

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОСТОЧНО-СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра «Метрология, стандартизация и сертификация»

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Курс лекций «Универсальные физические постоянные»

Часть I

Составитель: Жаргалов Б.С.

Улан-Удэ, 2002 г.

Курс лекций «Универсальные физические постоянные» предназначен для студентов направления «Метрология, стандартизация и сертификация» при изучении дисциплины «Физические основы измерений». В работе дан краткий обзор об истории открытий физических постоянных крупнейшими физиками мира, которые в последующем легли в основу международной системы единиц физических величин.

Содержание

Введение

Гравитационная постоянная

Постоянная Авогадро и Больцмана

Постоянная Фарадея

Заряд и масса электрона

Скорость света

Постоянные Планка Ридберга

Масса покоя протона и нейтрона

Заключение

Список использованной литературы

Введение

Универсальные физические постоянные – это величины, входящие в качестве количественных коэффициентов в математические выражения фундаментальных физических законов или являющиеся характеристиками микрообъектов.

Не следует воспринимать таблицу универсальных физических постоянных как нечто уже завершенное. Развитие физики продолжается, и этот процесс будет неизбежно сопровождаться появлением новых констант, о которых сегодня мы и не догадываемся.

Таблица 1

Универсальные физические постоянные

Наименование	Символ	Числовое значение в СИ
Гравитационная постоянная	G	$6,6720 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$
Постоянная Авогадро	N_A	$6,022045 \cdot 10^{22} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	k	$1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Постоянная Фарадея	F	$9,648456 \cdot 10^4 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$
Заряд электрона	e	$1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона	m_e	$9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Скорость света в вакууме	c	$2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$
Постоянная Планка	h	$6,626176 \cdot 10^{-34} \cdot \text{Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Ридберга	R_∞	$1,0973731 \cdot 10^{-7} \cdot \text{м}^{-1}$
Масса покоя протона	m_p	$1,6726485 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя нейтрона	m_n	$1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Рассматривая таблицу, можно заметить, что значения констант измерены с большой точностью. Однако возможно более точное знание величины той или иной константы оказывается принципиально важным для науки, поскольку это часто является критерием справедливости одной физической теории или ошибочности, другой. Надежно измеренные экспериментальные данные являются фундаментом для построения новых теорий.

Точность измерения физических констант представляет собой точность наших знаний о свойствах окружающего мира. Она дает возможность сравнивать выводы основных законов физики и химии.

Гравитационная постоянная

О причинах, вызывающих притяжение тел друг к другу, размышляли еще в глубокой древности. Один из мыслителей древнего мира – Аристотель (384-322 гг. до н.э.) делил все тела на тяжелые и легкие. Тяжелые тела – камень – падают вниз, стремясь достичь введенного Аристотелем некоего «центра мира», легкие тела – дым от костра – улетают вверх. «Центром мира» согласно учению другого древнегреческого философа – Птолемея являлась Земля, все же остальные небесные тела вращались вокруг нее. Авторитет Аристотеля был настолько велик, что вплоть до XV в. его взгляды не подвергались сомнению.

Первым подверг критике предположение о «Центре мира» Леонардо да Винчи (1452-1519). Несостоятельность взглядов Аристотеля показали опыт первого в истории физики

ученого-экспериментатора Г.Галилея (1564-1642). Он сбросил с вершины знаменитой Пизанской башни чугунное ядро и деревянный шар. Различные по массе предметы упали на Землю в одно и то же время. Простота экспериментов Галилея не умаляет их значения, поскольку это были первые, надежно установленные путем измерений экспериментальные факты.

Все тела падают на Землю с одинаковым ускорением – вот основной вывод из опытов Галилея. Он же измерил и значение ускорение свободного падения, которое с учетом последующих уточнений оказалось равным: $g_0 = 9.8 \text{ м/с}^2$.

Выдающийся польский ученый Н.Коперник (1473-1543) разработал схему гелиоцентрического устройства нашей планетной системы, согласно которой все планеты солнечной системы вращаются вокруг Солнца. Однако Коперник не смог указать причины, под действием которых происходит это вращение. Законы движения планет были выведены в окончательном виде немецким астрономом И.Кеплером (1571-1630). Кеплер все же не понял, что сила тяготения определяет движение планет. Англичанин Р.Кук в 1674 г. показал, что движение планет по эллиптическим орбитам согласуется с предположением о том, что все они притягиваются Солнцем.

Исаак Ньютон (1642-1727) в 23 –летнем возрасте пришел к выводу, что движение планет происходит под действием радиальной силы притяжения, направленной к солнцу и по модулю обратно пропорциональной квадрату расстояния между Солнцем и планетой.

Но это предположение необходимо было проверить Ньютон, предположив, что такая же по происхождению сила тяготения удерживает около Земли ее спутник – Луну, выполнил несложный расчет. Он исходил из следующего, Луна движется вокруг Солнца по орбите, которую в первом приближении можно считать круговой. Ее центростремительное ускорение a , можно рассчитать по формуле

$$a = r\omega^2$$

где r -расстояние от Земли до Луны, ω - угловое ускорение Луны. Величина r равна шестидесяти земным радиусам ($R_3=6370 \text{ км}$). Ускорение ω рассчитывается из периода обращения Луны вокруг Земли, который равен 27,3 сут: $\omega=2\pi \text{ рад}/27,3 \text{ сут}$

Тогда ускорение a равно:

$$a = r\omega^2 = 60 \cdot 6370 \cdot 10^5 \cdot (2 \cdot 3,14 / 27,3 \cdot 86400)^2 \text{ см/с}^2 = 0,27 \text{ см/с}^2$$

Но если справедливо то, что силы тяготения убывают обратно пропорционально квадрату расстояния, то ускорения свободного падения $g_{\text{л}}$ на Луне должно быть:

$$g_{\text{л}} = g_0 / (60)^2 = 980 / 3600 \text{ см/с}^2 = 0,27 \text{ см/с}^2$$

В результате расчетов получено равенство

$$a = g_{\text{л}}$$

т.е. сила, удерживающая Луну на орбите, есть не что иное как сила притяжения Луны Землей. Это же равенство показывает справедливость предположений Ньютона о характере изменения силы с расстоянием. Все это дало основание Ньютону записать закон тяготения в окончательном математическом виде:

$$F = G (M_1 M_2 / r^2)$$

где F –сила взаимного притяжения, действующая между двумя массами M_1 и M_2 удаленными друг от друга на расстояние r .

Коэффициент G входящий в закон всемирного тяготения, пока еще таинственная гравитационная постоянная. О ней ничего неизвестно - ни ее значение, ни зависимость от свойств притягивающихся тел.

Поскольку этот закон был сформулирован Ньютоном одновременно с законами движения тел (законами динамики), ученые получили возможность теоретически рассчитывать орбиты планет.

В 1682 г. английский астроном Э.Галлей по формулам Ньютона вычислил время вторичного прихода к Солнцу наблюдавшейся в то время на небе яркой кометы. Комета вернулась строго в расчетное время, подтверждая истинность теории.

Значение закона тяготения Ньютона в полной мере проявилось в истории открытия новой планеты.

В 1846 г. расчеты положения этой новой планеты провел французский астроном У. Леверье. После того как он сообщил ее небесные координаты немецкому астроному И. Галле, неизвестная планета, названная в последствии Нептун, была обнаружена точно в расчетном месте.

Несмотря на очевидные успехи, теория тяготения Ньютона еще долгое время не была признана окончательно. Было известно значение постоянной тяготения G в формуле закона.

Не зная значения гравитационной постоянной G , нельзя рассчитать F . Однако нам известно ускорение свободного падения тел: $g_0 = 9.8 \text{ м/с}^2$, что позволяет теоретически оценить значение гравитационной постоянной G . В самом деле, сила под действием которой шар падает на Землю, есть сила притяжения шара Землей:

$$F^1 = G(M_{111} M_3 / R_3^2)$$

По второму закону динамики эта сила сообщит телу ускорение свободного падения:

$$g_0 = F / M_{111} = G M_3 / R_3^2$$

Зная значение массы Земли и ее радиуса, можно рассчитать значение гравитационной постоянной:

$$G = g_0 R_3^2 / M_3 = 9.8 * (6370 * 10^3)^2 / 6 * 10^{24} \text{ м}^3 / \text{с}^2 \text{ кг} = 6,6 * 10^{-11} \text{ м}^3 / \text{с}^2 \text{ кг}$$

В 1798 г. английский физик Г. Кавендиш обнаружил притяжение между небольшими телами в земных условиях. Два маленьких свинцовых шарика массами по 730 г. подвешивали на концах коромысла. Затем к этим шарикам подводили два больших свинцовых шара массами по 158 кг. В этих экспериментах Кавендиш впервые наблюдал притяжение тел друг другу. Он же экспериментально определил значение гравитационной постоянной:

$$G = (6,6 \pm 0,041) * 10^{-11} \text{ м}^3 / (\text{с}^2 \text{ кг})$$

Опыты Кавендиша имеют громадное значение для физики. Во-первых, было измерено значение гравитационной постоянной, а во-вторых, эти опыты доказали всеобщность закона тяготения.

Постоянные Авогадро и Больцмана

Как устроен мир, размышляли еще в глубокой древности. Сторонники одной точки зрения полагали, что имеется некий первичный элемент, из которого состоят все вещества. Таким элементом, по мнению древнегреческого философа Геосида, явилась Земля, Фалес предполагал в качестве первичного элемента воду, Анаксимен - воздух, Гераклит - огонь, Эмпедокл допускал одновременное существование всех четырех первичных элементов. Платон считал, что при определенных условиях один первичный элемент может переходить в другой.

Существовала и принципиально другая точка зрения. Левкипп, Демокрит и Эпикур представляли вещество состоящим из маленьких неделимых и непроницаемых частиц, отличающихся друг от друга размером и формой. Эти частицы они называли атомами (от греч. «атомос» - неделимый). Взгляд на строение вещества не был подкреплен экспериментально, а может считаться интуитивной догадкой древних ученых.

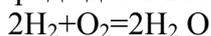
Впервые корпускулярную теорию строения вещества, в которой строение материи объяснялось с атомистических позиций, создал английский ученый Р. Бойль (1627-1691).

Французский ученый А. Лавуазье (1743-1794) дал первую в истории науки классификацию химических элементов.

Корпускулярная теория получила дальнейшее развитие в трудах выдающегося английского ученого-химика Дж. Дальтона (1776-1844). В 1803 г. Дальтон открыл закон простых кратных отношений, согласно которому различные элементы могут соединиться друг с другом в соотношениях 1:1, 1:2 и т.п.

Парадоксом истории науки является абсолютное непризнание Дальтоном открытого в 1808 г. французским ученым Ж.Гей-Люсаком закона простых объемных отношений. Согласно этому закону объемы как участвующих в реакции газов, так и газообразных продуктов реакции находятся в простых кратных соотношениях. Например, соединения 2 л водорода и 1л кислорода дает 2 л. водяных паров. Это противоречило теории Дальтона отвергал закон Гей-люсака как не соответствующий его атомной теории.

Выход из этого кризисного положения был указан Амедео Авогадро. Он нашел возможность объединить атомистическую теорию Дальтона с законом Гей-Люсака. Гипотеза состоит в том, что число молекул всегда одно и то же в одинаковых объемах любых газов или всегда пропорционально объемам. Авогадро тем самым впервые вводит в науку понятие молекулы как соединение атомов. Это объясняло результаты Гей-Люсака: 2 л молекул водорода в соединении с 1 л молекул кислорода дают 2л молекул водяных паров:



Исключительную важность гипотеза Авогадро приобретает в связи с тем, что из нее вытекает существование постоянного числа молекул в моле любого вещества. В самом деле если обозначить молярную массу (массу вещества, взятого в количестве одного моля) через M , а относительную молекулярную массу через m , то очевидно, что

$$M = N_A m$$

где N_A -число молекул в моле. Оно одинаково для всех веществ:

$$N_A = M/m$$

Используя это, можно получить еще один важный результат. Гипотеза Авогадро гласит, что одинаковое число молекул газа всегда занимает одинаковый объем. Следовательно, объем V_0 , который занимает моль любого газа при нормальных условиях (температура 0C° и давление $1.013 \cdot 10^5 \text{ Па}$), является постоянной величиной. Этот молярный объем был вскоре изменен экспериментально и оказался равным:

$$V_0 = 22,41 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Одной из первоочередных задач физики стало определение числа молекул в моле любого вещества N_A , получившего в дальнейшем постоянная Авогадро.

Австрийский ученый Людвиг Больцман (1844-1906), выдающийся физик-теоретик, автор многочисленных фундаментальных исследований в различных областях физики, он горячо отстаивал анатомическую гипотезу.

Больцман впервые рассмотрел важный вопрос о распределении тепловой энергии по различным степеням свободы частиц газа. Он строго показал, что средняя кинематическая энергия частиц газа E пропорциональна абсолютной температуре T :

$$E \sim T$$

Коэффициент пропорциональности можно найти пользуясь основным уравнением молекулярно- кинематической теории:

$$p = 2/3 n \bar{E}$$

Где n – концентрация молекул газа. Умножив обе части этого равенства на молекулярный объем V_0 . Поскольку $n V_0$ есть число молекул в моле газа, получим :

$$p V_0 = 2/3 N_A \bar{E}$$

С другой стороны, уравнение состояния идеального газа определяет произведение $p V_0$ как

$$p V_0 = RT$$

Следовательно, $2/3 N_A \bar{E} = RT$

Или $E = 3 RT/2N_A$

Отношение R/N_A является постоянной величиной, одинаковой для всех для всех веществ. Эта новая универсальная физическая постоянная получила, по предложению М. Планка, название *постоянной Больцмана* k

$$k = R/N_A$$

Заслуги Больцмана в создании молекулярно-кинетической теории газов получили тем самым должное признание.

Численное значение постоянной Больцмана равно:

$$k=R/N_A=8,31\text{ Дж моль}/6,023\cdot 10^{23}\text{ К моль}=1,38\cdot 10^{-16}\text{ Дж/К}.$$

Постоянная Больцмана как бы связывает характеристики микромира (средняя кинетическая энергия частиц E) и характеристики макромира (давление газа и его температуру).

Постоянная Фарадея

Изучение явлений, так или иначе связанных с электроном и его движением, позволили с единых позиций объяснить самые разнообразные физические явления: электричества и магнетизм, свет и электромагнитные колебания. Строение атома и физику элементарных частиц.

Еще за 600 лет до н.э. Фалес Милетский обнаружил притяжение легких тел (пушинки, кусочки бумаги) натертым янтарем (янтарь в переводе с древнегреческого означает электрон).

Работы, в которых качественно описываются те или иные электрические явления, появились вначале очень скупо. В 1729 г. С.Грей установил разделение тел на проводники электрического тока и изоляторы. Француз Ш.Дюфэ обнаружил, что сургуч, натертый мехом, также электризуется, но противоположно электризации стеклянной палочки.

Первая работа, в которой была предпринята попытка теоретически объяснить электрические явления, была написана американским физиком В.Франклином в 1747 г. Для объяснения электризации он предложил существование некой «электрической жидкости» (флюида), которая входит в качестве составной части во всякую материю. Наличие двух видов электричества он связывал с существованием двух типов жидкостей-«положительной» и «отрицательной». Обнаружив, что при трении друг о друга стекло и шелк электризуются по-разному.

Именно Франклин первым высказал предположение об атомарной, зернистой природе электричества «Электрическая материя состоит из частичек, которые должны быть чрезвычайно мелкими».

Основными понятиями в науке об электричестве удалось сформулировать лишь после того, как появились первые количественные исследования. Измеряя силу взаимодействия электрических зарядов, французский ученый Ш.Кулон в 1785 г. установил закон взаимодействия электрических зарядов:

$$F=k q_1q_2/r^2$$

где q_1 и q_2 – электрические заряды, r -расстояние между ними,

F – сила взаимодействия между зарядами, k - коэффициент пропорциональности.

Трудности с использованием электрических явлений во многом были вызваны тем, что в распоряжении ученых не было удобного источника электрического тока. Такой источник в 1800 г. изобрел итальянский ученый А.Вольта – это был столб из цинковых и серебряных кружочков, разделенных смоченной в подсоленной воде бумагой. Начались интенсивные исследования прохождения тока через различные вещества.

Уже в 1801 г. было установлено, что при пропускании тока через растворы солей на электродах происходит выделение вещества. Полученное явление было названо электролизом, оно содержало в себе первые указания на то, что материя и электричество связано друг с другом. Важнейшие количественные исследования в области электролиза выполнил величайший английский физик М.Фарадей (1791-1867). Он установил, что масса вещества, выделившегося на электроде при прохождении электрического тока, пропорциональна силе тока и времени (закон электролиза Фарадея). Исходя из этого, он показал, что для выделения на электродах массы вещества, численно равной M/n (M -молярная масса вещества, n - его валентность), нужно пропустить через электролит строго определенный заряд F . Таким образом в физике появилась еще одна важнейшая универсальная F , равная как показали измерения, $F=96\,484,5$ Кл/моль.

Впоследствии постоянная F была названа *числом Фарадея*. Анализ явления электролиза привел Фарадея к мысли, что носителем электрических сил являются не какие-либо электрические жидкости, а атомы-частицы материи. “Атомы материи каким-то образом одарены электрическими силами”, - утверждает он.

Фарадей впервые обнаружил влияние среды на взаимодействие электрических зарядов и уточнил вид закона Кулона:

$$F = q_1 q_2 / \varepsilon r^2$$

Здесь- ε - характеристика среды, так называемое диэлектрическая постоянная. На основании этих исследований Фарадей отверг действие электрических зарядов на расстоянии (без промежуточной среды) и ввел в физику совершенно новое и важнейшее представление о том, что носителем и передатчиком электрического влияния является электрическое поле!

Заряд и масса электрона

Эксперименты по определению постоянной Авогадро заставили физиков думать о том, не слишком ли большое значение придается характеристикам электрического поля. Не существует ли более конкретный, более материальный носитель электричества? Впервые эту мысль четко в 1881г. выразил Г.Гельмольц: «Если мы допускаем существование химических атомов, то мы принуждены заключить отсюда далее, что также и электричество, как положительное, так и отрицательное, разделяется на определенные элементарные количества, которые играют роль атомов электричества».

Расчет этого «определенного элементарного количества электричества» выполнил ирландский физик Дж.Стоней (1826-1911). Он предельно прост. Если для выделения одного моля одновалентного элемента при электролизе требуется заряд, равный 96484,5 Кл, а в одном моле содержится $6 \cdot 10^{23}$ атомов, то очевидно, что разделив число Фарадея F на число Авогадро N_A , мы получаем количество электричества, необходимое для выделения одного атома вещества. Обозначим эту минимальную порцию электричества через e :

$$E = F / N_A = 1,6 \cdot 10^{-18} \text{ Кл.}$$

В 1891 г. Стоней предложил назвать эту минимальную порцию электричества электроном. Вскоре это было принято всеми.

Универсальные физические постоянные F и N_A - в соединении с интеллектуальными усилиями ученых вызвали к жизни еще одну постоянную – заряд электрона e .

Факт существования электрона как самостоятельной физической частицы был установлен в исследованиях при изучении явлений, связанных с прохождением электрического тока через газы. И опять мы обязаны воздать должное проницательности Фарадея, впервые начавшего эти исследования в 1838 г. Именно эти исследования привели к открытию так называемых катодных лучей и в конечном счете к открытию электрона.

Для того чтобы убедиться в том, что катодные лучи действительно представляют собой поток отрицательно заряженных частиц, необходимо было в прямых экспериментах определить массу этих частиц и их заряд. Эти эксперименты 1897г. осуществил английский физик Дж. Дж. Томсон. Одновременно он использовал отклонение катодных лучей в электрическом поле конденсатора и в магнитном поле. Как показывают расчеты, угол отклонения лучей θ в электрическом поле напряженностью δ равен:

$$\theta = e\delta / m \cdot l / v^2,$$

где e - заряд частицы, m - ее масса,

l - длина конденсатора,

v – скорость частицы (она известна).

При отклонении лучей в магнитном поле B угол отклонения α равен:

$$\alpha = eB / m \cdot l / v$$

При $\theta \approx \alpha$ (что достигалось в опытах Томсона) можно было определить v , а затем рассчитать и отношение e / m является константой, не зависящей от природы газа. Томсон

первый четко сформулировал мысль о существовании новой элементарной частицы вещества, поэтому он по праву считается открывателем электрона.

Честь прямого измерения заряда электрона и доказательства того, что этот заряд действительно является мельчайшей неделимой порцией электричества, принадлежит замечательному американскому физика Р.Э.Милликену. В пространство между пластинками конденсатора через верхнее окошко впрыскивались капли масла из пульверизатора. Теория и эксперимент показали, что при медленном падении капли сопротивление воздуха приводит к тому, что скорость ее становится постоянной. Если напряженность поля ϵ между пластинами равна нулю, то скорость капли v_1 равна :

$$v_1 = fP$$

где P —вес капли,

f - коэффициент пропорциональности.

При наличии электрического поля скорость капли v_2 определяется выражением:

$$v_2 = f(q\epsilon - P),$$

где q - заряд капли. (Предполагается, что сила тяжести и электрическая сила направлены противоположно друг другу.) Из этих выражений следует, что

$$q = P/\epsilon v_1 * (v_1 + v_2).$$

Для измерения заряда капель Милликен использовал открытые в 1895 г В.К.Рентгеном лучи. Эти невидимые для глаза лучи испускаются твердыми телами при падении на них потока быстрых электронов.

Замечательной отличительной способностью их является то, что они могут ионизировать воздух. Ионы воздуха захватываются каплями, в результате чего изменяется заряд капель. Если обозначить заряд капли после захвата иона через q' , а ее скорость через v_2' , то изменение заряд дельта $q = q' - q$

$$\text{дельта } q = P/\epsilon v_1 * (v_1 - v_2'),$$

величина $P/\epsilon v_1$ для данной капли является постоянной. Таким образом, изменение заряда капли оказывается сведенным к измерению пути, пройденного каплей масла, и времени, за которое был пройден этот путь. Но время и путь можно было легко и достаточно точно определить на опыте.

Многочисленные измерения Милликена показали, что всегда, независимо от размеров капли, изменение заряда является целым кратным от некоторого наименьшего заряда e :

дельта $q = ne$, где n - целое число. Таким образом, в опытах Милликена было установлено существование минимального количества электричества e . Опыты убедительно доказали атомистическую структуру электричества.

Эксперименты и расчеты позволили определить значение заряда e

$$e = 1.6 * 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Реальность существования минимальной порции электричества была доказана, сам Милликен за эти реакции в 1923г. был удостоен Нобелевской премии.

Теперь, используя известное из опытов Томсона значение удельного заряда электрона e/m и e , можно вычислить и массу электрона m_e .

Ее значение оказалось равным:

$$m_e = 9,11 * 10^{-28} \text{ г.}$$

Скорость света

Впервые метод прямого измерения скорости света предложил основоположник экспериментальной физики Галилей. Его идея была очень проста. Два наблюдателя с фонарями располагались на расстоянии нескольких километров друг от друга. Первый открывал заслонку на фонаре, посылая в направлении второго световой сигнал. Второй заметив свет фонаря, открывал заслонку своего и посылал сигнал в сторону первого наблюдателя. Первый наблюдатель измерял время t , прошедшее между открытием им

своего фонаря и временем, когда он заметил свет второго фонаря. Скорость света c , очевидно равна :

$$C=2s/t$$

где S - расстояние между наблюдателями,
 t – измеренное время.

Однако первые опыты, предпринятые во Флоренции по этому методу, не дали однозначных результатов. Уж очень малым и трудным для измерения оказался промежуток времени t . Все же из опытов следовало, что скорость света конечна.

Честь первого измерения скорости света принадлежит датскому астроному О.Ремеру. Проводя в 1676г. наблюдения затмения спутника Юпитера, он заметил, что когда Земля находится на отдаленной от Юпитера точке своей орбиты, спутник Ио появляется из тени Юпитера на 22 мин позже. Объясняя это, Ремер писал: «Это время свет употребляет на прохождение места от моего первого наблюдения до теперешнего положения». Разделив диаметр земной орбиты D на время запаздывания, можно было получить значение света c . Во времена Ремера, D было известно неточно, поэтому из его измерений следовало, что $c \approx 215000$ км/с. В дальнейшем были уточнены как значение D , так и время запаздывания, поэтому теперь, пользуясь методом Ремера, мы получили бы $c \approx 300\,000$ км/с.

Спустя почти 200 лет после Ремера скорость света была впервые измерена в земных лабораториях. Это сделал в 1849г. француз Л.Физо. Его метод в принципе не отличался от метода Галилея, только второй наблюдатель был заменен отражающим зеркалом, а вместо заслонки, открываемой рукой было применено быстро вращающееся зубчатое колесо.

Одно зеркало Физо расположил в Сюрен, в доме своего отца, другое - на Монмартре в Париже. Расстояние между зеркалами было равно $L=8,66$ км. Колесо имело 720 зубцов, свет достигал максимальной интенсивности при скорости вращения колеса, равно 25 об/с. Скорость света ученый определял по формуле Галилея:

$$C=2L/t$$

Время t , очевидно, равно $t=1/25 \cdot 1/720$ $c=1/18000$ с и $c=312\,000$ км/с

Все перечисленные измерения проведены в воздухе. Расчет скорости в пустоте производился по известному значению показателя преломления воздуха. Однако при измерениях на больших расстояниях могла возникнуть ошибка за счет неоднородности воздуха. Чтобы устранить эту ошибку, Майкельсон в 1932г. измерил скорость света методом вращающейся призмы, но при распространении света в трубе, из которой был выкачан воздух, и получил

$$c=299\,774 \pm 2 \text{ км/с}$$

Развитие науки и техники позволило внести в старые методы некоторые улучшения и разработать принципиально новые. Так в 1928г. вращающееся зубчатое колесо заменяется безынерционным электрическим прерывателем света, при этом

$$C=299\,788 \pm 20 \text{ км/с}$$

С развитием радиолокации возникли новые возможности для измерения скорости света. Аслаксон, используя этот метод в 1948 г. получил значение $c=299\,792 \pm 1,4$ км/с, а Эссен методом интерференции микроволн- $c=299\,792 \pm 3$ км/с. В 1967г. выполняются измерения скорости света с гелий-неоновым лазером в качестве источника света

Постоянные Планка и Ридберга

В отличие от многих других универсальных физических постоянных постоянная Планка имеет точную дату своего рождения- 14 декабря 1900г. В этот день М.Планк в Немецком физическом обществе сделал доклад, где для объяснения излучательной способности абсолютно черного тела фигурировала новая для физиков величина h Исходя из экспериментальных данных, Планк вычислил ее значение:

$$h= 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж с.}$$

Один из пионеров изучения этой проблемы – немецкий физик Г.Кирхгоф в 1859г. установил правило: когда какая –либо физическая постоянная приходит в тепловое равновесие, поглощаемая телом энергия и отдаваемая им в форме излучения становятся равны друг другу.

Первоначальные попытки Планка вывести закон излучения теоретически не приводили к успеху. Планк сообщил о своих неудачах Людвигу Больцману, тот ответил ему, что правильную теорию теплового излучения нельзя построить без введения в процессы излучения ранее неизвестного элемента прерывности (дискретности) излучения.

М.Планк придал реальность идее Больцмана. Он предположил, что атомы испускают и поглощают электромагнитную энергию отдельными порциями, которые он назвал квантами. Энергия кванта излучения E связана сего частотой ν соотношением:

$$E = h\nu,$$

где h - введенная Планком некая новая постоянная.

В дальнейшем после выяснения ее физического смысла она была названа постоянной Планка и под этим именем вошла в таблицу универсальных физических постоянных.

В течении ряда лет Планк безуспешно пытался внести постоянную h в рамки классической физики.

В 1905г. появилась работа Эйнштейна, посвященная фотоэффекту. Это была первая – после Планка – работа, в которой нашла применение новая постоянная h . Энергия светового кванта, заключает Эйнштейн, определяется соотношением:

$$E = h\nu$$

Громадно направляющее значение работы Эйнштейна: в физику вошли новые представления о том, что свет не только испускается и поглощается отдельными порциями, но и состоит из дискретных, далее неделимых порций – квантов света. Кванты света представляют собой частицы, которые движутся в пустоте со скоростью света равной 300 000 км/с. Впоследствии эти частицы получили название фотонов.

Если Планк изменил лишь трактовку процесса испускания и поглощения, то Эйнштейн решительно опроверг положения классической физики. Электромагнитное поле прерывно и состоит из отдельных квантов, утверждал он.

Прямые экспериментальные проверки уравнения Эйнштейна завершились доказательством его справедливости. В 1922г. Эйнштейн «За открытие закона фотоэлектрического эффекта и за работы в области теоретической физики» присуждают Нобелевскую премию. Квантовые представления завоевали прочное место в науке.

Выдающийся английский физик Э. Резерфорд поставил перед собой определенную задачу: прямыми экспериментами получить сведения о распределении зарядов в атомах. Идея его опытов также была проста – бомбардировка атомов пучком положительно заряженных быстрых частиц.

Резерфорд обнаружил поразительный факт – некоторые α - частицы рассеивались назад! Для объяснения рассеяния в обратном направлении нужно было предположить, что внутри атомов есть «крохотный тяжелый центр, несущий положительный заряд». В науке впервые появилось понятие «атомного ядра». Резерфорд подтвердил предположение об атомном ядре расчетами, исходя из экспериментальных данных, получил, что радиус атомного ядра составляет 10^{-12} - 10^{-13} см. На основании исследований и расчетов он предположил свою модель атома, которая состояла из положительно заряженного ядра, вокруг которого на относительно больших расстояниях находятся электроны.

Электрон, вращающийся вокруг атома, должен был излучать свет с частотой, равной частоте его обращения.

Между теми многочисленными исследованиями спектры излучения атомов надежно показали, что они представляют собой совокупность дискретных линий, характерных для каждого атома. Вслед за ранними исследованиями спектров различных элементов появились и первые попытки найти определенные закономерности в расположении спектральных

линий. В 1885 г. И.Бальмер установил, что длины волн, соответствуют некоторым линиям спектра водорода, хорошо описываются математически:

$$\lambda = \lambda_0 \frac{n^2}{n^2 - 4},$$

где λ - длина волны, λ_0 - постоянная, n - целое число. В дальнейшем Ю.Ридберг показал, что расположение линий в спектрах многих элементов подчиняется закономерностям, вытекающим из формулы:

$$\nu = cR_\infty \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где R_∞ - постоянная введения Ридбергом и равна

$$R_\infty = 10\,973\,731 \text{ м}^{-1}$$

Эта постоянная R_∞ названная впоследствии постоянной Ридберга.

Масса покоя протона и нейтрона

Открытие протона и нейтрона были сделаны на пути решения одной из сложнейшей физических проблем - проблемы строения атомного ядра. Исследования этой проблемы привело к дальнейшим открытиям в физике микромира.

В 1919г. произошло важное событие в физике ядра. Проводя исследования по бомбардировке атомов азота α -частицами, Резерфорд обнаружил, что из атомов азота вылетают какие-то новые частицы.

Ядрам водородных атомов в 1920г. Резерфорд дал название протонов (в переводе простейший). Прямые доказательства реальности существования протонов были получены при наблюдении их следов (треков) в уникальном физическом приборе - камере Вильсона. В простейшей форме она представляет собой наполненный паром сосуд, одна стенка которого сделана из стекла, а другая соединена с поршнем. При резком выдвигании поршня пар переходит в пересыщенное состояние, и при наличии в камере центров конденсации (пыль, ионы) образуется туман. В результате путь ионизирующей частицы становится видимым, его можно фотографировать. Длина следа частицы и плотность капель характеризует энергию частицы. Заряд и импульс частицы можно определить, поместив камеру магнитное поле и измеряя кривизну трека.

Согласно измерениям масса протона оказалась равной:

$$m_p = 1.6726 \cdot 10^{-24} \text{ г.}$$

Вместе с открытием протонов значительно усложнилась проблема строения ядер. Теперь они могли состоять не только из α - частиц и электронов, в их состав могли входить и вновь открытые частицы протоны.

Попытки построения модели ядра из уже имеющихся данных не приводили к успеху.

На фоне этих трудностей поистине направляющей была высказана в 1920г. Резерфордом мысль о возможном существовании нейтрона. Под нейтроном великий экспериментатор понимал тесное соединение протона и электрона в виде нейтрального образования - дуплета. Никто не подозревал тогда, что очень скор нейтрон будет обнаружен в качестве совершенно самостоятельной элементарной частицы.

Систематические исследования по бомбардировке α -частицами различных элементов выполнил в лаборатории Резерфорда его ученик Д.Чедвик. Он обнаружил, что «бериллиевое» излучение при облучении различных мишеней способно создать не только протоны, но и другие ядра отдачи, например ядра азота, аргона и т.д. Чедвик измерил энергию этих ядер отдачи и вновь произвел подсчет энергии квантов «бериллиевого» излучения. Результаты, не согласовывались друг с другом. Расчеты по ядрам азота давали энергию квантов E_γ , равную $9 \cdot 10^7$ эВ, а по ядрам аргона - $E_\gamma = 1.5 \cdot 10^8$ эВ. Гипотеза квантов электромагнитного излучения не согласовывались с экспериментальными данными. Помимо этого, было совершенно неясно, как могут довольно массивные ядра азота и аргона приходить в движение в результате столкновения с частицами, не имеющими массы покоя, - γ - квантами.

Большая проникающая способность нового излучения наводила на мысль, что оно может состоять из нейтральных частиц. Чедвик предположил, что неизвестное «бериллиевое» излучение является потоком нейтральных частиц, имеющих массу, приблизительно равную массе протона. Выполненные расчеты прекрасно объясняли данные экспериментов и позволили определить массу этих неизвестных частиц m_n . Масса нейтрона, так была названа эта частица, оказалась равной:

$$m_n = 1,67495 \cdot 10^{-24} \text{ г.}$$

Сразу же после этого открытия советский физик Д.Д.Иваненко и немецкий физик В.Гейзенберг предложили так называемую протон-нейтронную модель ядра. Согласно этой модели ядра всех атомов состоят из протонов, число которых равно числу электронов в электронной оболочке атома, и нейтронов, число которых определяется разностью атомной массы элемента и суммы масс протонов. Открытые Ф.Содди изотопы отличаются друг от друга числом нейтронов, входящих в состав атомного ядра, поэтому химические свойства изотопов, определяемые свойствами электронной оболочки, одинаковы. Эта модель прошла тщательную экспериментальную проверку и в настоящее время является общепринятой.

Заключение

Мы изучили 11 констант, общее число их значительно больше. Разделение констант на две группы, характеризующие макро- и микромир, противоречит принципиальному единству природы, которое предполагает наличие связей между константами различных групп. В ряде случаев эти связи найдены. Например, константа Больцмана k определяется через универсальную газовую постоянную R и постоянную Авогадро N_A . Но ряд важнейших постоянных (например, гравитационная постоянная G , постоянная Авогадро N_A , скорость света c , заряд электрона e , постоянная планка h) никак не связаны между собой. Проблема науки – отыскать эти внутренние связи между ними, найти пути единого описания природы.

Другой нерешенной проблемой постоянных является то, что их численные значения, так тщательно измеренные экспериментально, никак не выводятся теоретически.

Все яснее становится, что новая наука не будет простым улучшением прежней, это будет принципиально новая физика, которой должно быть под силу создание единой теории мироздания. Она свяжет воедино и необъятный космос, и фантастически малые кирпичики его – элементарные частицы, объяснит структуру времени и пространства.

Список используемой литературы

1. Ахиезер А.И. Биография элементарных частиц. К.: Наук. Думка, 1983
2. Браунбек В. Методы измерений в ядерной физике. М.: Госатомиздат 1961.
3. Логунов А.А., Петров В.А. Как устроен электрон? М.: Педагогика, 1988.
4. Спиридонов О.П. Универсальные физические постоянные, М.: Просвещение, 1984.
5. Уилкинсон Д и др. Фундаментальная структура материи. М.: Мир, 1984.
6. Фритш.Г. Основы нашего мира .М.: Энергоиздат, 1985г.
7. Щелкин К.И. Физика микромира, М.: Атомиздат, 1968г.
8. Гост 8.417-81. ГСИ. Единицы физических величин.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Курс лекций «Универсальные физические постоянные»

Часть I

Составитель: Жаргалов Б.С.

Подписано в печать 06.05.2002 г. Формат 60×84 1/16.

Усл.п.л. 1,63, уч.-изд.л. 1,0.

Издательство ВСГТУ. г.Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40, а.

©ВСГТУ, 2002 г.