1.4. Измерение заряда электрона в опыте Милликена

Значение экспериментов Милликена:

- Впервые измерен абсолютный элементарный заряд e (а не удельный заряд e/m)
- Измерение заряда тел дискретными порциями наблюдалась не в среднем, а для конкретных событий
- Установлена независимость величины элементарного заряда от вида и знака переносящего его иона
- Величина e была измерена с высокой точностью (около 1%)

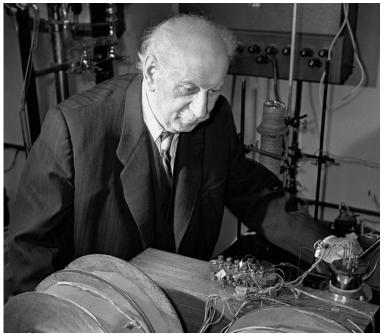
Вообще говоря, измерялся заряд не электрона, а макроскопических объектов

Опыт Милликена и Флетчера (1909-1914)

- использовались частицы масла,
- в дальнейшем и других материалов,
- использовались разные газы (показано, что заряд разных ионов одинаков или кратен),
- определена абсолютная величина $\,e\,$.

Роберт Милликен, □ 1868-1953



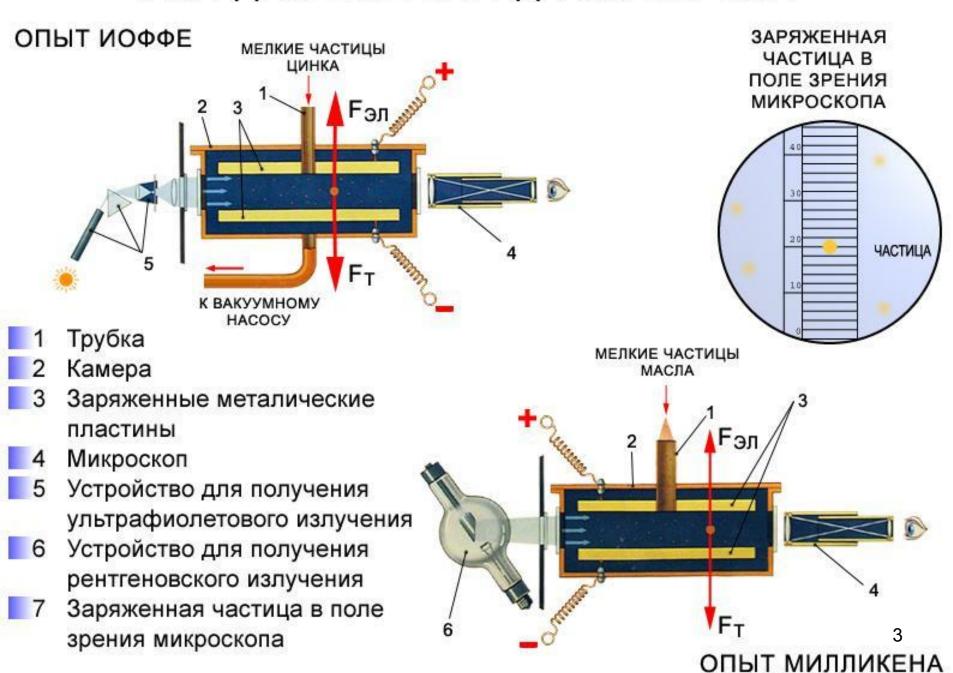


Опыт Иоффе (1912)

- использовались частицы цинка,
- обнаружена дискретность изменения их заряда при фотоэффекте.

□ Абрам Федорович Иоффе, 1880-1960

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА



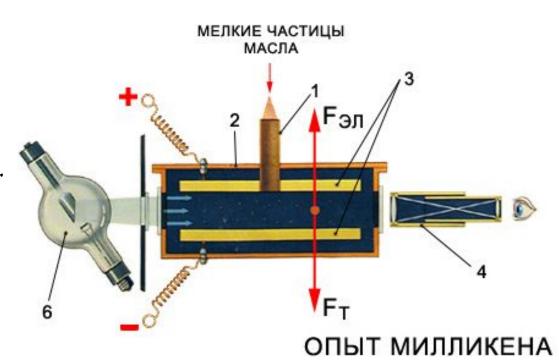
Основная идея (в начальном варианте и в опыте Иоффе) — уравновешивание электрической силы силой тяжести $F_{3Л} = F_T$. Для сферической капли радиуса r и плотности ρ в воздухе (ρ_0) :

$$F_T = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3(\rho - \rho_0)g$$

Электрическая сила выражается через напряженность поля в конденсаторе E и заряд капли q:

$$F_{\mathfrak{I}} = Eq$$

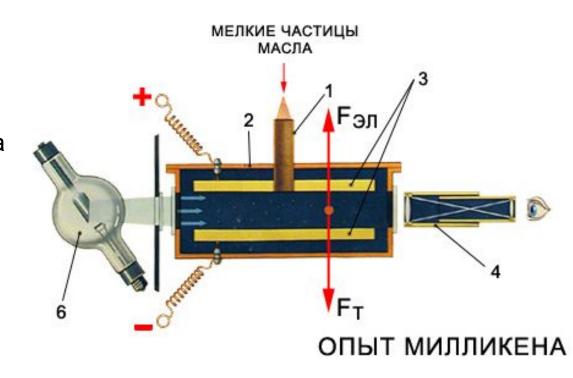
Отсюда, казалось бы, легко определяется заряд капли. Далее: ионизуем воздух в объеме, дожидаемся изменения заряда капли за счет присоединения к ней иона (или нескольких).



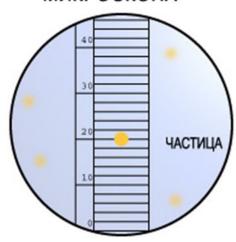
Повторив измерение многократно, определим, любые ли значения может принимать заряд капли q, или только дискретные.

Проблема:

нужно работать с очень мелкими каплями. Но их радиус нельзя измерить с помощью микроскопа — если взять r меньше дифракционного предела. Кроме того, их движение очень медленное из-за сильного взаимодействия с воздухом — вязкого трения.



ЗАРЯЖЕННАЯ ЧАСТИЦА В ПОЛЕ ЗРЕНИЯ МИКРОСКОПА



<u>Решение</u>: использовать вязкое трение для измерения размера капель.

В отсутствие поля (E=0) капли падают с установившейся скоростью v_0 , для которой сила трения $F_{\rm B}$ уравновешена силой тяжести $F_{\rm T}$. Эту скорость v_0 можно измерить, выключив поле.

5

Формула Стокса для сферы радиуса r , движущейся со скоростью v в среде с вязкостью η :

$$F_B = 6\pi\eta \cdot rv$$

Приравняв $F_{\rm B}$ = $F_{\rm T}$, для скорости v= v_0 можно выразить радиус через скорость:

$$r = \frac{3\sqrt{2}}{2} \sqrt{\frac{(*)^{\eta} \cdot v_0}{(\rho - \rho_0)g}}$$

Далее мы используем его также в виде: $r^2(\rho - \rho_0)g = \frac{9}{2}(\uparrow \uparrow \downarrow)_0$

После включения поля E позволим частице двигаться вверх и измерим установившуюся скорость подъема ν .

При этом выполняется условие F_{R} + F_{T} =qE или

$$\frac{4}{3}\pi \cdot r^3(\rho - \rho_0)g + 6\pi\eta \cdot rv = qE$$

$$q = \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{r^3(\rho - \rho_0)g}{E} \left(1 + \frac{9}{2} \frac{\eta v}{r^2(\rho - \rho_0)g} \right)$$

Подставив сюда (*) и (**), получим выражение в окончательной форме.

Подставив (*) и (**), получим выражение в окончательном виде:

$$q = \frac{9\sqrt{2}\pi}{E} \sqrt{\frac{\eta^{3} v_{0}^{3}}{(\rho - \rho_{0})g}} \left(1 + \frac{v}{v_{0}}\right)$$

Все величины в правой части были известны или могли быть измерены. Многократные измерения q для одной капли, изменявшей заряд, дали Милликену значения, кратные одной и той же величине e .

Но: для разных капель значения e немного различались (??).

Причина:

формула Стокса неточна при размере капли r , меньшем, чем длина пробега молекул газа λ . «Эффективная» вязкость зависит от r :

$$F_{T} = \frac{6\pi\eta rv}{\text{Но юрэффициент } B}$$
 неизвестен. $1 + B \frac{\pi}{\mu}$ делать?

$$F_T = \frac{6\pi\eta rv}{\text{Но коэффициент }B}$$
 неизвестен. 1 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ Делать?

Создать условия, при которых стало бы понятно, что будет происходить

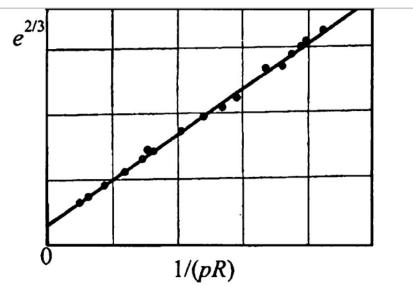
при
$$\frac{\lambda}{r}$$
. Менять давление газа!

Построить зависимость измеренного значения e от давления p. И проследить тенденцию в пределе $p \ \square \ \infty$

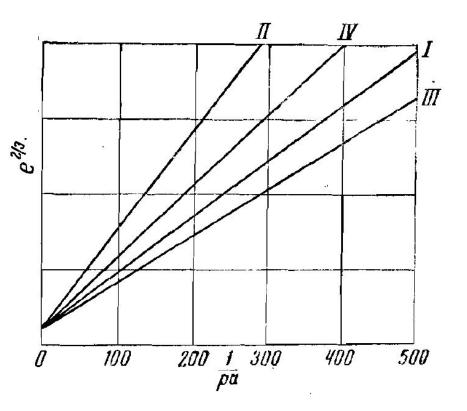
(то есть,
$$\frac{1}{rp} \rightarrow 0$$

Милликен изменял (уменьшал) давление воздуха до 30 раз. Брал капли разного размера.

Все такие зависимости пресекли вертикальную ось при одном и том же значении e!



Вид зависимости приближенного значения $e^{2/3}$ от параметра 1/(pR), полученной Милликеном



Зависимости определенной Милликеном величины e от давления газа p для разных видов капель и газа:

I – масло в воздухе;

II – масло в водороде;

III – ртуть в воздухе;

IV – шеллак в воздухе.

Опыты, проведенные для разных видов частиц и газов, дали практически одно и то же значение.

Значит, «атом электричества» един.

Современное значение заряда электрона:

$$e$$
 =1.602·10⁻¹⁹ Кл

В совокупности со значением величин удельного заряда, полученных в более ранних опытах, это позволило оценить также и массу электрона

$$(m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}),$$

ионов и атомов.