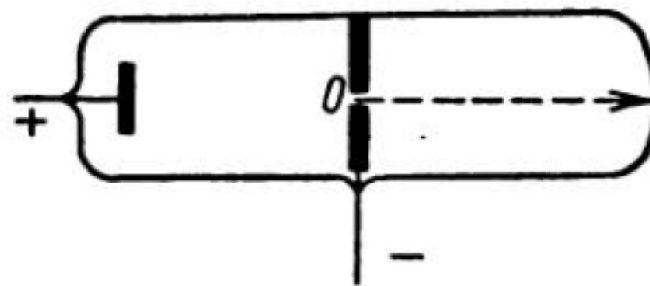


## 1.5. «Положительные лучи». Определение истинных масс атомов.

### Изотопы

«Каналовые лучи», Гольдштейн, 1886

- Газовый разряд низкого давления, отверстие (канал) в катоде.
- За отверстием по свечению газа обнаруживаются лучи.
- Вызывают свечение (люминесценцию) некоторых материалов, почернение фотоэмульсии.
- Сейчас мы понимаем, что это потоки ионов.



В 1898 г. Вильгельм Вин установил:

- эти лучи несут положительный заряд;
- удельный заряд  $q/m$  намного меньше, чем в случае катодных лучей.
- Измерить эту величину он не смог из-за большого разброса их энергий (в сравнении с катодными лучами).

1907-1912 гг.: эксперименты Дж.Дж. Томсона с использованием «метода парабол».

Эксперименты Томсона:

Источник ионов – газовый разряд в разрядной колбе.

A – анод;

K – катод (медицинская игла);

R – откачка;

Q – напуск газа;

S и N – полюсные наконечники электромагнита магнита;

P и P' – обкладки конденсатора;

Поля  $E$  и  $B$  параллельны.

На фотопластинке F – параболы, соответствующие ионам разной массы (и заряда).

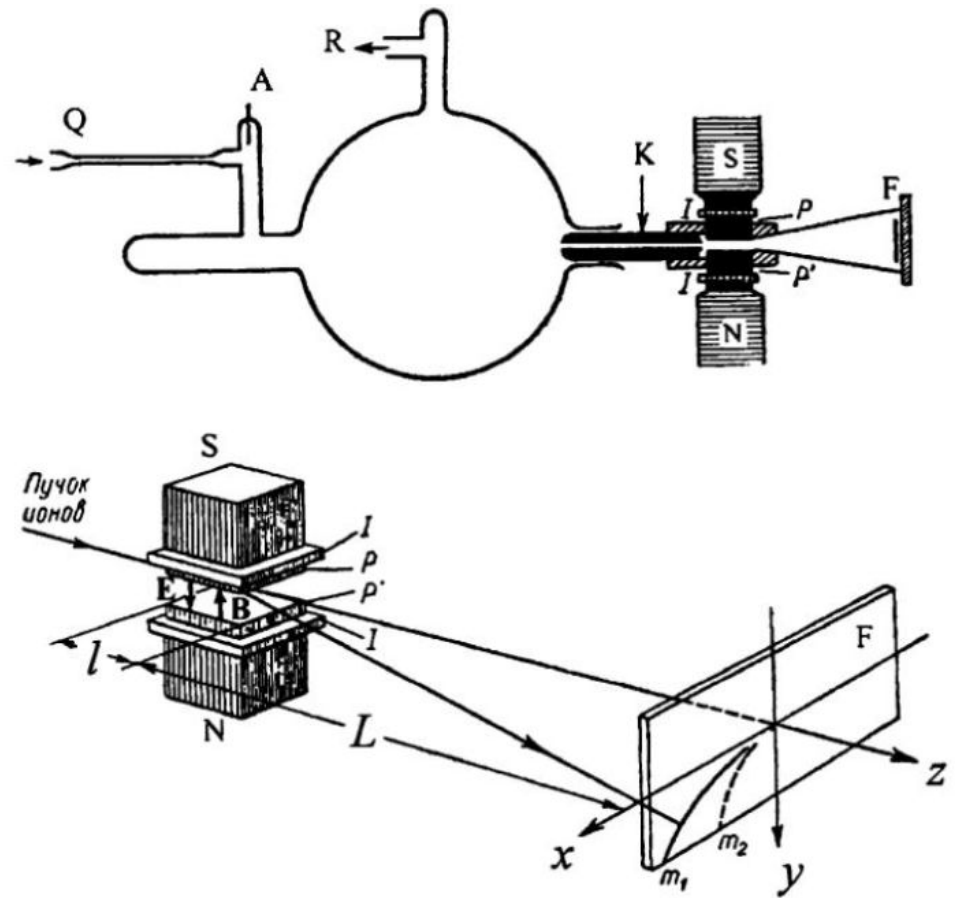
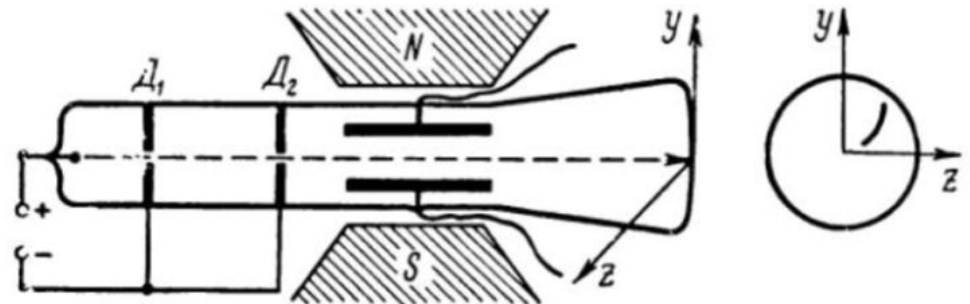


Схема установки Томсона для измерения  $e/m$  положительных ионов (1912 г.)



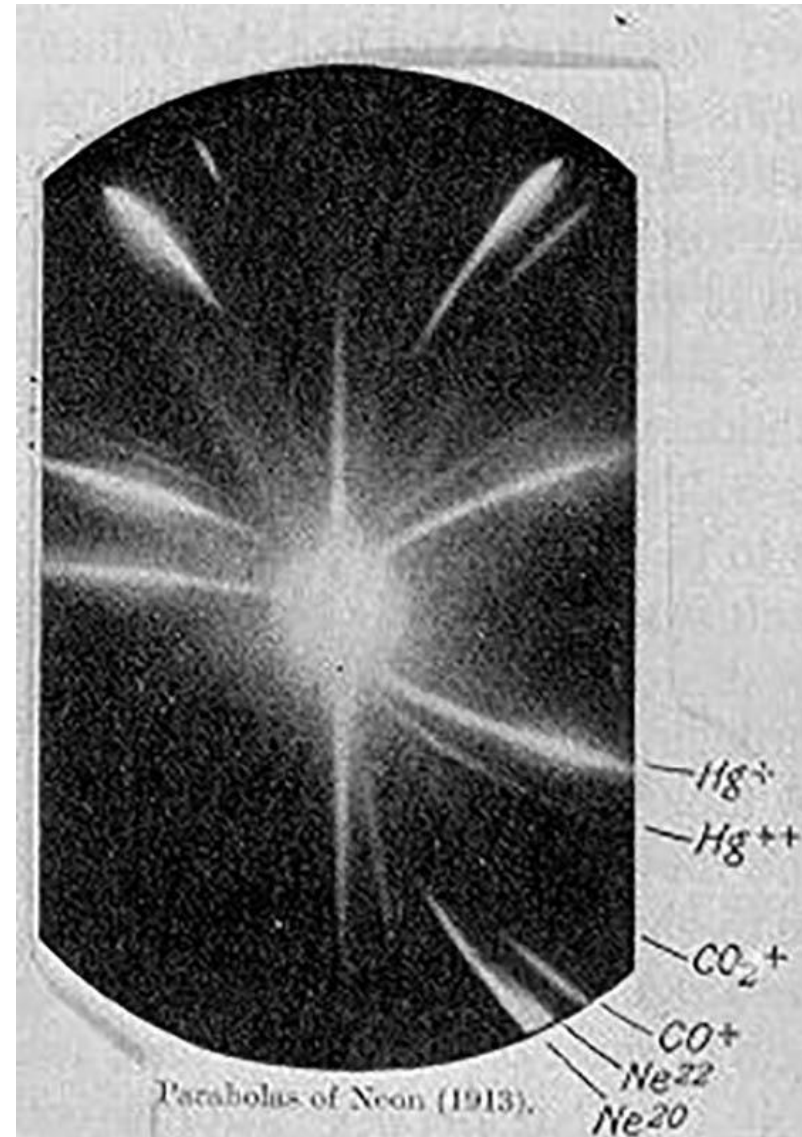
Вид изображения на пластинке □

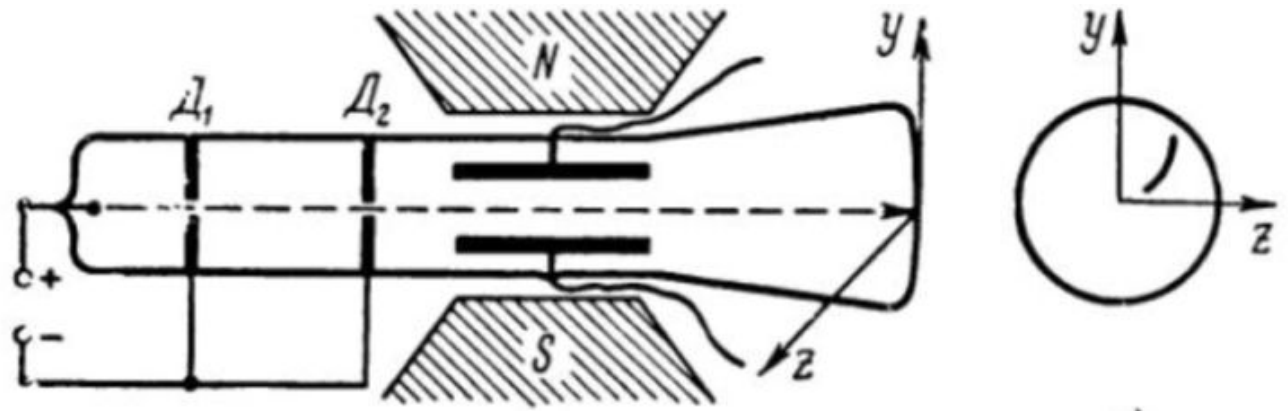
Пятно в центре – от нейтральных атомов.

Полярность магнитного поля переключали, чтобы упростить измерение координат точек.

Помечены параболы, соответствующие ионам разного состава.

Частиц с положительным зарядом и малой массой (с отношением  $m/q$ , как у электрона) обнаружено не было.





$$Y = Y_E = \frac{qEl}{mv^2} \left( L + \frac{l}{2} \right)$$

$$Z = Z_M = \frac{qBl}{mv} \left( L + \frac{l}{2} \right)$$

Электрическое поле – дисперсия по энергии, магнитное – по импульсу.  
 Результат – параболы с параметром, обратно пропорциональным удельному заряду иона:

$$Y = \left( K \cdot \frac{m}{q} \right) Z^2 \quad K = \frac{E}{B^2 l \left( L + \frac{l}{2} \right)}$$

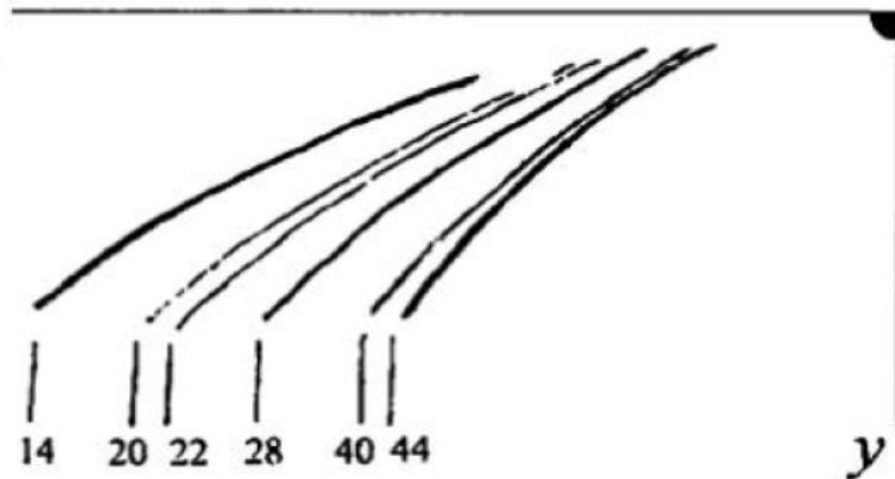
Для однозарядных ионов он должен быть пропорционален массе иона (атомному/молекулярному весу  $A$ ), для двухзарядных – быть вдвое меньшим, пропорциональным «эффективному атомному весу»  $A' = A/2$ .

Эксперименты с разными газами показали, что все именно так.

Для воздуха наблюдались ионы с

$A' = 7, 8, 14, 16, 28, 32$

( $N^{++}, O^{++}, N^+, O^+, N_2^+, O_2^+$ )



Фрагменты парабол для смеси газов

Но:

обнаружились и новые особенности.

Прежние данные об атомных весах были получены из химических и физико-химических экспериментов и всегда были усредненными по многим атомам.

Результаты физического измерения масс ионов (масс-спектрометрии) относятся к индивидуальным атомам. «Истинные массы».

Были обнаружены изотопы – впервые для устойчивых элементов (изотопы радиоактивных элементов были открыты несколько ранее – Фредерик

Содди, 1910)

Изотопы -- разновидности атомов какого-либо химического элемента, которые имеют одинаковый атомный номер, но разные массовые числа.

Химические свойства их почти идентичны, поскольку (как мы знаем сейчас) определяются электронной оболочкой.

Эксперимент Томсона с неоном:

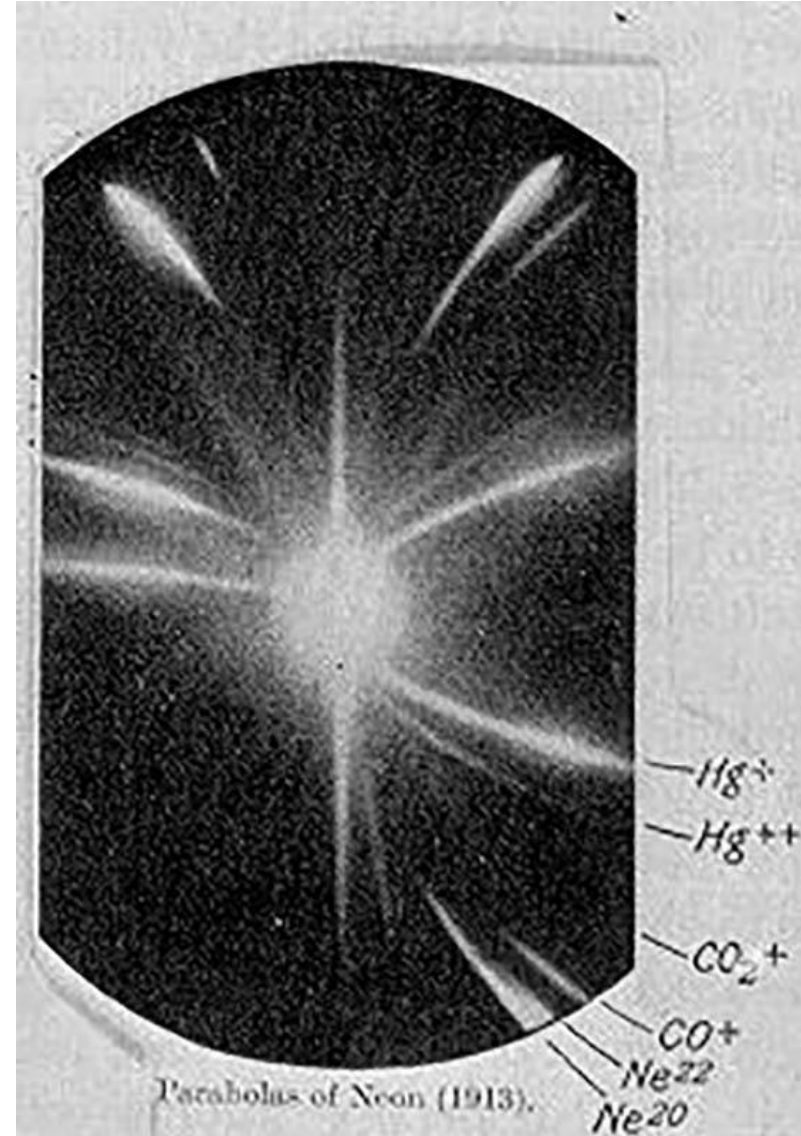
Обнаружены параболы, соответствующие значениям  $A' = 20, 22$  и  $44$ .

При этом известное «химическое» значение массового веса неона равно  $20.2$ .

$A' = 44$  соответствует  $\text{CO}_2^+$ . А  $22$ ? Это  $\text{CO}_2^{++}$ ?

Удалили  $\text{CO}_2$  вымораживанием. Но составляющая « $A' = 22$ » осталась. Элемент с таким атомным весом был неизвестен.

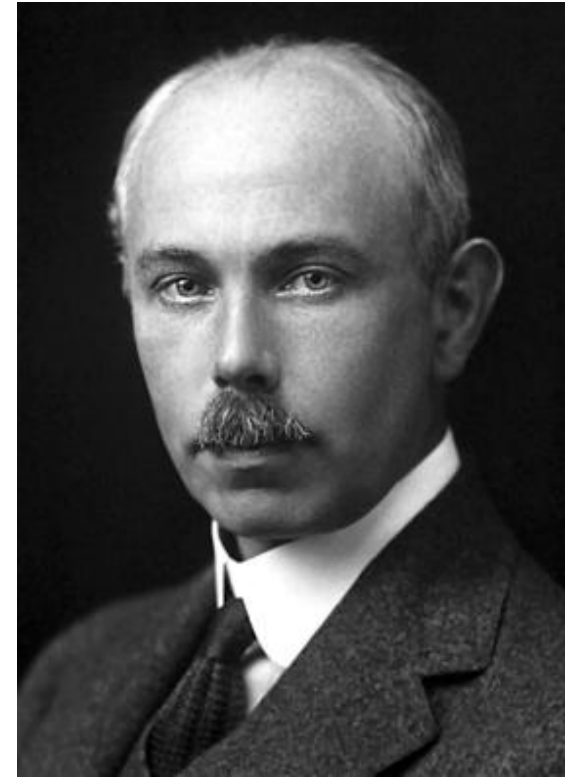
Обнаружен новый элемент?



*Это не совсем тот рисунок. Но параболы 20, 22 и 44 также присутствуют.*

Эксперименты Астона (ученика Томсона) по разделению смеси. (Теперь мы понимаем, что смеси изотопов неона).

- Выделить новый элемент химически не удалось.
- Попробовали воспользоваться разницей физических свойств – скорости диффузии через пористую перегородку. Многократно.
- Соотношение интенсивностей парабол («составляющих масс-спектра») изменилось.
- Но спектр свечения оставался единым.
- Вывод: «свойства двух газов значительно более близки, чем можно было бы ожидать при такой разнице их атомных весов.»



*Francis William Aston  
(1877-1945)*

Итого: химически однородный неон есть смесь двух сортов атомов неона (изотопов) с неотличимыми химическими свойствами, но с разными атомными весами: 20 и 22.

Известный ранее «физико-химический» атомный вес неона 20.2 есть результат усреднения.

Если доля изотопа-20 равна  $x$ , а изотопа-22 –  $(1-x)$ , то средний атомный вес:

$$\bar{A} = 20x + 22(1 - x) = 20.2$$

Это дает  $x=0.9$  и  $(1-x)=0.1$ , что соответствовало яркости парабол масс-спектра.

Астон открыл 212 стабильных изотопов.

Например, для магния с «химическим» атомным весом 24.31:

Изотопы . . . . .	24	25	26
Процентное содержание	78,60	10,11	11,29



## Последующие исследования показали:

- У большинства элементов есть по несколько устойчивых изотопов. У остальных – есть радиоактивные изотопы.
- «Химический» атомный вес – результат усреднения весов изотопов с коэффициентами, определяемыми их «распространенностью».
- Атомные веса изотопов близки к целочисленным до третьего знака дробной части – «правило целых чисел» Астона.
- Возродился интерес к гипотезе У. Праута (1815 г.): все атомы состоят из атомов водорода как из универсальных «кирпичиков». Нецелочисленные атомные веса, определенные позднее, противоречили этой гипотезе. Целочисленные массы изотопов -- соответствовали.
- Современное объяснение: масса атома в основном определяется массой протонов и нейтронов ядра. Атомный номер – число протонов. Различие изотопов – в числе нейтронов. Массы протона и нейтрона близки: приблизительно 1836 и 1839 масс электрона.