металла, опубликовав результаты в 1913 г.

В начале ХХ века было найдено, что при определённых условиях быстродвижущаяся заряженная частица может стать причиной конденсации водных паров вдоль своей траектории. В 1911 г. ***Чарльз Вилсон*** использовал этот принцип для построения пузырьковой камеры, позволившей с помощью фотографии запечатлеть траектории электронов. Такие и другие детекторы частиц дают возможность изучать даже отдельные частицы.

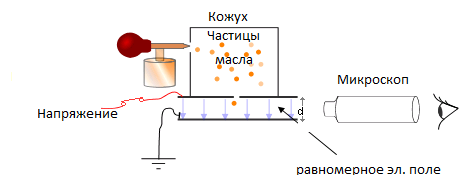
***Опыт Милликена.*** Рассмотрим опыт Милликена подробнее. Одна из фундаментальных постоянных в физике – элементарный электрический заряд. Это скалярная величина, характеризующая способность физических тел принимать участие в электромагнитном взаимодействии.

Элементарным электрическим зарядом принято считать наименьший положительный или отрицательный заряд, который невозможно разделить. Его величина равна величине заряда электрона.

То, что любой встречающийся в природе [электрический заряд](http://ency.info/materiya-i-dvigenie/elektrichestvo-i-magnetizm/404-elektrichestvo) всегда равен целому числу элементарных зарядов, в 1752 г. предположил известный политический деятель ***Бенджамин Франклин***, политик и дипломат, занимавшийся ещё и научной и изобретательской деятельностью, первый американец, который стал членом Российской академии наук.

Если предположение Франклина верно, и электрический заряд любого заряженного тела или системы тел состоит из целого числа элементарных зарядов, то этот заряд может изменяться скачкообразно на величину, содержащую целое число зарядов электрона.

Впервые это удалось подтвердить и довольно точно определить заряд электрона опытным путём американскому учёному, профессору Чикагского университета, Роберту Милликену.



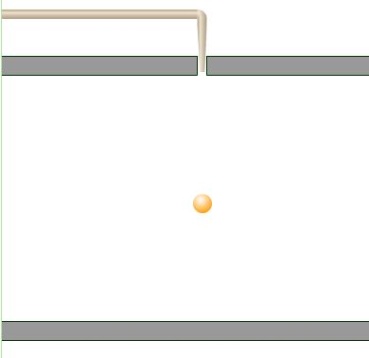
*Схема опыта Милликена*

Свой первый знаменитый опыт с каплями масла Милликен провёл в 1909 г. вместе со своим помощником Харви Флетчером. Говорят, что вначале опыт планировали делать с помощью капель воды, но они испарились за несколько секунд, чего оказалось явно мало, чтобы получить результат. Тогда Милликен отправил Флэтчера в аптеку, где тот приобрёл пульверизатор и пузырёк масла для часов. Этого оказалось достаточно, чтобы опыт удался. Впоследствии Милликен получил за него Нобелевскую премию, а Флэтчер докторскую степень.

В чём же заключался эксперимент Милликена?

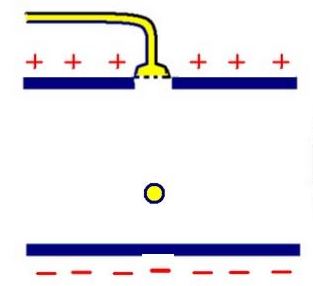
Наэлектризованная капелька масла под воздействием силы тяжести падает вниз между двумя металлическими пластинами. Но если между ними создать электрическое поле, то оно удержит капельку от падения. Измерив силу электрического поля, можно определить заряд капли.

Две металлические пластины конденсатора экспериментаторы расположили внутри сосуда. Туда же с помощью пульверизатора вводились мельчайшие капельки масла, которые заряжались отрицательно во время разбрызгивания в результате их трения о воздух.



**В отсутствии электрического поля капелька падает**

Под действием силы тяжести Fw  = mg капельки начинали падать вниз. Но так они находилась не в вакууме, а в среде, то свободно падать им мешала сила сопротивления воздуха ***Fres = 6πηrv0***, где ***η*** – вязкость воздуха. Когда ***Fw***и ***Fres***  уравновешивались, падение становилось равномерным со скоростью ***v0***. Измерив эту скорость, учёный определил радиус капли.



**Капелька "парит" под действием электрического поля**

Если в момент падения капельки на пластины подавалось напряжение таким образом, что верхняя пластина получала положительный заряд, а нижняя отрицательный, падение прекращалось. Ему препятствовало возникшее электрическое поле. Капельки словно зависали. Это происходило, когда сила ***Fr*** уравновешивалась силой, действующей со стороны электрического поля ***Fr = eE***,

где ***Fr –*** результирующая силы тяжести и силы Архимеда.

***Fr = 4/3·πr3(ρ – ρ0)g***

***ρ*** - плотность капли масла;

***ρ0 –*** плотность воздуха.

***r*** – радиус капли.

Зная ***Fr*** и ***E***, можно определить величину ***e***.

Так как добиться того, чтобы капелька долго оставалась в неподвижном состоянии, было очень сложно, то Милликен и Флетчер создавали такое поле, в котором капелька после остановки начинала двигаться вверх с очень малой скоростью **v**. В этом случае

http://ency.info/images/iskusstvo/fizika2/03b001.jpg

http://ency.info/images/iskusstvo/fizika2/3b002.jpg

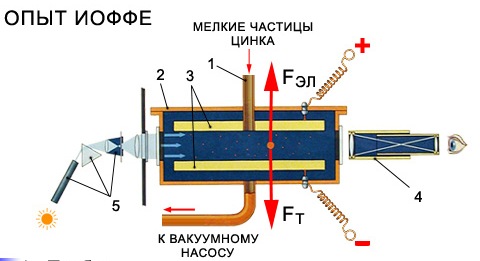
Отсюда

http://ency.info/images/iskusstvo/fizika2/3b1.jpg

Опыты повторялись многократно. Заряды капелькам сообщали, облучая их рентгеновской или ультрафиолетовой установкой. Но всякий раз общий заряд капли всегда был равен нескольким элементарным зарядам.

В 1911 г. Милликен установил, что величина заряда электрона равна 1,5924(17) ∙ 10-19 Кл. Учёный ошибся всего на 1%. Современное его значение составляет 1,602176487(10) ∙ 10-19 Кл.

***Опыт Иоффе.*** Практически одновременно с Милликеном, но независимо от него, подобные опыты проводил русский физик Абрам Федорович Иоффе. И его экспериментальная установка была похожа на установку Милликена. Но из сосуда откачивался воздух, и в нём создавался вакуум. А вместо капелек масла Иоффе использовал мелкие заряженные частички цинка. За их движением наблюдали в микроскоп.



Установка Иоффе

1. *- трубка*
2. *- камера*
3. *- металлические пластины*
4. *- микроскоп*
5. *- ультрафиолетовый излучатель*

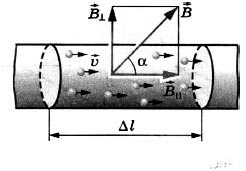
Под действием электростатического поля пылинка цинка совершала падение. Как только сила тяжести пылинки становилась равна силе, действующей на неё со стороны электрического поля, падение прекращалось. Пока заряд пылинки не менялся, она продолжала висеть неподвижно. Но если на неё воздействовали ультрафиолетовым светом, то её заряд уменьшался, и равновесие нарушалось. Она снова начинала падать. Тогда увеличивали величину заряда на пластинах. Соответственно увеличивалось электрическое поле, и падение снова останавливалось. Так делали несколько раз. В результате выяснили, что каждый раз заряд пылинки изменялся на величину, кратную величине заряда элементарной частицы.

Величину заряда этой частицы Иоффе не рассчитал. Но, проведя подобный опыт в 1925 г. вместе с физиком Н.И. Добронравовым, несколько видоизменив опытную установку и использовав вместо цинка пылинки висмута, он подтвердил теорию [фотоэффекта](http://ency.info/materiya-i-dvigenie/fotometriya/388-fotoeffekt).

***Глава 2. Действие магнитного поля на движущееся заряженное тело***

Магнитное поле действует с силой на движущиеся заряженные частицы, в том числе и на проводники с током. Какова же сила, действующая на одну частицу?

1. Силу, действующую на движущуюся заряженную частицу со стороны магнитного поля, называют ***силой Лоренца*** в честь великого голландского физика X. Лоренца, создавшего электронную теорию строения вещества. Силу Лоренца можно найти с помощью закона Ампера.



***Модуль силы Лоренца*** равен отношению модуля силы F, действующей на участок проводника длиной Δl, к числу N заряженных частиц, упорядоченно движущихся в этом участке проводника:

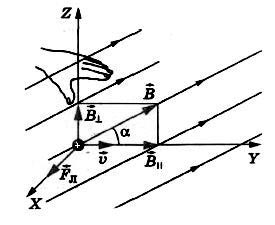
http://class-fizika.ru/images/10_11_class/11-1/6.1.jpg

Так как сила (сила Ампера), действующая на участок проводника со стороны магнитного поля, равна **F = | I | BΔl sin α**, а сила тока в проводнике равна **I = qnvS** где: q - заряд частиц, n - концентрация частиц (т.е. число зарядов в единице объема), v - скорость движения частиц, S - поперечное сечение проводника.

Тогда получаем: *На каждый движущийся заряд со стороны магнитного поля действует сила Лоренца, равная:*

http://class-fizika.ru/images/10_11_class/11-1/6.3.jpg

2. ***Направление силы Лоренца*** определяется с помощью того же ***правила левой руки***, что и направление силы Ампера: ***Если левую руку расположить так, чтобы составляющая магнитной индукции, перпендикулярная скорости заряда, входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены по движению положительного заряда (против движения отрицательного), то отогнутый на 90° большой палец укажет направление действующей на заряд силы Лоренца Fл.***



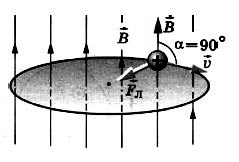
3. Если в пространстве, где движется заряженная частица, существует одновременно и электрическое поле, и магнитное поле, то суммарная сила, действующая на заряд, равна: = http://class-fizika.ru/images/10_11_class/11-1/3.1.jpgэл + http://class-fizika.ru/images/10_11_class/11-1/3.1.jpgл



где сила, с которой электрическое поле действует на заряд q, равна Fэл = q http://class-fizika.ru/images/10_11_class/11-1/6.5.jpg

4. ***Cила Лоренца не совершает работы,*** т.к. она перпендикулярна вектору скорости частицы. Значит, сила Лоренца не меняет кинетическую энергию частицы и, следовательно, модуль ее скорости. Под действием силы Лоренца меняется лишь *направление скорости частицы.*

5. ***Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле.*** Есть однородное магнитное поле http://class-fizika.ru/images/10_11_class/11-1/2.1.jpg, направленное перпендикулярно к начальной скорости частицы http://class-fizika.ru/images/10_11_class/11-1/6.4.jpg



Сила Лоренца зависит от модулей векторов скорости частицы и индукции магнитного поля. Магнитное поле не меняет модуль скорости движущейся частицы, значит, остаётся неизменным и модуль силы Лоренца. Сила Лоренца перпендикулярна скорости и, следовательно, определяет центростремительное ускорение частицы. Неизменность по модулю центростремительного ускорения частицы, движущейся с постоянной по модулю скоростью, означает, что

***В однородном магнитном поле заряженная частица равномерно движется по окружности радиусом r.***

Согласно второму закону Ньютона

http://class-fizika.ru/images/10_11_class/11-1/6.8-1.jpg

Тогда радиус окружности, по которой движется частица, равен:

http://class-fizika.ru/images/10_11_class/11-1/6.8-2.jpg

Время, за которое частица делает полный оборот (период обращения), равно:

http://class-fizika.ru/images/10_11_class/11-1/6.9.jpg

6. ***Использование действия магнитного поля на движущийся заряд.*** Действие магнитного поля на движущийся заряд используют в телевизионных трубках-кинескопах, в которых летящие к экрану электроны отклоняются с помощью магнитного поля, создаваемого особыми катушками. Сила Лоренца используется в циклотроне - ускорителе заряженных частиц для получения частиц с большими энергиями. На действии магнитного поля основано также и устройство масс-спектрографов, позволяющих точно определять массы частиц.

***Глава 3. Электролиты. Электрический ток в электролитах.***

**Электроли́т** — вещество, которое проводит электрический ток вследствие диссоциации на ионы, что происходит в растворах и расплавах, или движения ионов в кристаллических решётках твёрдых электролитов. Примерами электролитов могут служить кислоты, соли и основания и некоторые кристаллы (например, иодид серебра, диоксид циркония). Электролиты — проводники второго рода, вещества, электропроводность которых обусловлена подвижностью положительно или отрицательно заряженных ионов. Термин *электролит* введён в науку [***Майклом Фарадеем***](http://www.wikiznanie.ru/wikipedia/index.php/%D0%9C%D0%B0%D0%B9%D0%BA%D0%BB_%D0%A4%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B5%D0%B9)***.***

Процесс распада молекул в растворе или расплаве электролита на ионы называется **электролитической диссоциацией**. Одновременно в электролите протекают процессы ассоциации ионов в молекулы. При неизменных внешних условиях (температура, концентрация и др.) устанавливается динамическое равновесие между распадами и ассоциациями. Поэтому в электролитах диссоциирована определённая доля молекул вещества. Для количественной характеристики электролитической диссоциации было введено понятие **степени диссоциации.**

Исходя из степени диссоциации все электролиты делятся на две группы: сильные и слабые электролиты. **Сильные электролиты** — электролиты, степень диссоциации которых в растворах равна единице (то есть диссоциируют полностью) и не зависит от концентрации раствора. Сюда относятся подавляющее большинство солей, щелочей, а также некоторые кислоты (сильные кислоты, такие как HCl, HBr, HI, HNO3, H2SO4). **Слабые электролиты** — электролиты, степень диссоциации которых меньше единицы (то есть диссоциируют не полностью) и уменьшается с ростом концентрации. К ним относят воду, ряд кислот (слабые кислоты, такие как HF), основания p-, d- и f-элементов. Между этими двумя группами чёткой границы нет, одно и то же вещество может в одном растворителе проявлять свойства сильного электролита, а в другом — слабого.

Использование термина «*электролит»*:

- ***в естественных науках*** (в биологии и медицине). Чаще всего подразумевают водный раствор, содержащий те или иные ионы (напр., «всасывание электролитов» в кишечнике).

- ***в технике***

Термин «электролит» широко используется в науке и технике, в разных отраслях оно может иметь различающийся смысл.

***- в электрохимии***

Многокомпонентный [раствор](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80) для [электроосаждения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BE%D1%81%D0%B0%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) [металлов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB), а также травления и др. (технический термин, например электролит золочения).

***- в источниках тока***

Электролиты являются важной частью химических источников тока: гальванических элементов и аккумуляторов. Электролит участвует в химических реакциях [окисления и восстановления](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE-%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8) с электродами, благодаря чему возникает [ЭДС](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B6%D1%83%D1%89%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D0%BB%D0%B0). В источниках тока электролит может находиться в жидком состоянии (обычно это водный раствор) или загущённым до состояния [геля](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D1%8C).

***Электрический ток в электролитах. Электролитом*** мы называем раствор (или расплав) вещества, через который может идти электрический ток; при этом исходное вещество проводником тока *не является*.

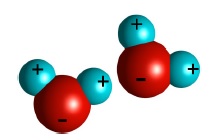
Например, кристаллы поваренной соли NaCl не проводят ток. Дистиллированная вода — тоже диэлектрик. Однако при растворении соли в воде получается среда, через которую ток отлично проходит! Следовательно, солёная вода будет электролитом. Вот почему запрещено купаться во время грозы — в водоёмах всегда растворено некоторое количество солей. При ударе молнии по воде пойдёт электрический ток.

Электролитами оказываются растворы солей, кислот и оснований. Прохождение тока через эти растворы означает, что в них имеются свободные заряды. Откуда же они там берутся, если ни в воде, ни в исходном веществе свободных зарядов не было?

***Электролитическая диссоциация***. Механизм, обеспечивающий появление свободных зарядов в электролите, называется *электролитической диссоциацией*. Мы ограничимся рассмотрением электролитической диссоциации в растворах.

Вообще, диссоциация — это распад молекулы на составные части под влиянием тех или иных факторов. *В процессе электролитической диссоциации молекулы растворяемого вещества распадаются на положительные и отрицательные ионы в результате действия электрических сил со стороны молекул воды*.

Многие свойства воды объясняются тем, что её молекулы являются *полярными*, то есть в электрическом отношении ведут себя как диполи (*диполь* — это система двух одинаковых по модулю и противоположных по знаку зарядов, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга). Полярность молекул H2O обусловлена их геометрическим устройством (рис.1).



*Рис. 1. Молекула воды*

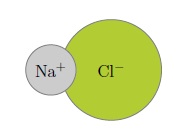
Угол, образованный линиями центров атома кислорода и двух атомов водорода, составляет примерно 104,50 . Кроме того, электронные оболочки смещены в сторону кислорода. В результате центры положительных и отрицательных зарядов оказываются пространственно разделёнными: «минусы» преобладают в кислородной части молекулы воды, а «плюсы» — в водородной части.

Будучи диполями, молекулы воды создают вокруг себя электрическое поле и действуют электрическими силами как друг на друга, так и на молекулы примесей (притягиваясь друг к другу противоположно заряженными частями, молекулы воды создают весьма прочные связи). Вот почему столь велики удельная теплоёмкость и удельная теплота парообразования воды — на разрыв этих связей требуется значительная энергия.

Почему же соли, кислоты и основания распадаются в воде на ионы? Всё дело в том, что молекулы этих веществ также являются полярными.

Вернёмся к нашему примеру с растворением поваренной соли NaCl . У атома натрия на внешнем электронном уровне находится один электрон. Он слабо связан с атомом и всегда готов покинуть место своего обитания. У атома хлора на внешнем электронном уровне семь электронов — одного как раз не хватает до полного комплекта. Атом хлора всегда готов захватить себе недостающий электрон.

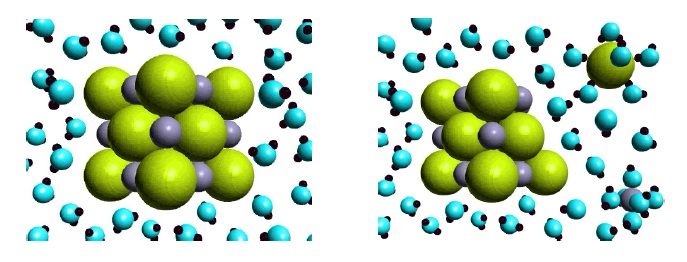
Поэтому при образовании молекулы NaCl внешний электрон атома натрия уходит к атому хлора, и в результате молекула становится полярной — она состоит из положительного иона Na+ и отрицательного иона Cl- . Эта молекула схематически изображена на рис. 2 (атом хлора крупнее, чем атом натрия).

  
*Рис. 2. Молекула NaCl*

Иными словами, с электрической точки зрения молекула NaCl также оказывается диполем.

Взаимодействие двух сортов диполей – молекул H2O и NaCl - как раз и вызывает процесс растворения.

На рис. 3 мы видим, как протекает этот процесс. Более крупные зелёные шарики изображают ионы хлора, более мелкие серые — ионы натрия.



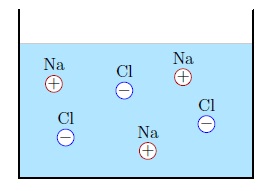
*Рис. 3. Электролитическая диссоциация: растворение NaCl в воде*

Левая часть рисунка показывает ситуацию до начала растворения. Крупица соли в виде небольшого кубического кристаллика (кристаллическая решётка поваренной соли имеет кубическую структуру, в вершинах куба в шахматном порядке, крест-накрест расположены атомы натрия и хлора) только что оказалась в воде.

Сразу же начинается «электрическая атака» со стороны молекул воды. Отрицательно заряженные (кислородные) части молекул H2O обращаются к положительным ионам натрия, а положительные (водородные) части молекулы воды — к отрицательным ионам хлора. Молекулы NaCl начинают «растягиваться» разнонаправленными электрическими силами притяжения к молекулам-диполям воды, и связь между ионами натрия и хлора, скрепляющая молекулу соли, ослабевает.

В конце концов эта связь становится настолько слабой, что удары соседних частиц, совершающих тепловое движение, разрушают молекулу NaCl. Она распадается на положительный ион Na+ и отрицательный ион Cl- .

В правой части рис. 3 мы видим результат такого распада: вырванные из кристаллической решётки ион хлора и ион натрия отправляются «в свободное плавание», окружённые прицепившимися к ним молекулами воды. Обратим внимание, что молекулы воды прилипли к отрицательному иону хлора своими положительными водородными частями, а к положительному иону натрия, наоборот, повернулись их отрицательные кислородные части. Таким образом, при растворении соли NaCl в воде появляются свободные заряды: положительные ионы Na+ и отрицательные ионы Cl- (рис. 4). Это и является необходимым условием прохождения тока через раствор.



*Рис. 4. Раствор NaCl в воде*

Описанный выше процесс растворения совершенно аналогично протекает и в случае других примесей. Так, щёлочь KOH распадается в водном растворе на положительные ионы калия K+ и отрицательные ионы гидроксильной группы OH-. Молекула серной кислоты H2 SO4 при распаде даёт два положительных ион H+ и отрицательно заряженный ион кислотного остатка SO42-.В растворе медного купороса CuSO4 появляются положительные ионы меди Cu2+ и отрицательно заряженные ионы SO42-.

Все ли молекулы растворяемого вещества распадутся на ионы? Это зависит от ряда условий.

*Степенью диссоциации* называется отношение числа распавшихся молекул к общему начальному числу молекул. При полном растворении вещества степень диссоциации равна 1.

Наряду с диссоциацией имеет место и обратный процесс: *рекомбинация*. А именно, две частицы противоположного знака могут встретиться и снова образовать нейтральную молекулу (рекомбинировать). С течением времени в растворе устанавливается состояние динамического равновесия: среднее число диссоциаций в единицу времени равно среднему числу рекомбинаций, в результате чего концентрация раствора остаётся неизменной (вспомним аналогичную ситуацию с насыщенным паром: при динамическом равновесии пара и жидкости среднее число вылетевших из жидкости молекул равно среднему числу молекул, вернувшихся обратно из пара в жидкость, так что концентрация насыщенного пара неизменна).

Процессы диссоциации-рекомбинации записываются в виде следующих уравнений, отражающих состояние динамического равновесия:

\rm NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^-;

\rm H_2SO_4 \rightleftharpoons 2H^+ + SO_4^{2-};

\rm CuSO_4 \rightleftharpoons Cu^{2+} + SO_4^{2-}.

Изменение внешних условий может нарушить текущее динамическое равновесие и сместить его в ту или иную сторону. Например, при повышении температуры увеличивается скорость диссоциации, и концентрация положительных и отрицательных ионов в растворе возрастает.

***Ионная проводимость***. В металлах имеется лишь один тип свободных зарядов — это свободные электроны. В электролитах ситуация иная: здесь возникают свободные заряды двух типов.

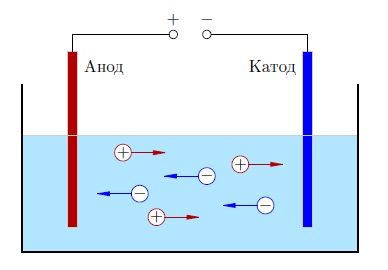
1. Положительные ионы, образовавшиеся из атомов металлов или водорода.

2. Отрицательные ионы — атомные или молекулярные кислотные остатки (например, Cl- или SO42- ), а также гидроксильная группа OH-.

Второе отличие от металлов заключается в том, что носители свободных зарядов в электролите могут иметь заряд, равный по модулю как элементарному заряду *e*, так и целому числу элементарных зарядов *ze*. Здесь *z* - валентность атома или группы атомов; например, при растворении медного купороса имеем *z=2*.

Если внешнего электрического поля нет, то свободные заряды электролита совершают лишь хаотическое тепловое движение наряду с окружающими молекулами. Но при наложении внешнего поля положительные и отрицательные ионы начинают упорядоченное движение.

Поместим в сосуд с электролитом два электрода; один из электродов присоединим к положительной клемме источника тока, а другой - к отрицательной (рис. 5). Когда речь идёт о прохождении тока через электролиты, положительный электрод называют *анодом*, а отрицательный — *катодом* (Имеется народная мудрость для запоминания знаков анода и катода: *Андрей — парень положительный, Катька — девка отрицательная* ).



*Рис. 5. Ионная проводимость электролита*

В электрическом поле, возникшем между электродами, положительные ионы электролита устремляются к «минусу» катода, а отрицательные ионы — к «плюсу» анода. Таким образом, *электрический ток в электролите образуется в результате встречного движения ионов: положительных — к катоду, отрицательных — к аноду*. Поэтому проводимость электролитов называется *ионной* (в отличие от электронной проводимости металлов).

На положительном аноде имеется недостаток электронов. Отрицательные ионы, достигнув анода, отдают ему свои лишние электроны; эти электроны отправляются по цепи к «плюсу» источника.

Наоборот, на отрицательном катоде — избыток электронов. Положительные ионы, придя на катод, забирают у него электроны, и это количество ушедших электронов немедленно восполняется их доставкой на катод с «минуса» источника.

Таким образом, в той части цепи, которая состоит из источника тока и металлических проводников, возникает циркуляция электронов по маршруту «анод \rightarrow источник \rightarrow катод».

Цепь замыкается электролитом, где электрический ток обеспечивается двусторонним движением ионов.

## *Глава 4. Явление электролиза*

Положительные и отрицательные ионы, будучи носителями свободных зарядов, в то же время являются частицами вещества. Поэтому важнейшее отличие тока в электролитах от тока в металлах состоит в том, что *электрический ток в электролите сопровождается переносом вещества*.

Явление переноса вещества при прохождении электрического тока через электролит называется *электролизом*. Законы электролиза были экспериментально изучены Фарадеем.

В процессе электролиза происходит разложение растворённого вещества на составные части и выделение этих частей на электродах. Так, в растворе медного купороса CuSO4 положительные ионы меди Cu2+ идут на катод, в результате чего катод покрывается медью. Кислотный остаток SO42- выделяется на аноде.

Естественным образом возникает вопрос о нахождении массы *m* вещества, выделяющегося на электроде за определённое время *t*. Эта масса, очевидно, совпадает с массой данного вещества, перенесённого током за время *t* через электролит.

Пусть m_1 масса одного иона этого вещества, q_1 = ze - заряд иона (z - валентность вещества). Предположим, что за время t через электролит прошёл заряд q. Число ионов, пришедших на электрод, тогда равно N = q/q_1. Масса выделившегося на электроде вещества равна суммарной массе пришедших ионов:

m = m_1 N = m_1 \frac{\displaystyle q}{\displaystyle q_1 \vphantom{1^a}} = kq.(1)

Величина k = m_1/q_1 является характеристикой вещества и называется его *электрохимическим эквивалентом*. Значения электрохимических эквивалентов различных веществ приводятся в таблицах.

При протекании через электролит постоянного тока I за время tпроходит заряд q = It. Подставляя это в формулу (1), получим первую формулу Фарадея:

m = kIt.(2)

**Первый закон Фарадея**.***Масса выделяющегося на электроде вещества пропорциональна силе тока, протекающего через электролит, и времени прохождения тока.***

Теперь преобразуем выражение для электрохимического эквивалента, введя молярную массу вещества:

C:\Users\Волохов\Desktop\latex.php.png

Подставляя это выражение в (2), получим вторую формулу Фарадея:

m = \frac{\displaystyle \mu}{\displaystyle ze N_A \vphantom{1^a}}It.(3)

**Второй закон Фарадея**. ***Масса выделяющегося на электроде вещества прямо пропорциональна молярной массе этого вещества и обратно пропорциональна его валентности*.**

В формуле (3) мы видим произведение двух констант eи N_A. Оно также является константой и называется *постоянной Фарадея*:

F = eN_A = 96485 \ Кл/моль.

Формула (3) с постоянной Фарадея запишется так:

m = \frac{\displaystyle \mu}{\displaystyle zF \vphantom{1^a}}It.

***Электро́лиз*** — физико-химический процесс, состоящий в выделении на электродах составных частей растворённых веществ или других веществ, являющихся результатом вторичных реакций на электродах, который возникает при прохождении электрического тока через раствор, либо расплав электролита.

Электролиз является одним из лучших способов золочения или покрытия металла медью, золотом и т.д.

Упорядоченное движение ионов в проводящих жидкостях происходит в электрическом поле, которое создаётся электродами — проводниками, соединёнными с полюсами источника электрической энергии. Катодом при электролизе называется отрицательный электрод, анодом — положительный. Положительные ионы — катионы (ионы металлов, водородные ионы, ионы аммония и др.) — движутся к катоду, отрицательные ионы — анионы (ионы кислотных остатков и гидроксильной группы) — движутся к аноду.

Реакции, происходящие при электролизе на электродах, называются вторичными. Первичными являются реакции диссоциации в электролите. Разделение реакций на первичные и вторичные помогло Майклу Фарадею установить законы электролиза.

Электролиз широко применяется в современной промышленности. В частности, электролиз является одним из способов промышленного получения алюминия, водорода, диоксида марганца, пероксида водорода.

Большое количество металлов извлекается из руд и подвергается переработке с помощью электролиза (электроэкстракция, электрорафинирование). Также электролиз является основным процессом, благодаря которому функционирует химический источник тока.

Электролиз находит применение в очистке сточных вод (процессы электрокоагуляции, электроэкстракции, электрофлотации). Электролиз также применяется для получения многих веществ (металлов, водорода, хлора и др.), при нанесении металлических покрытий (гальваностегия), воспроизведении формы предметов (гальванопластика).

***Глава 5. Эксперимент***

***5.1. Раствор хлорида натрия в воде***

Для экспериментальной части работы я использовал раствор хлорида натрия в дистиллированной воде. Дистиллированная вода H2O, как известно, является жидким диэлектриком с очень большой диэлектрической проницаемостью *Ɛ=*81. Поваренная соль или *хлорид натрия* NaCl представляет собой твёрдый диэлектрик, который в отличие от жидкой воды имеет кристаллическую структуру (рис. 1).



*Рис. 1*

Однако при растворении хлорида натрия в дистиллированной воде образуется жидкий проводник электрического тока, который называется *электролитом*. Чтобы понять, почему так происходит, вначале нужно вспомнить,как образуются молекулы.

При объединении в молекулы нередко одни атомы отдают электроны

и превращаются в положительно заряженные *ионы*, а другие атомы принимают электроны и становятся отрицательно заряженными ионами. *Такие молекулы представляют собой электрические диполи и называются* *полярными*. В них разноимённо заряженные ионы удерживаются вместе кулоновскими силами взаимного притяжения.

Вода состоит из полярных молекул, в которых два положительных иона водорода связаны с отрицательным ионом кислорода: H2O = 2H+ + О- -.

Молекула хлорида натрия также полярная, в ней взаимодействуют положительный ион натрия и отрицательный ион хлора: NaCl = Na++ Cl-.

На рис. 2 молекулы воды и хлорида натрия схематически изображены в виде связанных ионов и ещё более схематично в форме диполей.



*Рис. 2*

В воде благодаря электростатическому взаимодействию ионы кристалла хлорида натрия притягивают противоположные по знаку ионы молекул воды (рис. 3). Связь между ионами натрия и хлора в кристаллической решетке ослабляется и легко разрывается благодаря беспорядочному тепловому движению молекул. Так происходит растворение поваренной соли.



*Рис. 3*

В растворе оказываются не только отдельные ионы, но и целые молекулы хлорида натрия. Они также взаимодействуют с молекулами воды и могут разделиться на ионы. Этот процесс называется *диссоциацией*. Вода с её большой диэлектрической проницаемостью является хорошим растворителем, так как в ней притяжение разноимённо заряженных ионов быстро уменьшается с увеличением расстояния.

Понятно, что, тем не менее, в растворе идёт и обратный процесс соединения ионов натрия и хлора в нейтральную молекулу, который называется *рекомбинацией* (рис. 4). В результате устанавливается динамическое равновесие, при котором число свободных ионов натрия и хлора в водном растворе остаётся неизменным.



*Рис. 4*

Если в раствор ввести электроды и подать на них напряжение, то свободные носители заряда начнут двигаться упорядоченно: отрицательные ионы – к аноду, а положительные – к катоду. Иными словами, через раствор пойдёт электрический ток.

***5.2. Оборудование для экспериментов***

Для исследования электролиза необходима электролитическая ванна. Это может быть любой прозрачный сосуд из стекла или пластика с электролитом и двумя электродами. Для наблюдения явлений, происходящих при электролизе, наиболее удобна плоскопараллельная стеклянная кювета, которую я и использовал в своих экспериментах.

В опытах лучше всего использовать платиновые электроды, так как они не вступают в реакцию с продуктами электролиза. Однако таких электродов у меня не имелось, и вместо них я использовал графит, который также не растворяется в электролите. Для получения графитовых электродов я взял простой карандаш, ножом аккуратно расщепил вдоль его деревянную оболочку и достал грифель. Затем отломил два одинаковых отрезка грифеля длиной 50 – 60 мм. Из одножильного медного провода в изоляции выгнул держатели электродов и очистил от изоляции концы длиной примерно 10 мм. К рабочему концу держателя приложил графитовый электрод, на место соединения надел соединительную планку и закрепил ее. При этом между графитовым электродом и медным проводом создался надёжный контакт.

На рис. 5 показаны исходные материалы и готовые электроды:

*1 – одножильный медный провод в хлорвиниловой изоляции; 2 – графитовые электроды из грифелей простого карандаша; 3 – отрезки термоусадочной трубки (я использовал вместо нее соединительную планку); 4 – электроды с держателями.*



*Рис. 5*

Оборудование для количественных экспериментов представлено на рис. 6: *1 – графитовый электрод; 2 – держатель электродов из двухжильного медного провода; 3 – полиэтиленовый корпус шприца; 4 – стеклянная плоскопараллельная кювета; 5 – соединительные провода; 6 – батарейки; 7 – мультиметр; 8 – спички; 9 – секундомер.*

**

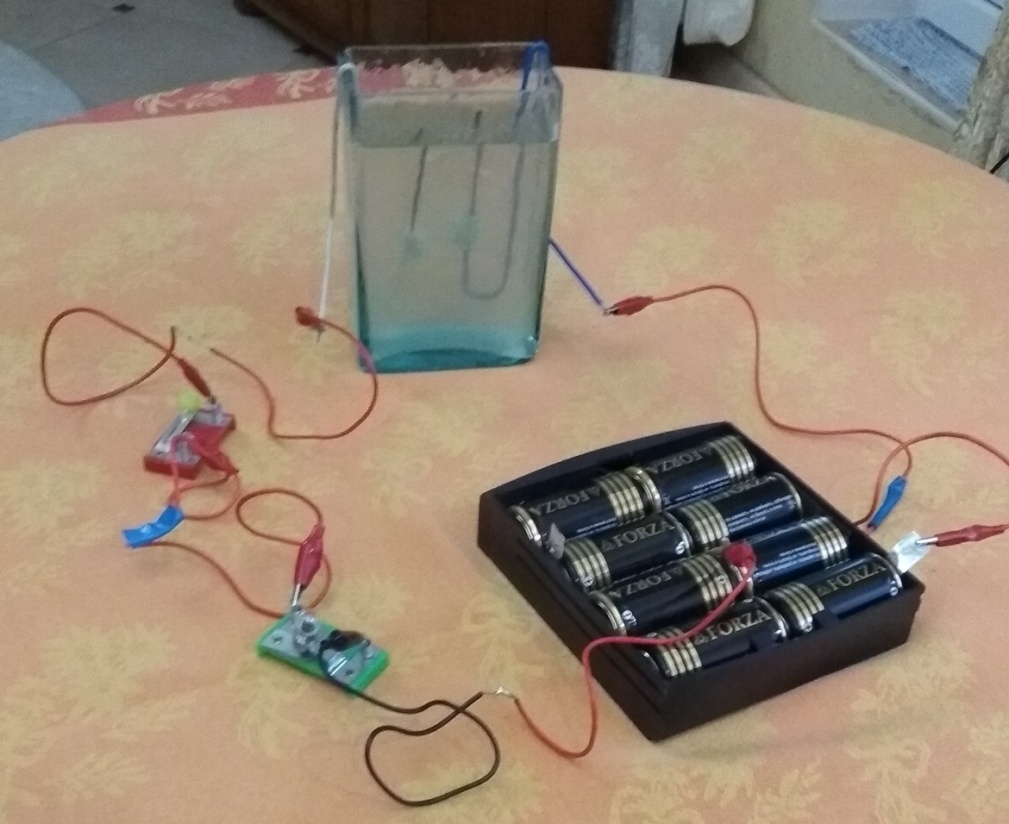
*Рис. 6*

***5.3. Качественные наблюдения электролиза***

**Опыт 1. Электропроводность раствора поваренной соли.** Для проведения опыта яприготовил насыщенный водный растворхлорида натрия. Для этого поваренную соль размешивал в тёплой воде до тех пор, пока на дне не остались нерастворившиеся кристаллики.Получившийся раствораккуратно перелил в плоскопараллельную прозрачную кювету. На противоположных стенках кюветы закрепил держатели графитовых электродов. К электродам подключил батарею гальванических элементов напряжением 4,5 В, с которой последовательно соединена лампочка карманного фонаря (3,5 В, 0,26 А).

В ходе опыта я увидел, что лампочка загорается и в электролите на электродах образуются пузырьки газов, которые отрываются и всплывают вверх (рис. 7).

Из опыта следует, что электролиз происходит, когда через электролит идёт электрический ток.



*Фото проведенного мной эксперимента*

**Опыт 2. Анализ газа, выделяющегося на аноде.** В процессе опыта я осторожно по запаху определил, что на аноде, соединённом с положительным полюсомисточника тока, выделяется хлор. Этоядовитый газ жёлтого цвета, вдыхатькоторый нельзя. Но опыт проходил быстро, и количество получаемого в нём хлора было невелико, поэтому опыт вполне безопасен, поскольку он проводился в хорошо проветриваемом помещении.



*Рис. 7*

**еОпыт 3. Анализ газа, выделяющегося на катоде.** На катоде, который соединен с отрицательным полюсом источника, выделялся газ беззапаха. Я добавил на поверхностьэлектролита каплю моющего средства «Фэйри». После этого я заметил, что возле катода начали расти мыльные пузыри.Когда я подносил к ним горящую спичку, пузыри лопались и содержащийся в них газ вспыхивал. Я сделал вывод, что возле катода в электролитеобразовывался водород: трудно представить себе другой горючий газ, появляющийся из водного раствора поваренной соли.

**Опыт 4. Движение ионов в электролите.** В этом опыте яподносил к кювете магнит так,чтобы вектор магнитной индукции былнаправлен перпендикулярно стенкамкюветы. Наблюдая за мельчайшимипузырьками газа, я обнаружил, чтовозле магнита электролит в кюветеприходит в движение в направлении,перпендикулярном направлению электрического тока. Это движение сталоболее заметно, когда я размешал в растворе немного крахмала.

Но магнитное поле действует с силой Лоренца только на движущиеся заряды. Поэтому из опыта следует, что в водном растворе поваренной соли действительно имеются свободные заряды, которые перемещаются от одного электрода к другому. Пользуясь правилом левой руки, я определил направление силы Лоренца, действующей на положительные и отрицательные ионы, движущиеся при электролизе в противоположных направлениях.

Выполнив качественные наблюдения, я обратился к законам электролиза и их теоретическому объяснению.

* 1. ***Электролиз водного раствора хлорида натрия***

Обдумывая проделанные опыты, я пришел к выводу, что по своим физическим и химическим свойствам ионы резко отличаются от нейтральных атомов. В самом деле, состоящий из нейтральных атомов хлор имеет жёлтый цвет и неприятный запах, а плавающие в воде отрицательные ионы хлора не имеют ни цвета, ни запаха. Если бросить в воду кусочек металлического натрия, можно увидеть бурную реакцию с хлопками и вспышками пламени, а положительные ионы натрия в электролите вообще не реагируют с водой.

Рассмотрим, как происходит электролиз водного раствора поваренной соли с точки зрения химической науки. При прохождении через электролит тока на катоде и аноде происходят реакции:

катод: 2H2O + 2ē = H2↑ + 2OH-

анод: 2Cl- – 2 ē = Cl2↑ (1)

Ионы натрия не восстанавливаются, а остаются в растворе, поскольку в электрохимическом ряду напряжений металлов натрий стоит перед водородом и уступает ему в химической активности. Суммарное ионное уравнение

2H2O + 2Cl- = H2↑ + Cl2↑ + 2OH-  (2)

Так как в растворе присутствуют ионы натрия Na+, то молекулярное уравнение имеет вид:

2NaCl + 2H2O → H2↑ + Cl2↑ + 2NaOH, (3)

причём гидроксид натрия образуется вблизи катода.

* 1. ***Количество молекул в заданном объеме идеального газа***

Теперь вновь обратимся к физике и найдём число *N* молекул в объёме *V* идеального газа в нормальных условиях, то есть при атмосферном давлении *p=*105 Па и температуре *t=*0 °С. Для этого используем уравнение состояния идеального газа произвольной массы:

**https://studfiles.net/html/2706/7/html_gtZ0uHw6b0.3nFX/img-TbtgLs.png** (4)

где *p –* давление, *V –* объём, *m –* масса, *M –* молярная масса газа, *R=*8,31 Дж/(моль∙К) *–* универсальная (молярная) газовая постоянная, *T –* абсолютная температура. Отсюда объём одного моля (*m=M*) идеального газа:

***Vm* = *RT*/*р*** (5)

Производя вычисления по полученной формуле, приходим к выводу,

что в нормальных условиях (*T=*273 К, *p=*1,013∙105Па) объём моля любого

газа составляет ***VМ* =22,4∙10-3 м3/моль**.

Количество молекул в этом объёме равно числу Авогадро *NМ* =*NА=* =6,02∙1023 моль-1. Значит, если в результате электролиза выделился газ объёмом *V*, то число молекул в этом объёме газа равно

***N=NA/VM ∙ V*** (6)

* 1. ***Электролиз и элементарный заряд***

Элементарным принято называть заряд, меньше которого не бывает, а

это и есть заряд, модуль которого равен модулю заряда электрона. Принципиальная схема экспериментальной установки для определения элементарного заряда в опытах по электролизу растворов приведена на рис.8.



*Рис. 8*

Источником тока является один или несколько соединённых последовательно гальванических элементов. Реостат *R*, в качестве которого можно использовать подходящий кусок нихромового провода, служит для регулировки силы тока, которая измеряется амперметром *A*.

Чтобы вывести формулу для вычисления величины элементарного заряда, нужно вспомнить, что молекула водорода состоит из двух атомов. Поэтому число ионов, образующих на катоде водород объёмом *V*, в 2 раза больше величины *N*, определяемой формулой (6). Каждый ион водорода несёт один положительный элементарный заряд *e*. Сила постоянного тока в электролите по определению равна отношению полного заряда *q* ко времени *t*, в течение которого заряд прошел через электролит: ***I = q* / *t*.** Полный заряд, перенесённый ионами водорода на катод, равен ***q* = *It* = 2*Ne***. Отсюда и из формулы (6) элементарный заряд равен

***е =It / 2N = VM / 2NA ∙ It / V*** (7)

Вычисления по этой формуле могут дать значение элементарного заряда, существенно отличающееся от общепринятого. Причина в том, что значение молярного объёма газа получено для нормальных условий, которые

обычно не совпадают с реальными. Поэтому необходим пересчёт величины

*VM*, учитывающий те значения давления и температуры, которые имеют место в момент проведения измерений.

Лучше, однако, сделать вывод расчётной формулы, используя зависимость давления *p* идеального газа от концентрации *n* его молекул и

температуры *T:*,

***p = nkT =N / V∙ kT*** (8)

где *N* – число молекул газа в объёме *V*, *k =*1,38∙1023 Дж/К – постоянная Больцмана. Так как сила тока через электролит равна

***I = q / t = 2eN / t***(9)

где 2*e* – заряд двух ионов водорода, образующих молекулу, то с учётом (8) получаем:

***I = 2epV / kTt***

Отсюда элементарный заряд

***e = kTIt / 2pV*** (10)

Остаётся только измерить входящие в эту формулу величины и

вычислить модуль заряда электрона.

* 1. ***Экспериментальное определение заряда электрона***

Подготовленная к работе экспериментальная установка изображена на рис. 9 *а*.



*Рис. 9*

В качестве сосуда для электролита использован цилиндрический стакан, вырезанный из пластиковой бутылки. На стенке стакана закреплены проволочные держатели графитовых электродов. Электрическая цепь состоит из последовательно соединённых источника тока, мультиметра, переведённого в режим амперметра, и электролитической ванны. На катод одет цилиндрический корпус шприца, закреплённый на специальной стойке, изготовленной из алюминиевого или медного провода в изоляции.



*Фото проведенного мной эксперимента*

Чтобы приготовить установку к измерениям, я снял крышку шприца,

в стакан залил водный раствор хлорида натрия и герметично закрыл крышку (рис. 9 *б*). Далее я записал значение объёма оставшегося в шприце воздуха, замкнул цепь и одновременно включил секундомер. Затем я записал значение силы тока, идущего через электролит. Значения объёма выделившегося водорода и соответствующие им значения времени с момента начала электролиза я вносил в таблицу. Потом я изменял силу тока и вновь повторял опыт. По полученным результатам построил графики зависимости объёма собранного в шприце водорода от времени.

***Таблицы для графиков зависимости объёма собранного в шприце водорода от времени.***

***I = 0,42A***

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **t, с** | 10 | 22 | 25 | 40 | 47 | 60 | 70 | 75 | 80 | 85 |
| **V, мл** | 0,4 | 1,0 | 1,4 | 2,0 | 2,45 | 3,0 | 3,4 | 4,0 | 4,4 | 5,0 |

***I = 0,32A***

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **t, с** | 10 | 24 | 30 | 50 | 55 | 75 | 82 | 95 | 105 | 120 |
| **V, мл** | 0,4 | 1,0 | 1,4 | 2,0 | 2,45 | 3,0 | 3,4 | 4,0 | 4,4 | 5,0 |

***I = 0,18A***

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **t, с** | 22 | 45 | 62 | 89 | 113 | 134 | 147 | 170 | 188 | 215 |
| **V, мл** | 0,4 | 1,0 | 1,4 | 2,0 | 2,45 | 3,0 | 3,4 | 4,0 | 4,4 | 5,0 |

***I = 0,10A***

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **t, с** | 45 | 87 | 125 | 170 | 205 | 250 | 284 | 338 | 360 | 415 |
| **V, мл** | 0,4 | 1,0 | 1,4 | 2,0 | 2,45 | 3,0 | 3,4 | 4,0 | 4,4 | 5,0 |

По результатам данных измерений я построил графики (рис. 10), которые показывают, ***что в условиях эксперимента независимо от силы тока I объём выделившегося на катоде водорода V прямо пропорционален времени электролиза t.***



*Рис. 10*

**Демон** Далее я исследовал зависимость объёма *V* водорода от силы тока *I*. У меня опять получился график в виде прямой, проходящей через начало координат. На рис. 11 построен такой график по результатам, приведённым на рис. 10 для момента времени *t* = 80с.

***t=80 c***

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **I, A** | 0 | 0,10 | 0,18 | 0,32 | 0,42 |
| **V, мл** | 0 | 1,0 | 1,8 | 3,3 | 4,4 |

**

*Рис. 11*

**Ри**Так как сила тока равна заряду, проходящему через поперечное сечение проводника за единицу времени, то полученные графики показывают, что ***объём выделившегося на катоде водорода прямо пропорционален прошедшему через электролит заряду и времени***, в течение которого это произошло.

Посмотрев на барометр и термометр, определяем атмосферное давление и температуру в период выполнения эксперимента. Подставляем получившиеся значения в формулу (10) и вычисляем значение элементарного заряда.

Например, в опытах, для которых построены графики на рис. 10 и 11, получились такие результаты: *T=* 298 К, *I* = 0,42 А, *t* = 80 с, *p* = 0,98 ∙105 Па,

*V=*4,4∙10-6 м3. Подстановка этих данных в формулу (10) даёт для элементарного заряда значение *e =* 1,6∙10-19 Kл, погрешность которого не превышает 10 %.

***e = kTIt /* 2pV** е = 1,38 ∙10-23 Дж/К ∙ 298К ∙ 0,42А ∙ 80с / 2 ∙ 0,98∙ 105 Па ∙ 4,4 ∙10-6 м3 = 160,22337 ∙ 10-22 Кл ≈ 1,6∙10-19 Kл

**0*Заключение***

В ходе проделанной мной исследовательской работы я провёл эксперименты по процессу электролиза раствора поваренной соли NaCl в дистиллированной воде и определению заряда электрона в домашних условиях.

С помощью полученной формулы ***e = kTIt /* 2pV** мне удалось подтвердить свою гипотезу о том, что на экспериментальной установке из доступных приборов в домашних условиях можно с достаточно высокой точностью определить заряд электрона. У меня получилось значение е =1,6 ∙ 10 -19  Кл, погрешность которого не превышает 10% и является близким к точному значению **е0 = −1,6021766208(98)⋅10−19** [**Кл**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D0%BB%D0%BE%D0%BD), впервые определенному в опытах А.Ф. Иоффе и Р. Милликена более столетия назад.

Спустя всего десятилетие после опытов Милликена и Иоффе, Валерий Брюсов посвятил электрону целое стихотворение («Мир электрона», 1922 г.), в котором писал:

*Быть может, эти электроны —*

*Миры, где пять материков,*

*Искусства, знанья, войны, троны*

*И память сорока веков!*

*Ещё, быть может, каждый атом —*

*Вселенная, где сто планет;*

*Там — всё, что здесь, в объёме сжатом,*

*Но также то, чего здесь нет.*

*Их меры малы, но всё та же*

*Их бесконечность, как и здесь;*

*Там скорбь и страсть, как здесь, и даже*

*Там та же мировая спесь.*

Удивительно, но даже сегодня эти строки Брюсова о загадочности природы электрона все ещё актуальны! И даже сегодня электрон для ученых – это целая Вселенная, отдельный гигантский микромир, полный неразгаданных тайн и неожиданных сюрпризов…

Классическая современная наука рассматривает электрон как [фундаментальную элементарную частицу](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%83%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0), не обладающую структурой и размерами. Эксперименты по сверхточному определению магнитного момента электрона ([Нобелевская премия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%8F) 1989 года) показывают, что размеры электрона не превышают 10−20 см. Проведённые до этого эксперименты по столкновению электронов высоких энергий давали большее значение 10−17 см.

Однако уже с середины ХХ века появились новые догадки и теории о строении электрона. Ведь еще в ХХ веке большинство обнаруженных прежде частиц стали терять гордое звание "элементарные". Началось все с протона и нейтрона — частиц, составляющих атомное ядро. Было доказано, что они состоят из более мелких частиц, которые называются ***кварки***. Получается, что раз они составные, то значит, всё же, не элементарные.

А вот электрону повезло больше - он носил это гордое имя дольше, чем любая атомная частица. Но, в конце концов, и он был вынужден покинуть ряды элементарных частиц. Дело в том, что ещё примерно полвека назад физики предсказали возможность разделения электрона на квазичастицы  **- *холон, спинон и орбитон.***А вот добиться возникновения спинона и холона в реальности удалось не так давно — в 2006 году. Тогда группа ученых во главе с Ким Чанюном из университета Енсей в Сеуле (Республика Корея), Эли Ротенберг и Шень Чжи Сюнем из Стэнфордского университета сообщила об обнаружении чётких спектральных сигналов спинонов и холонов в одномерных образцах SrCuO2  (купрата стронция). Затем в 2012 году другая группа физиков из Германии, Швейцарии, Франции и Нидерландов под руководством Джастин Шлаппа смогла "отделить" орбитон в том же веществе SrCuO2.

Поскольку существование орбитона наконец-то экспериментально подтверждено, в современной экспериментальной науке электрон окончательно лишился почетного звания элементарной частицы. Однако эксперимент ученых сводился вовсе не к исправлению терминологии — орбитон и сам по себе представляет немалую ценность. Например, его существование может объяснить некоторые аномалии высокотемпературных сверхпроводников — почему в них возникает сверхпроводимость в таких условиях, в каких вроде бы не должна возникать. Кроме того, движение орбитонов и спинонов можно будет использовать при создании квантовых компьютеров — эти квазичастицы двигаются настолько быстро, что их перемещение от одной квантовой точки к другой занимает фемтосекунды. А значит, перенос информации будет почти что мгновенный…

Итак, несмотря на то, что электрон является первой открытой элементарной частицей в физике, до сих пор природа электрона остаётся загадочной для учёных. Теория электрона считается не законченной, поскольку ей присущи внутренние логические противоречия и множество вопросов, на которые у официальной науки пока нет ответов. Я уверен, что самые удивительные и замечательные открытия об электроне, его природе, свойствах и возможностях ещё впереди...

***Литература***

1. Милликен Р.Электроны (+ и -), протоны, фотоны, нейтроны и космические лучи. – М. –Л.: ГОНТИ, 1939. – 312 с.
2. Дуков В. М. Электрон. – М.: Просвещение, 1966. – 236 с.
3. Калашников С. Г. Электричество. – М.: Физматлит, 2004. – 624 с.
4. Габриелян О. С., Лысова Г. Г. Химия. Углубленный уровень. 11 кл.: учебник. – М.: Дрофа, 2015. – 400 с.
5. Мякишев Г. Я. Физика. 10 класс: учеб. для общеобразоват. организаций с прил. на электрон. носителе: базовый и профил. уровни / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский; под ред. Н. А. Парфентьевой. – М.: Просвещение, 2013. – 366 с.
6. Майер В.В. Вараксина Е.И. Определение заряда электрона в домашней лаборатории. - Потенциал. Математика. Физика. Информатика № 09 (153) 2017.
7. Википедия. Электрон. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD>
8. Википедия. Открытие электрона. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%82%D0%BA%D1%80%D1%8B%D1%82%D0%B8%D0%B5_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B0>
9. Викизнание. Электрон (частица).

<http://www.wikiznanie.ru/ruwz/index.php/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD_%28%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0%29>

1. Опыты Милликена и Иоффе по измерению заряда электрона. Дискретность электрического заряда.

<https://studwood.ru/1867549/matematika_himiya_fizika/opyty_millikena_ioffe_izmereniyu_zaryada_elektrona_diskretnost_elektricheskogo_zaryada>

1. Школьная энциклопедия. Измерение электрического заряда. Опыт Милликена. Опыт Иоффе.

<http://ency.info/materiya-i-dvigenie/elektrichestvo-i-magnetizm/457-izmerenizaryada-opyt-millikena>

1. Википедия. Электролит. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%82>
2. Викизнание. Электролит. <http://www.wikiznanie.ru/wikipedia/index.php/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%82>
3. Википедия. Электролиз. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%B7>
4. И.В. Яковлев. Электрический ток в электролитах.

<https://ege-study.ru/ru/ege/materialy/fizika/elektricheskij-tok-v-elektrolitax/>

1. «Физика - 11 класс», учебник Мякишев, Буховцев, Чаругин. Сайт «Класс!ная физика» <http://class-fizika.ru/11_5.html>
2. А. Евсеев. Электрон отныне не элементарная частица. Сайт МирТесен. <https://cosmos.mirtesen.ru/blog/43074831674/Elektron-otnyine-ne-elementarnaya-chastitsa>