

## 1.7. Взаимодействие электронов с веществом. опыты по рассеянию электронов в газе.

Итак, было установлено, что электроны могут отделяться от атомов или присоединяться к ним, образуя ионы.

Электрон – часть атома. Но:

- что входит в состав атома, помимо электрона?
- какова структура атома?

Г. Герц и Ф. Ленард, ранние опыты с катодными лучами (1892-1894). Лучи:

- проходят через металлические фольги;
- могут быть выведены из разрядной трубки в воздух;
- распространяются в атмосферном воздухе на расстояния до 8 см (длина пробега молекул в воздухе гораздо меньше, значит, это точно не молекулы).

Изначально Филипп Ленард считал эти факты свидетельством волновой природы катодных лучей.

Но позже было показано, что это поток частиц.

Атомы проницаемы? Они несплошные?

Заслуга Ленарда: он стал использовать электроны как инструмент для зондирования атома.

(До него изучали свойства самих электронов.)

- Использовал для получения электронов фотокатод («К») -- Al диск, освещаемый ультрафиолетовыми лучами от электрической искры.

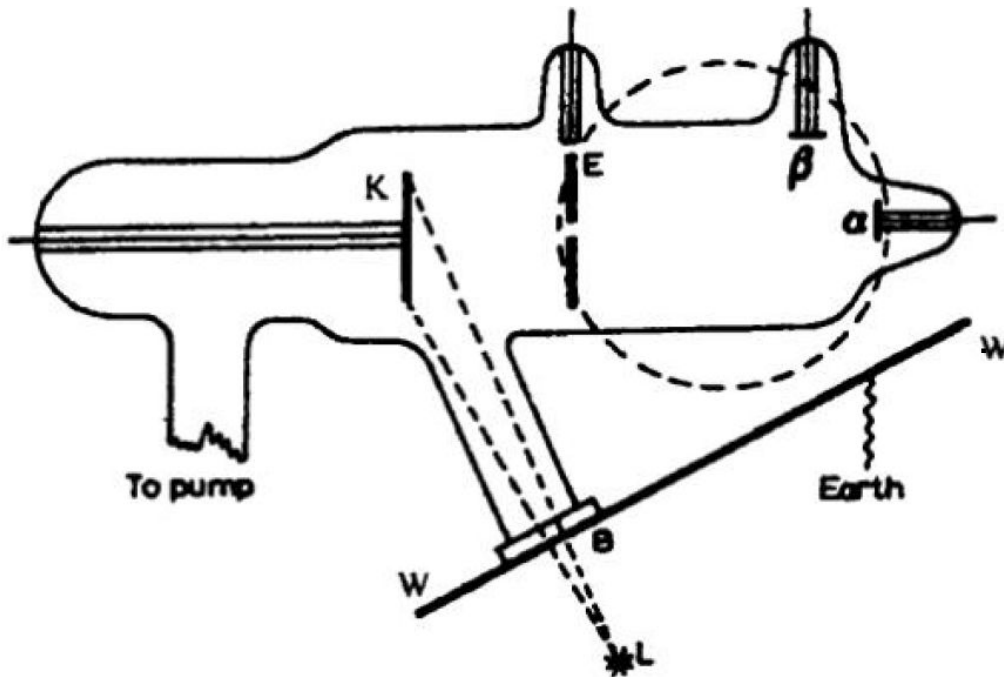
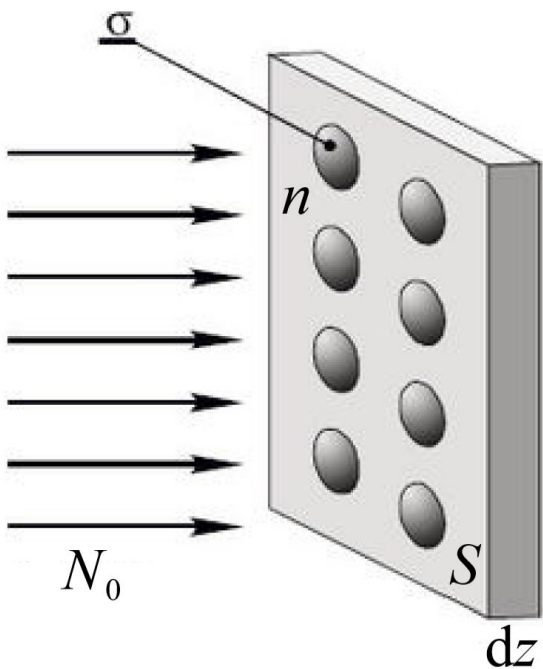


Схема установки Ленарда (1899 г.)

- Определил, что максимальная энергия выходящих из катода частиц не превышает  $\sim 2$  эВ – по прекращению тока при подаче на диафрагму («Е») отрицательного потенциала.
- Определил, что получаемые частицы обладают тем же удельным зарядом, что и частицы катодных лучей – по отклонению их потока магнитным полем (пунктир) и переключению тока с электрода « $\alpha$ » на электрод « $\beta$ ».
- Изучил зависимость величины прошедшего тока от длины пути частиц через газ для разных видов газа и его давлений (0.01-0.003 Торр), а также ...
- ... а также от энергии электронов (!).

Для числа (или тока) частиц, беспрепятственно прошедших сквозь газ, можно ожидать экспоненциального спада с расстоянием:  $I(z)=I_0 \exp(-z/\lambda)$ ,  $\lambda$  -- длина пробега.

Можно связать эту величину с концентрацией атомов газа  $n$  и их размером, точнее, площади видимой электрону проекции  $\sigma$  (ее называют «сечением»).



- Пусть поток электронов  $N_0$  падает на объем газа площадью  $S$  и толщиной  $dz$ , достаточно малой, чтобы проекции атомов (почти) не перекрывались.
- Число атомов в слое равно произведению его объема на концентрацию  $n \cdot S \cdot dz$ ,
- суммарная площадь их проекций  $\sigma n S \cdot dz$ .
- Вероятность случайного попадания электрона в один из атомов равно отношению «занятой» площади к полной  $\sigma n S dz / S = \sigma n \cdot dz$ .

- Вероятность случайного попадания электрона в один из атомов  $\sigma n \cdot dz$ .
- Убыль числа электронов при прохождении слоя  $dz$  составит  $-dN = N\sigma n \cdot dz$ ,
- или для тока  $-dI = I\sigma n \cdot dz$ .
- Уравнение для  $I(z)$ :  $dI/dz = -I\sigma n$
- Его решение:  $I = I_0 \exp(-\sigma n z)$ .
- Сравним с ранее написанным  $I(z) = I_0 \exp(-z/\lambda)$ ,
- для характерной длины ослабления тока имеем:  $\lambda = \frac{1}{\sigma n}$
- Концентрацию атомов можно оценить из:  $p = nk_B T$   
(ур-е Менделеева-Клайперона) .

Ленард экспериментально определял значения  $\lambda$  для разных газов при разных давлениях и при разной энергии электронов.

Ленард экспериментально определял значения  $\lambda$  для разных газов при разных давлениях и при разной энергии электронов.

- Зависимость от давления была ожидаемой – приблизительно

$$\sigma = \text{Const}(p)$$

- Для газов разного состава оказалось просто

$$(1/\lambda) \sim \rho \quad (\sim \text{массовой плотности})$$

- Можно было бы ожидать, что сечение рассеяния электронов не будет зависеть от энергии – если атомы представляют собой «жесткие шарики», непроницаемые для электронов. Это приближение неплохо работает при описании результата столкновений атомов друг с другом в молекулярно-кинетической теории.
- Но зависимость сечения рассеяния электронов от их энергии оказалась резко падающей (!).

## Убывание эффективного сечения столкновения электрона с молекулами газов при росте кинетической энергии

$\mathcal{E}_k,$ эВ	H <sub>2</sub>	Воздух	Ar	CO <sub>2</sub>
6	44	30	28	34
30	14.6	27	26	32
100	6.01	21	20	28
1 000	1.2	3.9	4.2	7
4 000	0.19	0.85	1.3	2
30 000	0.00062	0.005	—	0.0067

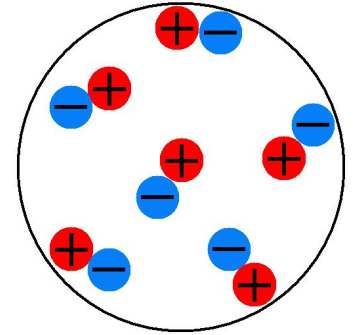
(Приведены значения величин  $1/(\lambda p) = \sigma/(k_B T)$  в единицах  $[\text{см}^{-1} \cdot \text{Торр}^{-1}]$  из статьи Ленарда 1903 г.)

- Величины сечения для малых энергий электронов по порядку величины соответствовали известным «газокинетическими» размерам атомов.
- Но уже при энергии электрона 30 кэВ эти сечения оказываются в тысячи раз меньшими.

Атомы «прозрачны» для быстрых электронов? Они «пустые» внутри?

## Объяснение Ленарда:

- Раз в состав атома входит заряженный электрон, должны входить и положительно заряженные частицы.
- Они в сумме занимают лишь небольшую часть объема атома, остальная часть заполнена лишь электрическим полем.
- Это поле сильно лишь в небольшой части объема атома.
- Медленные электроны эффективно отбрасываются даже слабым полем. Поэтому они взаимодействуют с атомом как с «жестким» объектом.
- Быстрые электроны, испытывающие действие полей атома лишь короткое время, в слабом поле почти не изменяют свою скорость.



Ленард предложил модель атома, состоящего из «динамидов» -- связанных пар из электрона и положительной частицы.

Некоторые черты этой модели унаследовала Резерфордская модель атома.