

курс химии 11 кл. для  
физматов

<https://cdo.internat.msu.ru/course/view.php?id=13>

Кодовое слово для записи на  
курс  
chem

## НАШИ НОВОСТИ

*С новым учебным годом!*

*Тем, кто собирается сдавать ЕГЭ по химии, необходимо 1) сразу сообщить об этом преподавателю, 2) настроиться на посещение спецкурса ["Подготовка к ЕГЭ по химии"](#)*

*В разделе "Лекции" (кнопка справа) появились видеолекции В.В.Загорского!*

НАШИ СПЕЦКУРСЫ

ПОСОБИЯ ПО ОБЩЕЙ  
ХИМИИ

ЛЕКЦИИ

**Для самостоятельных занятий по химии и сдачи работ** у вас есть возможность воспользоваться системой дистанционного обучения СУНЦ МГУ.

Адрес входа в систему дистанционного обучения:

<https://cdo.internat.msu.ru/course/view.php?id=13>

Вам нужно зарегистрироваться в системе, указав СВОИ имя и фамилию русскими буквами в предложенных системой полях. Написание имени и фамилии иным образом, чем в электронном журнале, приведет к тому, что ваши работы засчитываться не будут.

В курсе ["Химия для 11 физмат классов"](#) расположены видеолекции, презентации к ним, дополнительные материалы, тренировочные тесты. Для получения оценки необходимо выполнять КОНТРОЛЬНЫЕ ТЕСТЫ в указанные сроки. Доступ к материалам курса осуществляется по кодовому слову, которое вам сообщит преподаватель.

Удачи!

# **Строение атома и Периодический закон**

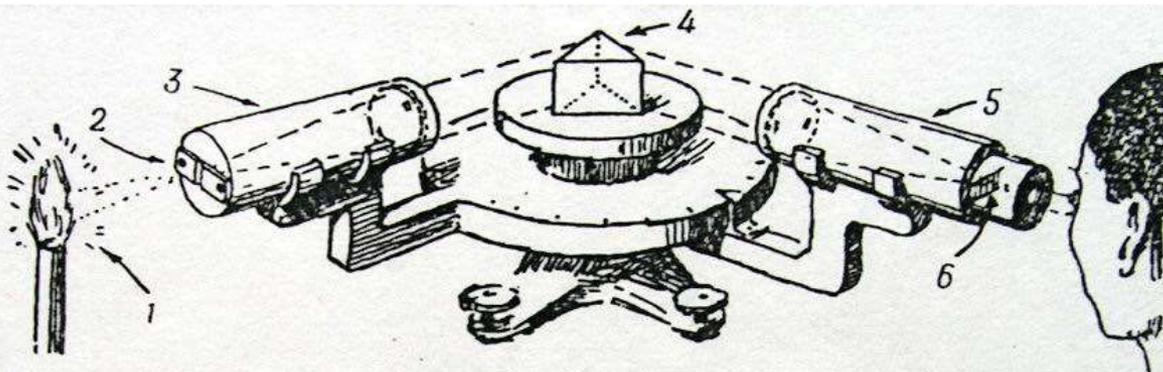
Лекция курса

**«Общая и неорганическая химия»**

для 11-х классов СУНЦ

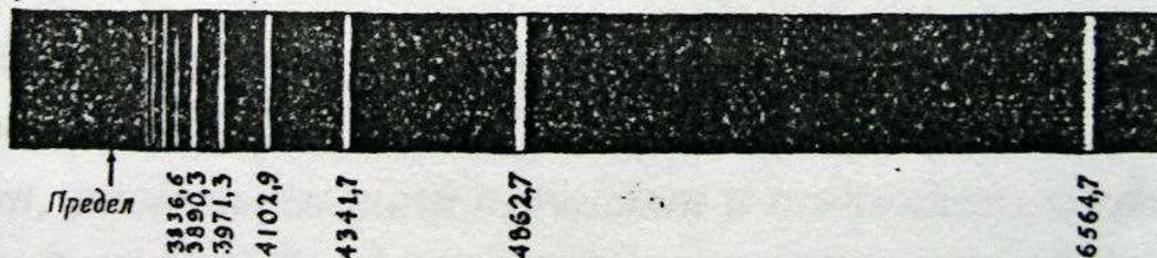
# Три уровня научной модели мира (пример)

## 1. Эмпирический материал (экспериментальные данные)



Р и с. 69. Простейший спектроскоп. Свет, поступающий от источника, разлагается на спектр стеклянной призмой; вместо такой призмы можно использовать круглую дифракционную решетку.

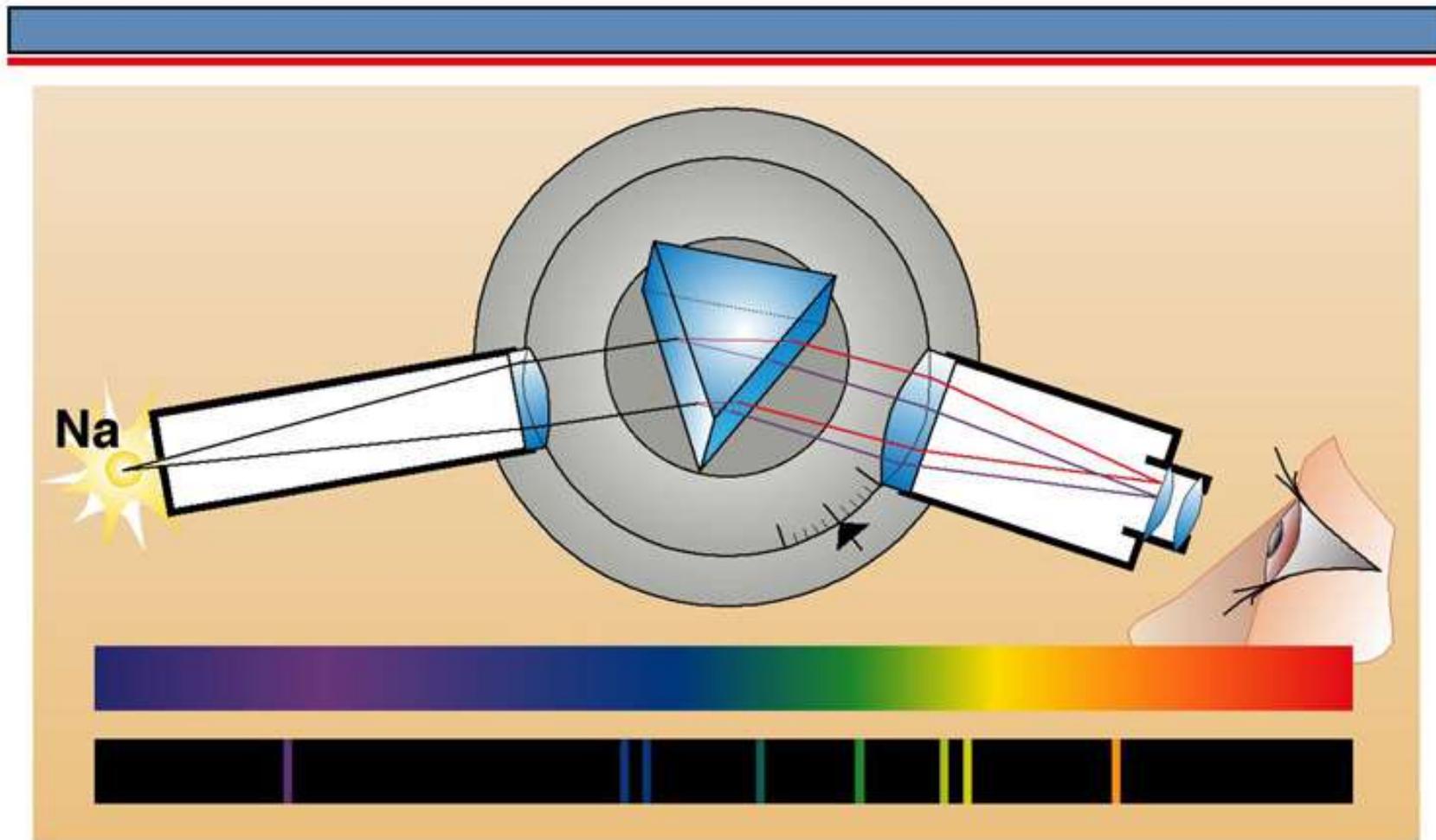
1 — источник света; 2 — диафрагма; 3 — коллиматор; 4 — призма; 5 — телескопическая система; 6 — спектр.



Р и с. 74. Серия Бальмера в спектре атомарного водорода. Линия справа, характеризующаяся самой большой длиной волны, является линией  $H_{\alpha}$ . Она отвечает переходу из состояния с  $n = 3$  в состояние с  $n = 2$ .

Для серии Бальмера  $1/\lambda = 109678[1/4 - 1/n^2]$  см<sup>-1</sup> где  $n = 3, 4, 5...$

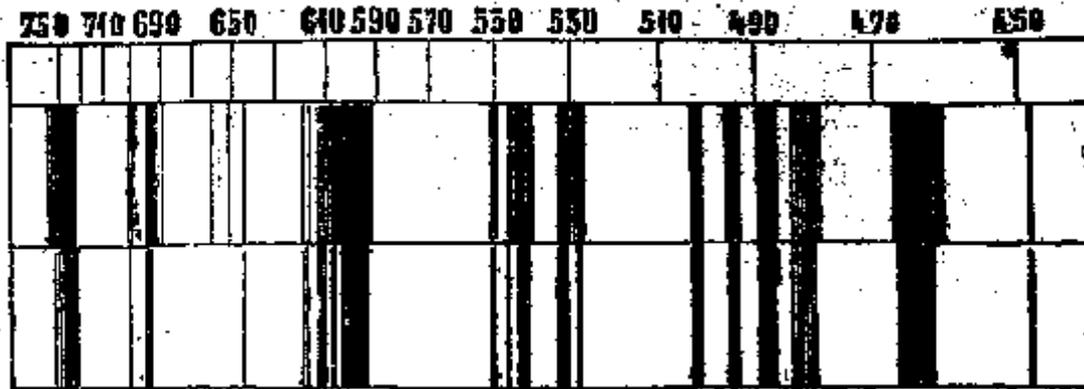
# Оптическая схема спектроскопа



M 08

AGFA 

Рисунки спектров из учебника Д.И.Менделеева  
«Основы химии» (1895)



Спектръ поглощенія (по Леконъ де Боабодрану) солей  
йодина въ слабыхъ и прѣдѣлахъ растворя.



Спектръ поглощенія двуокиси азота (1) и паровъ йода (2).



# Орбитальное квантовое число



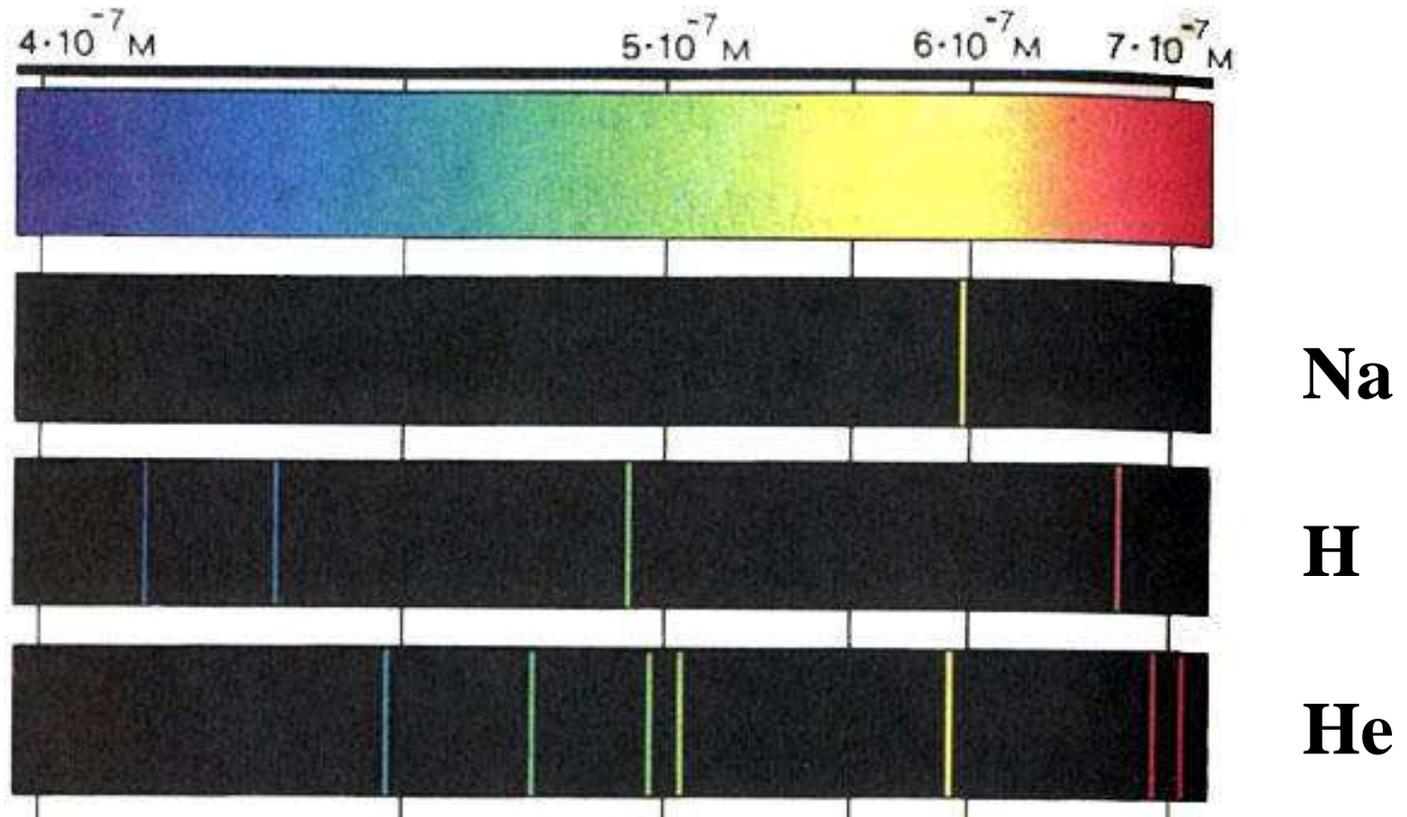
Спектры поглощения двуокиси азота (1) и паровъ іода (2).

$l = 0$	1	2	3	4
$s$	$p$	$d$	$f$	$g$
резкий	главный	диффузный	фундамен- тальный	
<i>sharp</i>	<i>principal</i>	<i>diffuse</i>	<i>fundamental</i>	



# Спектры излучения (Na, H, He)

## Желтая линия натрия при 589 нм



## Химические элементы, открытые в XIX в. при помощи простейшего спектроскопа:

1. **Cs** Цезий (1860, Роберт Бунзен, Густав Кирхгоф) назв. от лат. *caesius* – небесно-голубой
2. **Rb** Рубидий (1861, Роберт Бунзен, Густав Кирхгоф) назв. от лат. *rubidus* – темно-красный
3. **Tl** Таллий (1861, Уильям Крукс) название от лат. *thallus* – распускающаяся ветка
4. **In** Индий (1863, Фердинанд Рейх, Иеронимус Рихтер) назв. от индиго – ярко-синий
5. **Ga** Галлий (1875, Лекок де Буабодран) название от лат. Франции
6. **Ho** Гольмий (1878, Пер Теодор Клеве, Сорэ) назв. от лат. *Holmia* (Стокгольм)
7. **Yb** Иттербий (1878, Жан Шарль де Мариньяк) назв. от шведс. местечка Иттербю
8. **Sc** Скандий (1879, Ларс Нильсон), назв. в честь Скандинавии
9. **Sm** Самарий (1879, Лекок де Буабодран) назв. от горн. инженера В.Е.Самарского (1847)
10. **Tm** Тулий (1879, Пер Теодор Клеве) название от лат. *Thule* – Скандинавия
11. **Gd** Гадолиний (1880, Жан Шарль де Мариньяк) назв. в память об Юхане Гадолине
12. **Pr** Празеодим (1885, Ауэр фон Вельсбах) назв. от греч. *prasinus* – светло-зеленый
13. **Nd** Неодим (1885, Ауэр фон Вельсбах) назв. от «новый дидим»
14. **Dy** Диспрозий (1886, Лекок де Буабодран) назв. от греч. *disprositos* - труднодоступный
15. **He** Гелий (1868, Ж.Жансен, Дж.Локьер; 1895, Уильям Рамзай) назв. от греч. «солнечный»
16. **Ne** Неон (1898, Уильям Рамзай, Моррис Траверс) назв. от англ. “*new one*”
17. **Kr** Криптон (1898, Уильям Рамзай, Моррис Траверс) назв. от греч. *kryptos* - скрытый
18. **Xe** Ксенон (1898, Уильям Рамзай, Моррис Траверс) назв. от греч. *xenos* – незнакомец, чужой

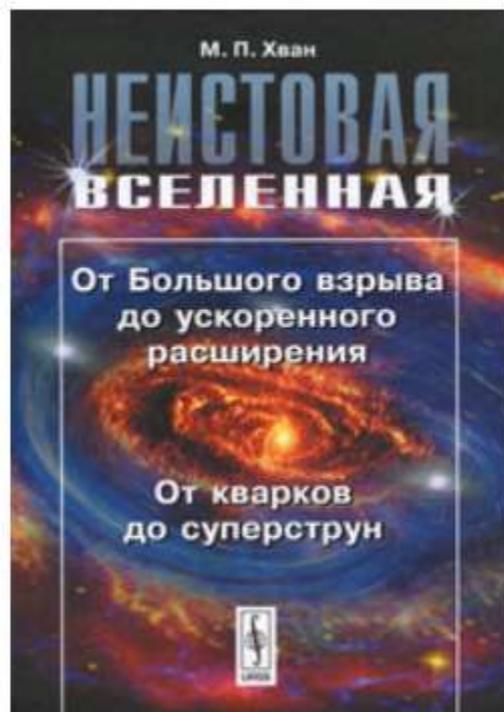
# В глубину вещества...

- **Вещи**
- **Вещество**
- **Фермионы**                      **бозоны**(фотон,  $W^+$ ,  $W^-$  и  $Z^0$  )
- **Фермионы Лептоны кварки андроны**  
(барионы) из кварков
- Бозоны - это частицы, которые имеют спин, равный нулю или целому числу. К бозонам относят, например, фотоны, мезоны.
- Фермионы - частицы, обладающие полуцелым спином. К фермионам относятся: электроны, мюоны, нейтрино, протоны, кварки и др.

# В глубину вещества (2)



**Хван Максим Петрович**  
**Неистовая Вселенная. От Большого взрыва до ускоренного расширения,**  
**от кварков до суперструн**



# **АТОМ**

(от греч. atomos – неделимый),  
наименьшая частица химического  
элемента, носитель его свойств.

**Элементы химические,**  
совокупности атомов с  
определенным зарядом ядра  $Z$ .

Д.И.Менделеев\*:

"Родилось атомное представление о веществе еще в древности и до последнего времени (1895) борется с динамическим представлением, считающим вещество только проявлением сил."

"На современный атомизм, по моему мнению, прежде всего должно смотреть, как на прием или способ, удобоприменимый при получении весомого вещества природы."

\* Менделеев Д. Основы Химии 6-е издание С-Пб, тип. В.Демакова, 1895. – 780 с., с.155

Д.И.Менделеев\*:

«Итак, атомное учение, допускающее лишь конечную механическую делимость, должно быть, до сих пор по крайней мере, принимаемо только, как прием, подобный тому приему, который употребляет математик, когда сплошную кривую линию разбивает на множество прямых линий. В атомах – есть простота представления, но нет необходимости к ним прибегать.»

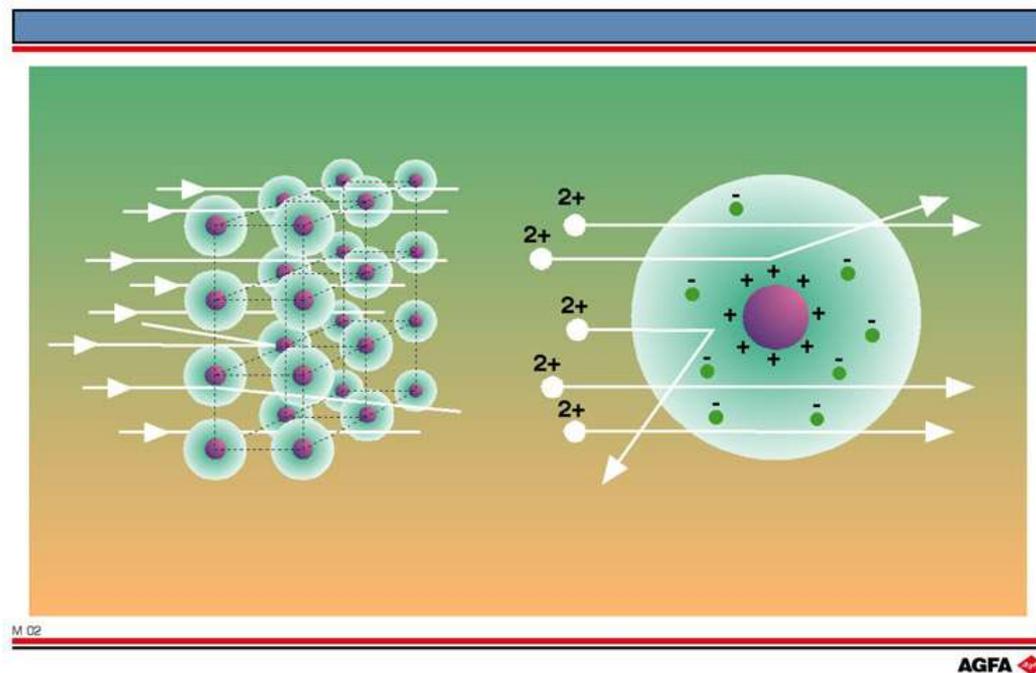
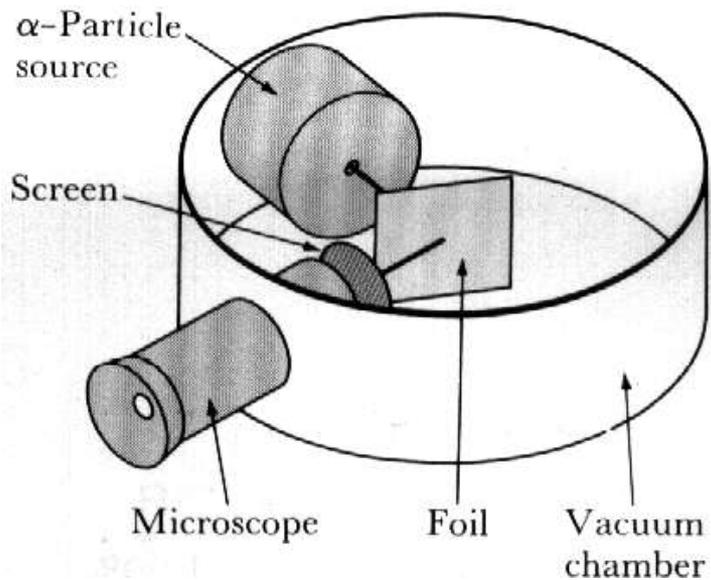
\* Менделеев Д. Основы Химии 6-е издание С-Пб, тип. В.Демакова, 1895. – 780 с., с.158

Атомы с одинаковым количеством протонов и электронов, но с разным количеством нейтронов называют **изотопами** данного элемента. Например, у водорода есть три изотопа — протий, дейтерий и тритий. Их атомы имеют один протон и один электрон, но, соответственно, 0, 1 и 2 нейтрона. При обозначении изотопа перед символом химического элемента верхним индексом указывают массовое число, а нижним — атомный номер, например, протий  ${}^1_1\text{H}$ , дейтерий  ${}^2_1\text{H}$ .

**Единицей атомной массы** является  $1/12$  массы нейтрального атома наиболее распространённого в природе изотопа углерода, ядро которого содержит 6 протонов и 6 нейтронов.

# Эксперимент Резерфорда (1908-1911)

Э.Резерфорд (1871-1937), Ганс Вильгельм Гейгер (1882-1945)  
и Эрнест Марсден (1889-1970)

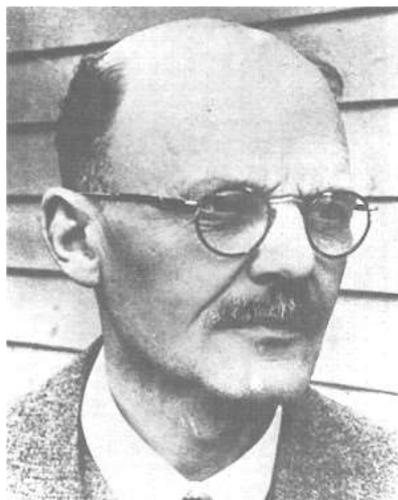


Atkins P.W. General chemistry, Oxford, Sci. Amer. Books, 1989

CD: IUPAC DIDAC project - 2003 Agfa-Gevaert N.V.  
<http://www.iupac.org/didac/index.html>



Эрнест Резерфорд (1871-1937)  
Нобелевская премия 1908 г.



Ганс Вильгельм Гейгер  
(1882-1945)



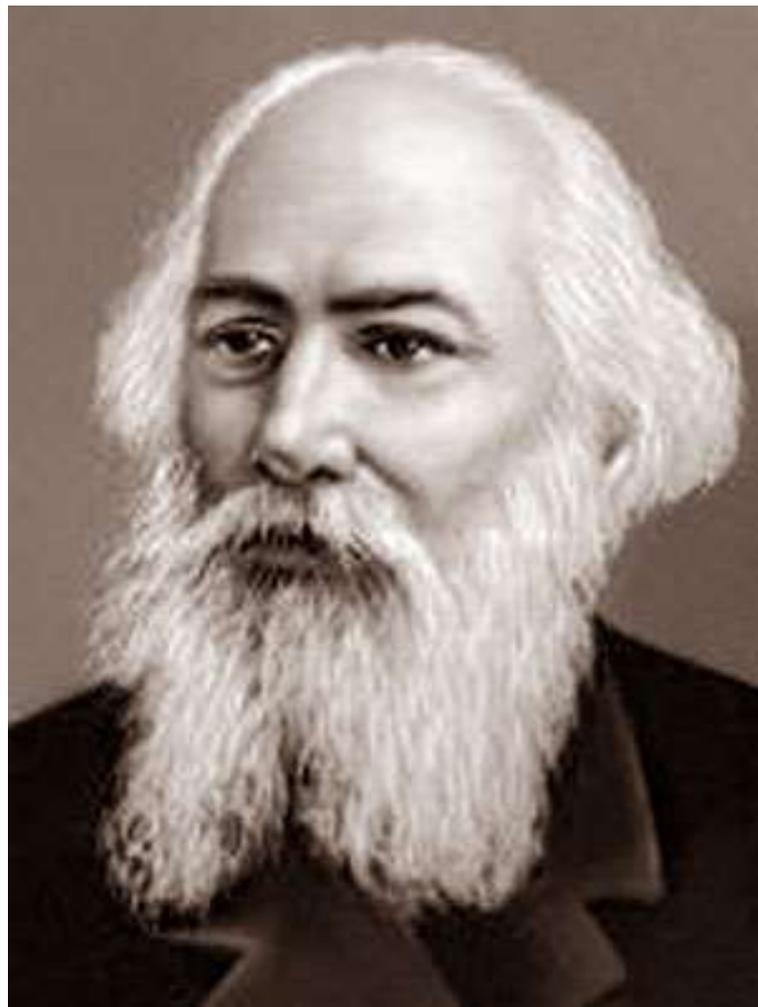
Эрнест Марсден  
(1889-1970)

# Бекетов Николай Николаевич (1827-1911)

«Динамическая сторона химических явлений», 1879 г.

«Мы должны и самый химический процесс подвести под общие физико-динамические явления – то есть, иначе говоря, самую химическую энергию рассматривать как известное количество движения, присущее элементам.

Допустив это раз, мы должны будем сделать предположение, что **атомы всех элементов находятся в постоянном необыкновенно быстром движении и что **самые атомы и частицы, в виде которых они существуют, представляют подвижные системы наподобие нашей солнечной системы.**»**



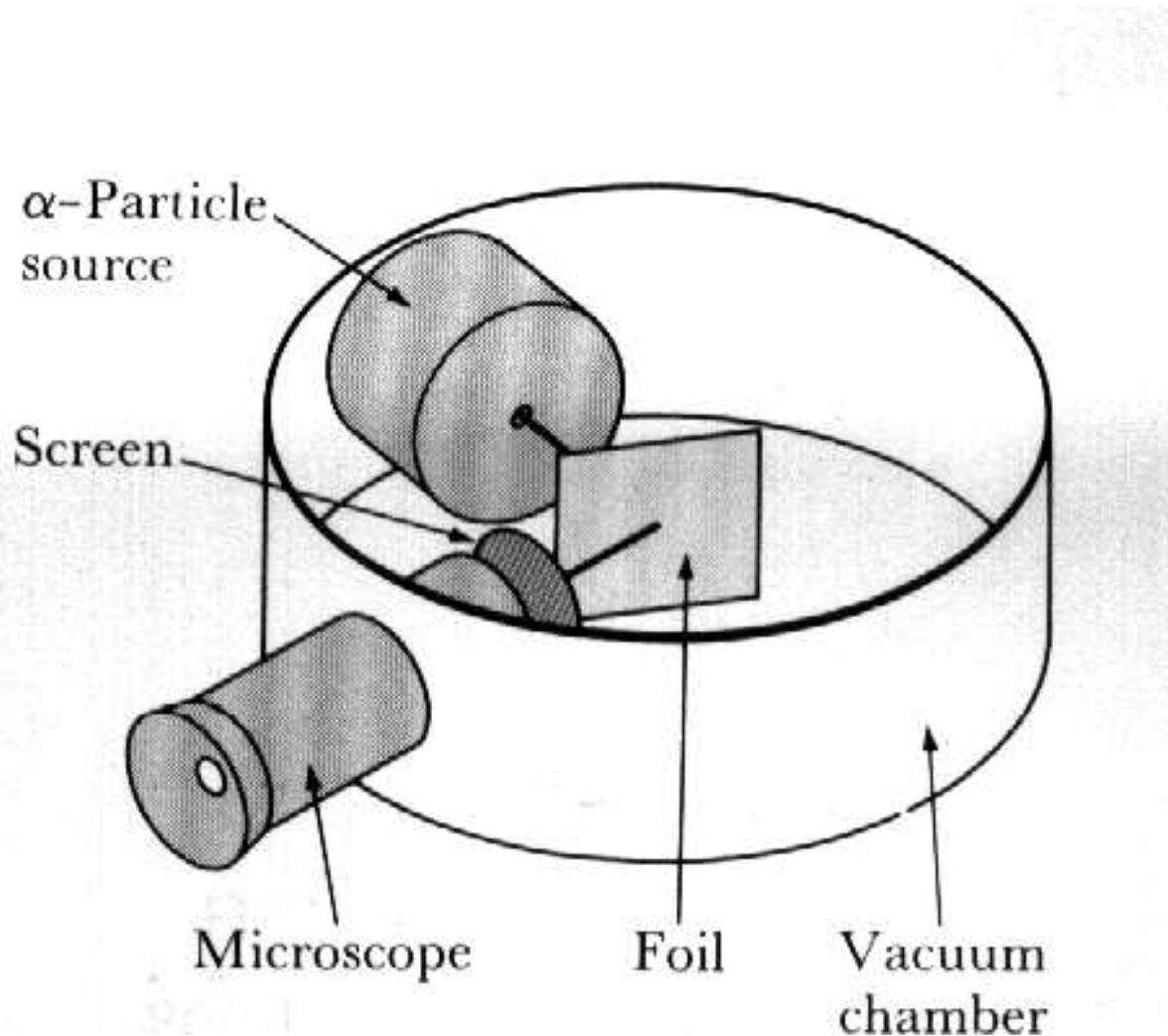
# НАГАОКА (Nagaoka Hantaro), Хантаро

1865 г. – 1950 г.

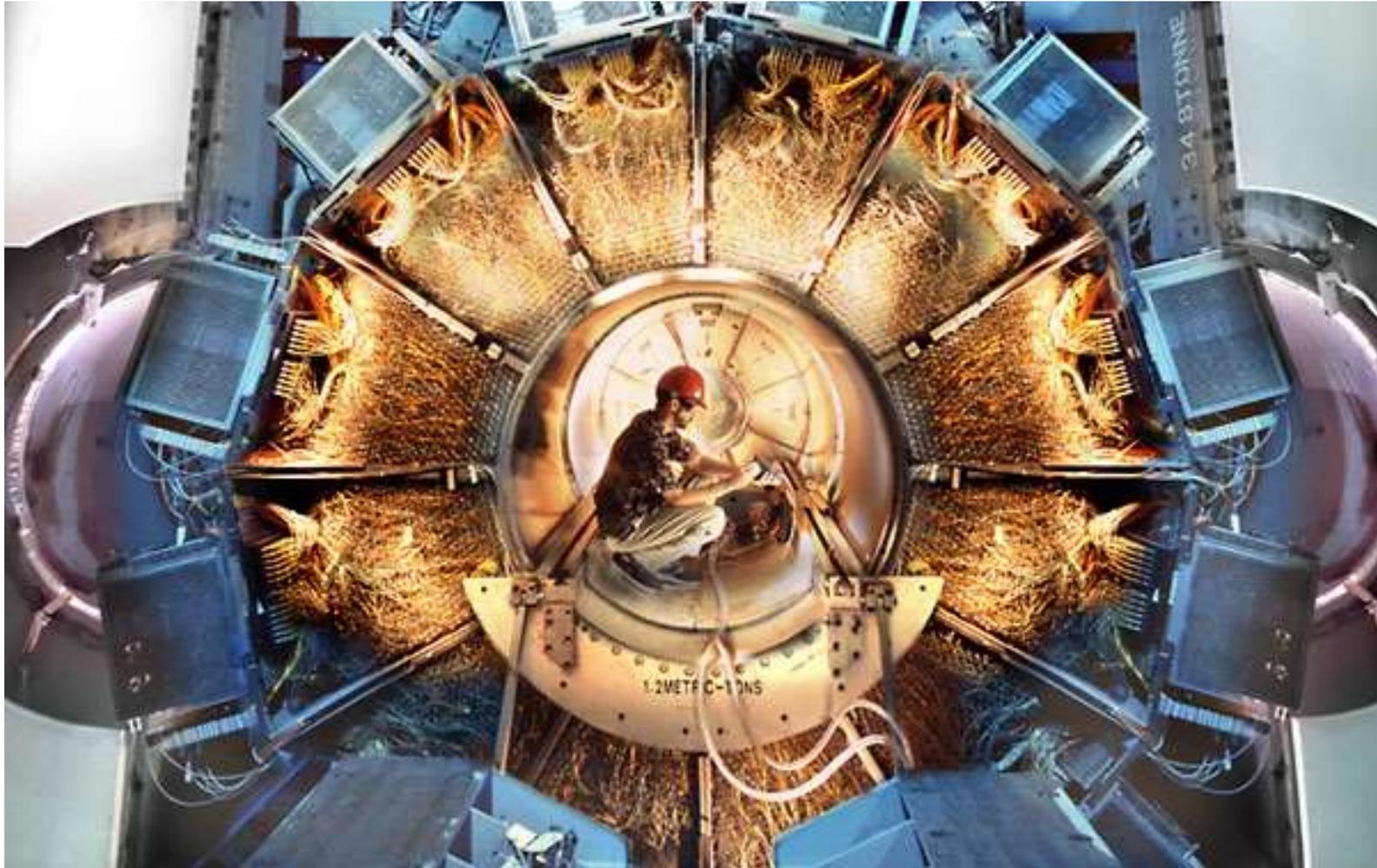


Барельефный портрет Хантаро Нагаока  
в Музее науки (Токио)

# Схема экспериментов Резерфорда (Эрнест Резерфорд, Ганс Гейгер, Эрнест Марсден, 1908-1911)



# Датчики заряженных частиц

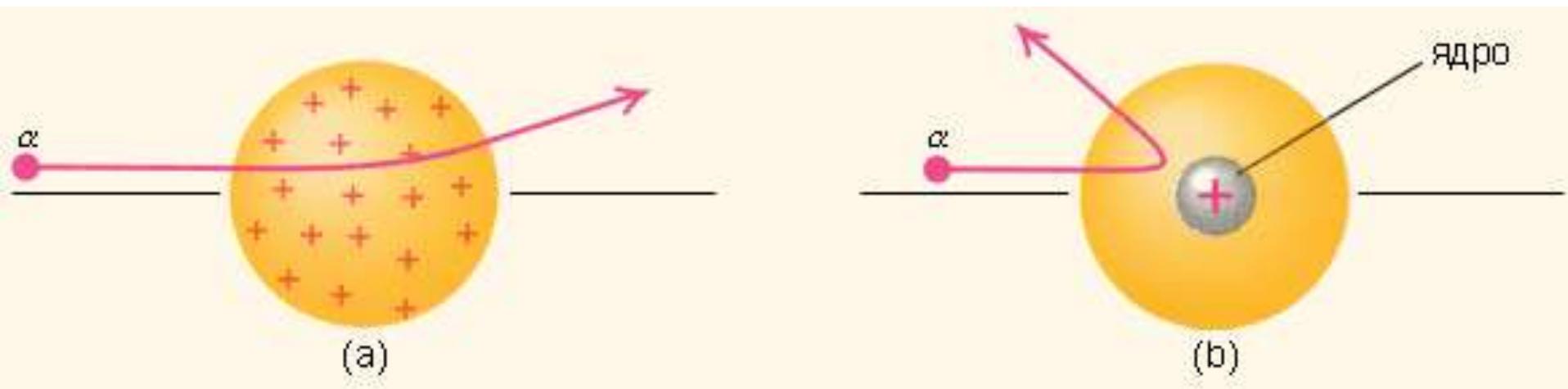


Технический сотрудник устраняет неполадку в детекторе «ВаВаг» на эксперименте PEP-II. Фото: SLAC National Accelerator Laboratory

Если бы у Э.Резерфорда был компьютер...



# Если бы у Э.Резерфорда был компьютер...

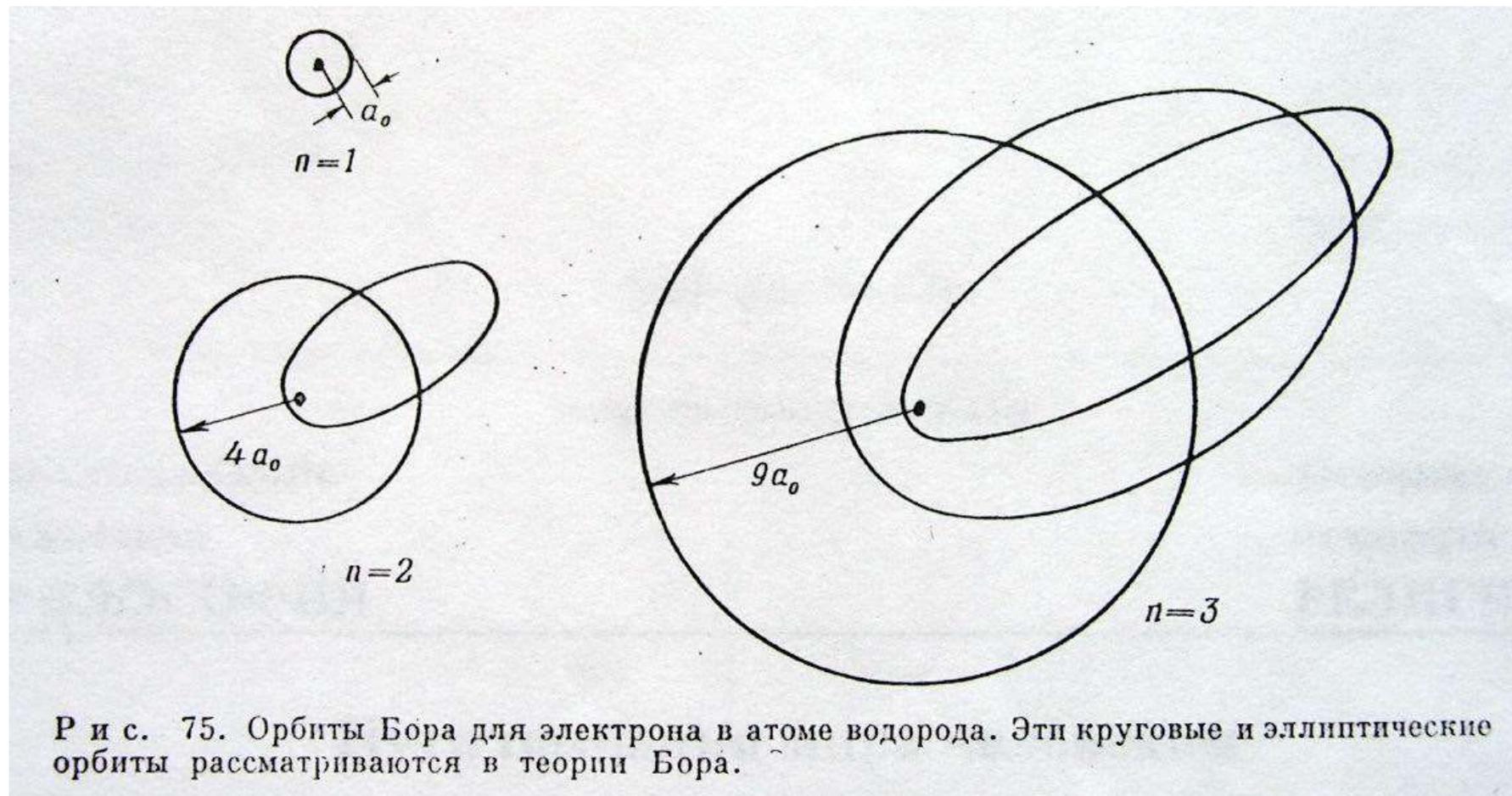


достоверность  
эксперимента  
около **1**

достоверность  
эксперимента  
составляет  **$3 \cdot 10^{-2174}$**

# Три уровня научной модели мира (пример)

## 2. Идеализированные образы (физические модели)



## Создатели оболочечной модели атома (1913-1914)



Нильс Хенрик Давид **Бор** (1885-1962).  
Нобелевская премия по физике 1922 г.



Генри Гвин Джефрис **Мозли** (1887-1915)  
Погиб на Первой мировой войне

# Три уровня научной модели мира (пример)

## 3. Математическое описание (формулы и уравнения)

### Теория Н.Бора для атома водорода (1913 г.)

$$a_0 = h^2 / (4\pi^2 m e^2) = 0,053 \text{ нм}$$

- радиус атома Н в основном состоянии

$$E_n = - (2\pi^2 m e^4) / (n^2 h^2)$$

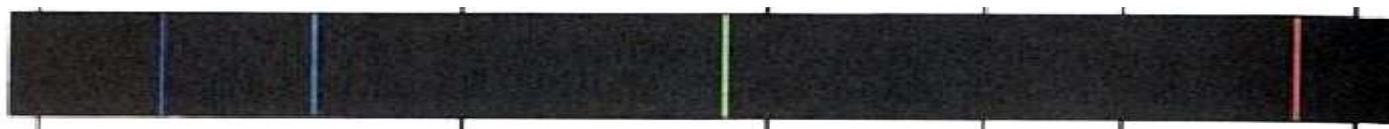
- энергия атома в состоянии n

$$1/\lambda = [(2\pi^2 m e^4) / (c h^3)] [1/n_1^2 - 1/n_2^2]$$

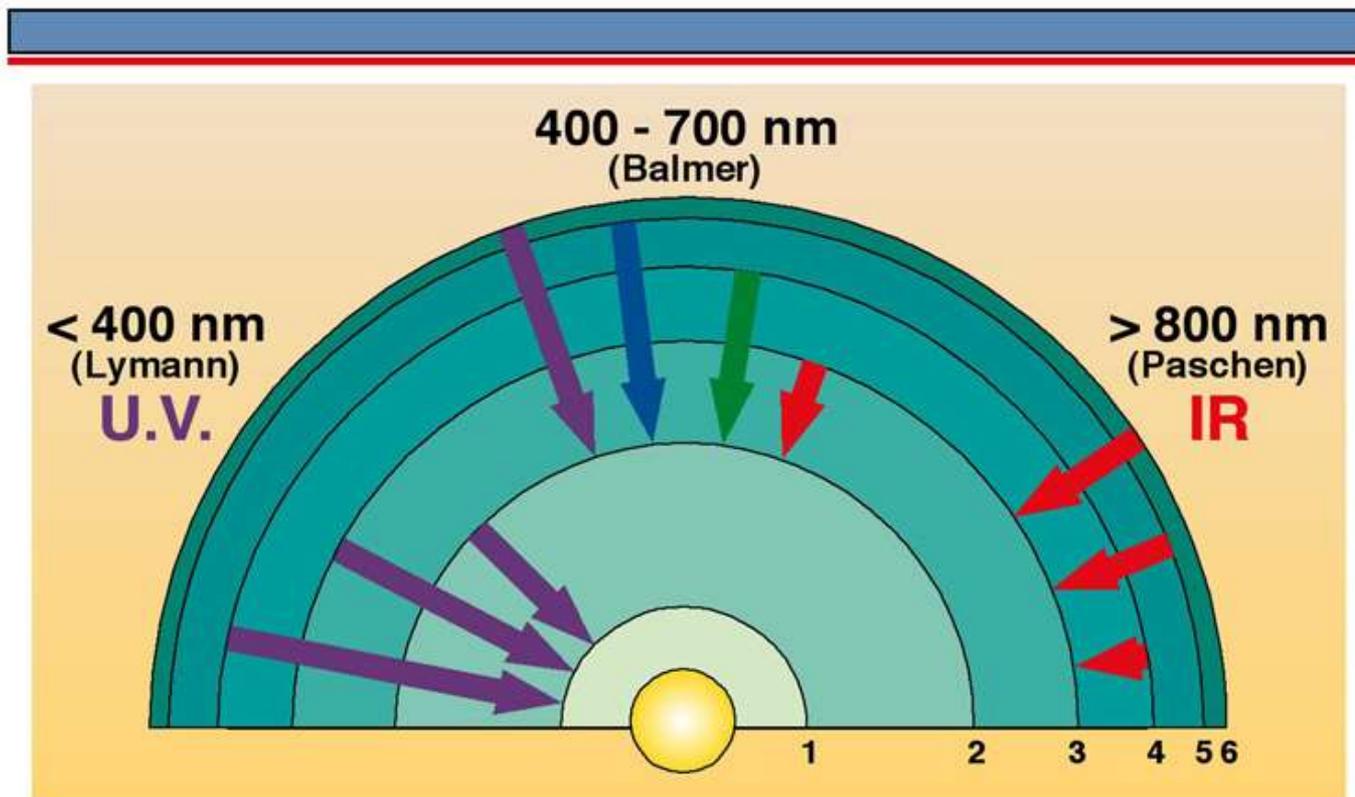
- уравнение длин волн в спектре водорода

Источник: Лайнус Полинг Общая химия, М., "Мир", 1964

# Спектр атома водорода (1)



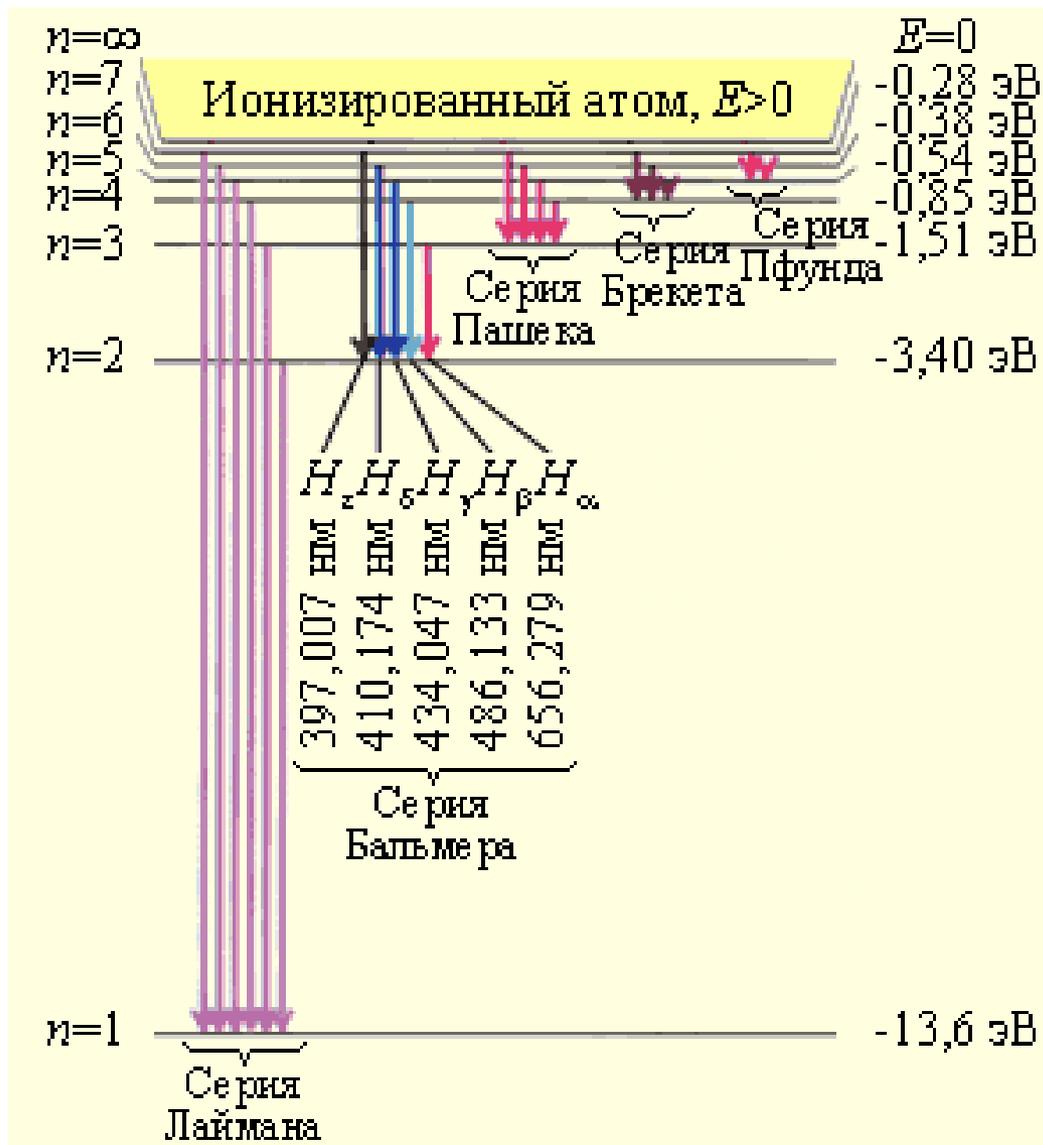
H



M 09

AGFA 

# Спектр атома водорода (2)



# Сверхкрупные атомы водорода

размеры атомов по Бору		перелод	длина волны		
1000		1000 → 999			
		733 → 732	18 м	РИ АН УССР; 1983	р а д ы о л н и
		632 → 631	11,5 м	РИ АН УССР; 1979	
		539 → 538	7,12 м	ФИАН, ГАИШ; 1983	
	428 → 427	3,56 м	ФИАН, ГАИШ; 1983		
0,1 мм		105 → 104	5,21 см	ГАО, 1964	р а д ы о л н и
		91 → 90	3,38 см	ФИАН, 1964	
		57 → 56	8,23 мм	ФИАН, 1968	
10 <sup>-3</sup> мм		10 → 9			р а д ы о л н и
		7 → 6	12,3 мкм	Хамфри; 1953	
		6 → 5	7,46 мкм	Пфульд; 1924	
		5 → 4	4,05 мкм	Брокет; 1922	
		4 → 3	1,87 мкм	Паузен; 1903	
		3 → 2	0,656 мкм	Бальмер; 1885	
		2 → 1	0,121 мкм	Лайман; 1906	
		1 → 1			
10 <sup>-5</sup> мм				с е р и и	у л ь т р а ф и н о м о в ы е ; о п т и ч е с к и е и и н ф р а к ц и о н н ы е л и н и
10 <sup>-7</sup> мм		7 → 6	12,3 мкм	Хамфри; 1953	у л ь т р а ф и н о м о в ы е ; о п т и ч е с к и е и и н ф р а к ц и о н н ы е л и н и
		6 → 5	7,46 мкм	Пфульд; 1924	
10 <sup>-7</sup> мм		5 → 4	4,05 мкм	Брокет; 1922	у л ь т р а ф и н о м о в ы е ; о п т и ч е с к и е и и н ф р а к ц и о н н ы е л и н и
		4 → 3	1,87 мкм	Паузен; 1903	
10 <sup>-7</sup> мм		3 → 2	0,656 мкм	Бальмер; 1885	у л ь т р а ф и н о м о в ы е ; о п т и ч е с к и е и и н ф р а к ц и о н н ы е л и н и
		2 → 1	0,121 мкм	Лайман; 1906	
1					у л ь т р а ф и н о м о в ы е ; о п т и ч е с к и е и и н ф р а к ц и о н н ы е л и н и

# Создатели квантовой механики



Вернер Карл **Гейзенберг** (1901-1976)  
В 1925 г. разработал матричную механику – первый вариант квантовой механики.



Эрвин **Шредингер** (1887-1961)  
В 1926 г. опубликовал новый подход динамического описания микрочастиц (уравнение Шредингера).

# Уравнение Шредингера для атома водорода

$$-\frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla^2 \psi - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r} \psi = E\psi.$$

Оператор Лапласа в сферических координатах

$$\nabla^2 = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial f}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial f}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 f}{\partial \phi^2}$$

Волновая функция

$$\psi = R(r)Y_{lm}(\theta, \varphi) = R(r)\Theta(\theta)\Phi(\varphi)$$

$Y$ -сферические функции

$$\Phi(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\pm im_l \varphi}$$

$P$ - функции Лежандра

$$\Theta(\theta) = \text{const} \cdot P_l^{|m_l|}(\cos \theta)$$

$L$  - присоединенные полиномы Лягерра

$$R(r) = \text{const} \cdot \left( \frac{2Zr}{na_0} \right)^l L_{n-l-1}^{2l+1} \left( \frac{2Zr}{na_0} \right) e^{-\frac{Zr}{na_0}}$$

# Эрвин Шрёдингер



# Роберт Оппенгеймер о квантовой механике

[/https://www.popmech.ru/science/5461-kvantovaya-sutra-fiziki-i-kliriki](https://www.popmech.ru/science/5461-kvantovaya-sutra-fiziki-i-kliriki)

«Если спросят, постоянно ли его положение, нужно сказать „нет“, если спросят, меняется ли оно со временем, нужно сказать „нет“. Если спросят, неподвижен ли он, нужно сказать „нет“, если спросят, движется ли он, нужно сказать „нет“». Законы квантовой механики весьма трудны для восприятия, похожи на мистические откровения, и эти слова Роберта Оппенгеймера о поведении электрона вполне могли быть сказаны Лао Цзы за две с половиной тысячи лет до появления современной физики.

## «уточнение»

Итак, мы поняли: о частице нельзя сказать ничего определенного. Она движется туда, или не туда, а верней, ни туда и ни сюда.

Ее характеристики такие или сякие, а точнее — и не такие, и не сякие. Она находится здесь, но может быть и там, а может и не быть нигде. Так существует ли она вообще?

# Принцип неопределенности и жизнь

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq h,$$

где  $\Delta p$  — изменение импульса квантовомеханической частицы, а  $\Delta x$  — изменение ее координаты<sup>1</sup>.

люди при принятии решений учитывают неопределенность, существующую в квантовой вселенной, даже не подозревая об этом. В России, например, такой метод называют «авось», когда невозможно по-настоящему предсказать исход события на квантовом уровне, но надежда на лучшее преобладает.

# Квантовые числа

спектроскоп



## Главное квантовое число $n$

определяет энергию электронов на данной орбитали:

$$E_n = - (2\pi^2 m e^4 Z^2) / (n^2 h^2) = - 13,6 \text{ эВ} * Z^2 / n^2$$

$Z$  – заряд ядра.

Допустимые значения:  $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$

K L M N O ...



5-й

## Орбитальное квантовое число $l$

определяет значение орбитального момента количества движения электрона на данной орбитали:

$$[l(l + 1)]^{1/2} h / 2\pi$$

Допустимые значения:  $0, 1, 2, 3, \dots, n-1$

s p d f

спектры



# Орбитальное квантовое число



Спектры поглощения двуокиси азота (1) и паровъ іода (2).

$l = 0$	1	2	3	4
$s$	$p$	$d$	$f$	$g$
резкий	главный	диффузный	фундамен- тальный	
<i>sharp</i>	<i>principal</i>	<i>diffuse</i>	<i>fundamental</i>	



# Квантовые числа

**Орбитальное магнитное квантовое число  $m_l$**   
определяет значение составляющей проекции  
момента количества движения электрона  
на выделенное направление в пространстве:  $m_l (\hbar/2\pi)$

Допустимые значения  $m_l$   
для данного  $l$ :  $-l, \dots -2, -1, 0, +1, +2, \dots +l$

**Спиновое квантовое число  $m_s$**   
принимает для электрона только два значения:  $+1/2$  и  $-1/2$

# О смысле спина

***Спин является некоторым внутренним свойством, наподобие массы или заряда, требующим особого, пока ещё не известного обоснования.***

Другими словами. Спин (от англ. spin — вертеться, вращение) — собственный момент импульса элементарных частиц, имеющий «квантовую природу» и не связанный с движением частицы как целого. В отличие от орбитального углового момента, который порождается движением частицы в пространстве, спин не связан с любым движением в пространстве. Спин — это якобы внутренняя, исключительно квантовая характеристика, которую нельзя объяснить в рамках механики.

<http://maxpark.com/community/4057/content/2001530>

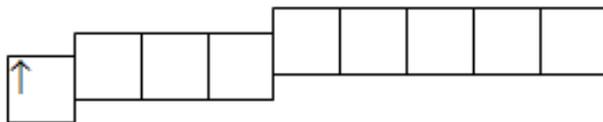
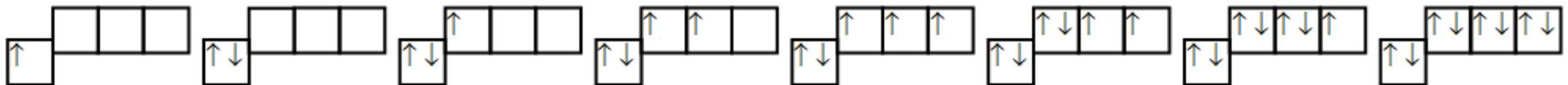
# Спин и взаимодействие (модель) 0:27



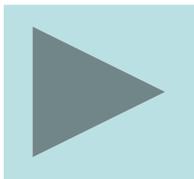
# Построение системы квантовых объектов (1)

**n=1**      $n = 1; \quad l = 0; \quad m_l = 0; \quad m_s = +1/2 \text{ и } -1/2$   
**всего может быть 2 объекта**

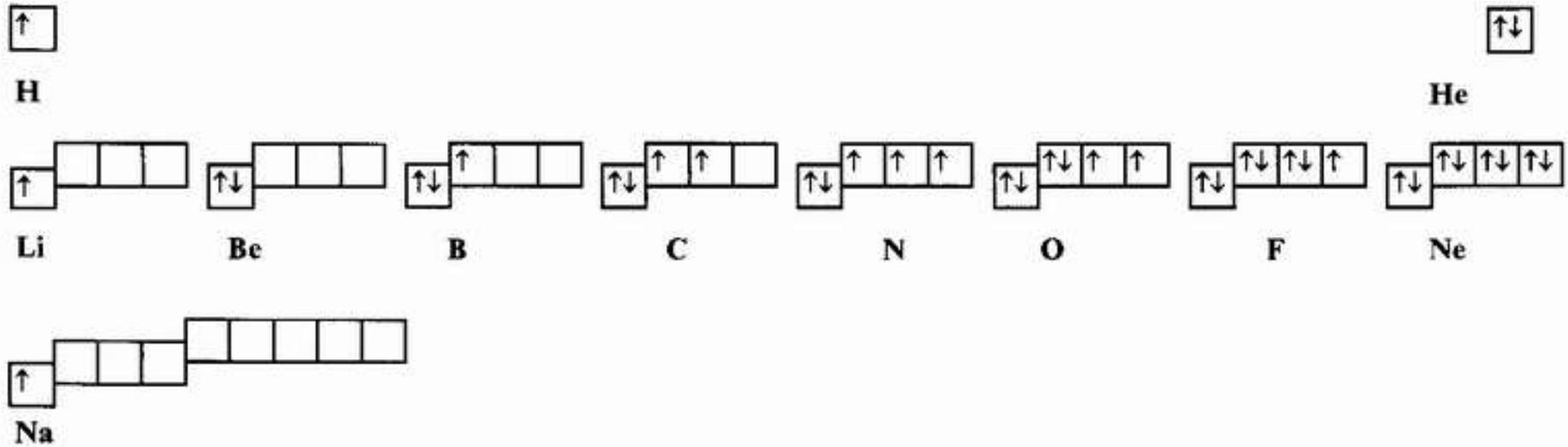
**n=2**      $n = 1, \quad 2$   
 $l = 0, \quad 1$   
 $m_l = 0, \quad -1, \quad 0, \quad +1$   
 $m_s = \pm 1/2, \quad \pm 1/2, \pm 1/2, \pm 1/2,$   
**всего может быть  $2 + 6 = 8$  объектов**



**n=3**



# Построение системы квантовых объектов (2)



От кальция к скандию  
 $4S^2 \rightarrow 4S^24P^1$  - не так!

<b>Ca</b> 40,078 ± 4 КАЛЬЦИЙ	20 $4s^2$	20 208912	21 $3d^14s^2$	<b>Sc</b> 44,955910 ± 8 СКАНДИЙ
------------------------------------	--------------	--------------	------------------	---------------------------------------

Для  $n > 2$  правило Клечковского

Заполнение электронами орбиталей в атоме происходит в порядке возрастания суммы главного  $n$  и орбитального  $l$  квантовых чисел. При одинаковой сумме  $n+l$  раньше заполняется орбиталь с меньшим значением  $n$ .

$$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p < 6s < 4f \cong 5d < 6p < 7s < 5f \cong 6d < 7p < 8s$$

Таблица 1. Энергетическая последовательность орбиталей в изолированных атомах

$(n+l)$	$n$	$l$	Атомные орбитали	
1	1	0	1s	Первый период
2	2	0	2s	
3	2	1	2p	Второй период
	3	0	3s	
4	3	1	3p	Третий период
	4	0	4s	
5	3	2	3d	Четвёртый период
	4	1	4p	
	5	0	5s	
6	4	2	4d	Пятый период
	5	1	5p	
	6	0	6s	
7	4	3	4f	Шестой период
	5	2	5d	
	6	1	6p	

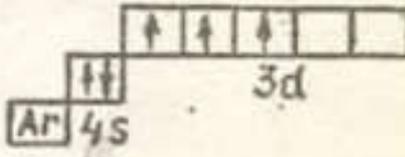
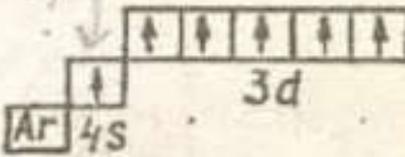
Переход от ванадия к хрому ?

$3d^34s^2 \rightarrow 3d^44s^2$  – не так!

23	<b>V</b>	24	<b>Cr</b>
2 11 8 2	$3d^34s^2$	1 13 8 2	$3d^54s^1$
50,9415±1	ВАНАДИЙ	51,9961±6	ХРОМ

# Переход от ванадия к хрому ?

Более устойчив подуровень, заполненный наполовину  
либо полностью

$23 \text{V}$ Ванадий	$(+23)$ K L M N 2 8 11 2	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^3$	
$24 \text{Cr}$ Хром	$(+24)$ K L M N 2 8 13 1	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^5$	

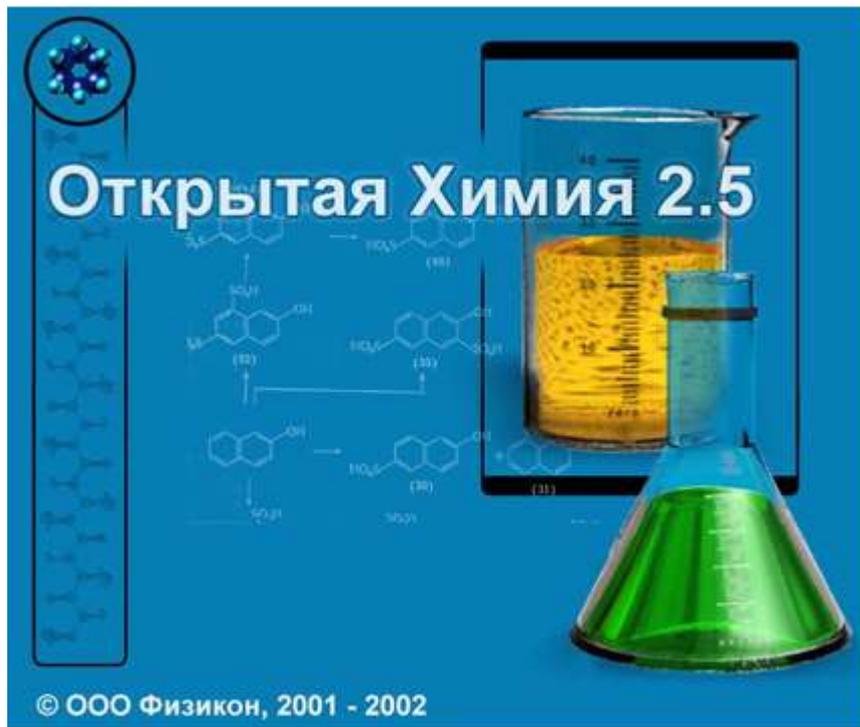
Для  $n > 2$  правило Клечковского

Заполнение электронами орбиталей в атоме происходит в порядке возрастания суммы главного  $n$  и орбитального  $l$  квантовых чисел. При одинаковой сумме  $n+l$  раньше заполняется орбиталь с меньшим значением  $n$ .

Клечковский Всеволод Маврикиевич (1900—  
1972)— советский агрохимик.  
Лауреат Сталинской премии (1952).

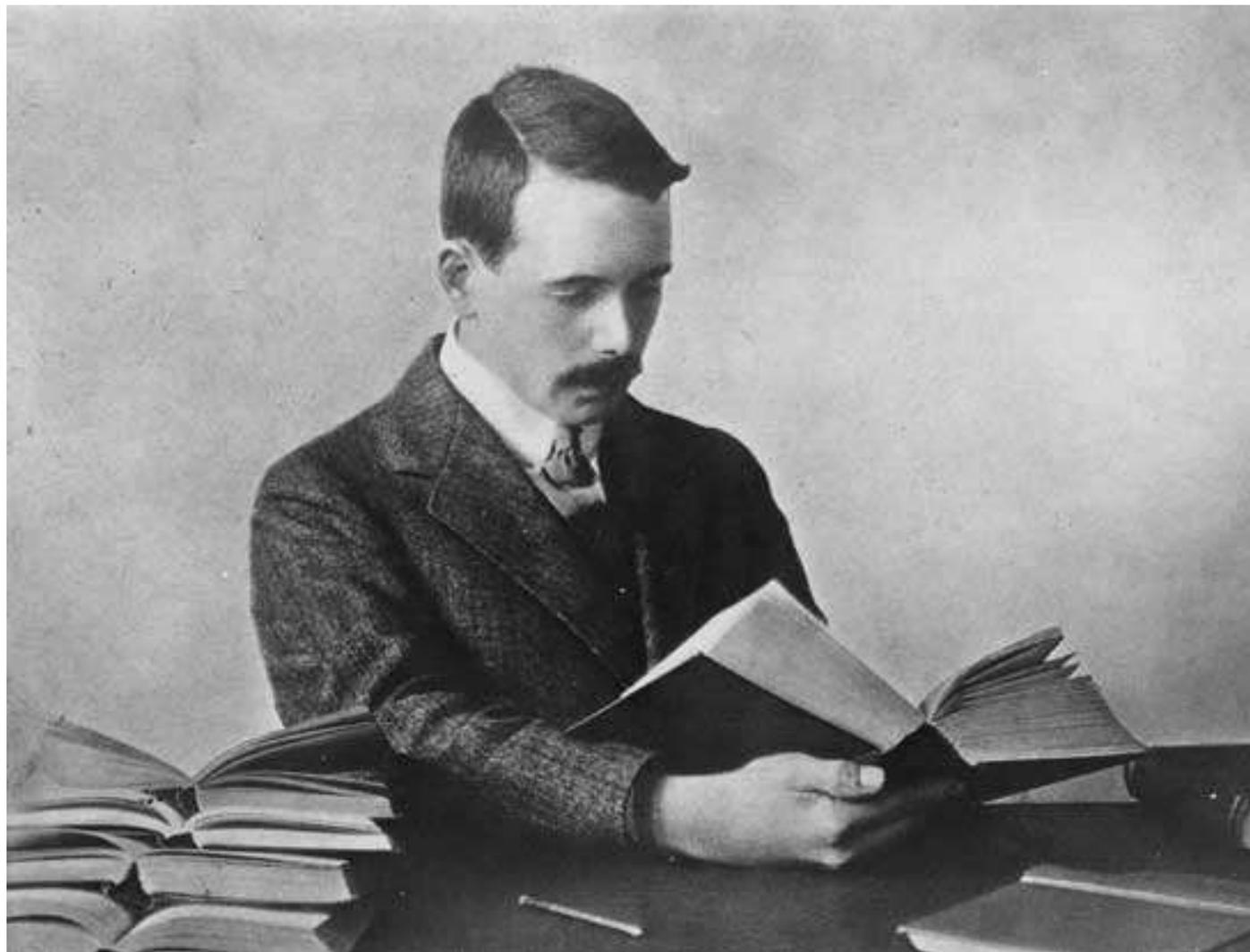


**В лекции использованы модели**  
**из эл. учебника «Открытая химия 2.5»**  
(<http://www.college.ru/chemistry/course/design/index.htm>)





# Генри Гвин Джефрис Мозли (1887-1915)







KINOPOISK.RU



# первоэлементы

## Знаки стихий



ОГОНЬ



ВОДА



ВОЗДУХ



ЗЕМЛЯ



ЭФИР  
ИЛИ  
КВИНТЭССЕНЦИЯ

Продавец демонстрирует возможности ноутбука.  
Греция, около 110 г. до н. э., мрамор.

