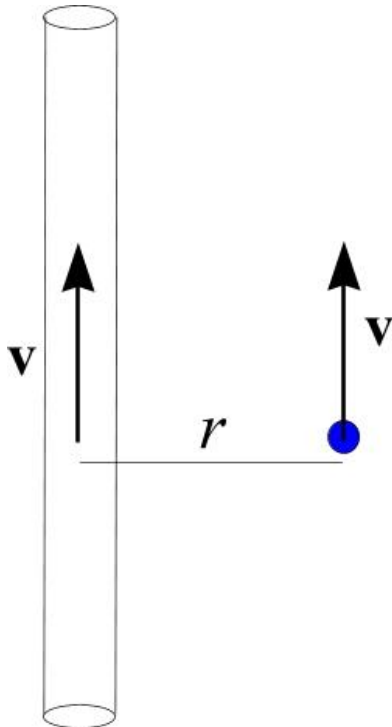


# Элементы специальной теории относительности (СТО)

(Пространство и время в кинематике)

# I. Некоторые эксперименты с "драматическими" результатами

## а) Заряженная частица и провод с током



В лабораторной системе провод не заряжен, но в нем существует ток  $i$ , который создает магнитное поле, в котором на частицу действует сила Лоренца, заставляющая притягиваться частицу к проводу.

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

НО! В системе, связанной с частицей этой силы НЕТ! Так как частица покоится!

Как же так? Выходит, что факт притяжения (или его отсутствия) зависит от точки зрения наблюдателя. НЕ МОГУ С ЭТИМ СМИРИТЬСЯ!

## б) Предельная скорость

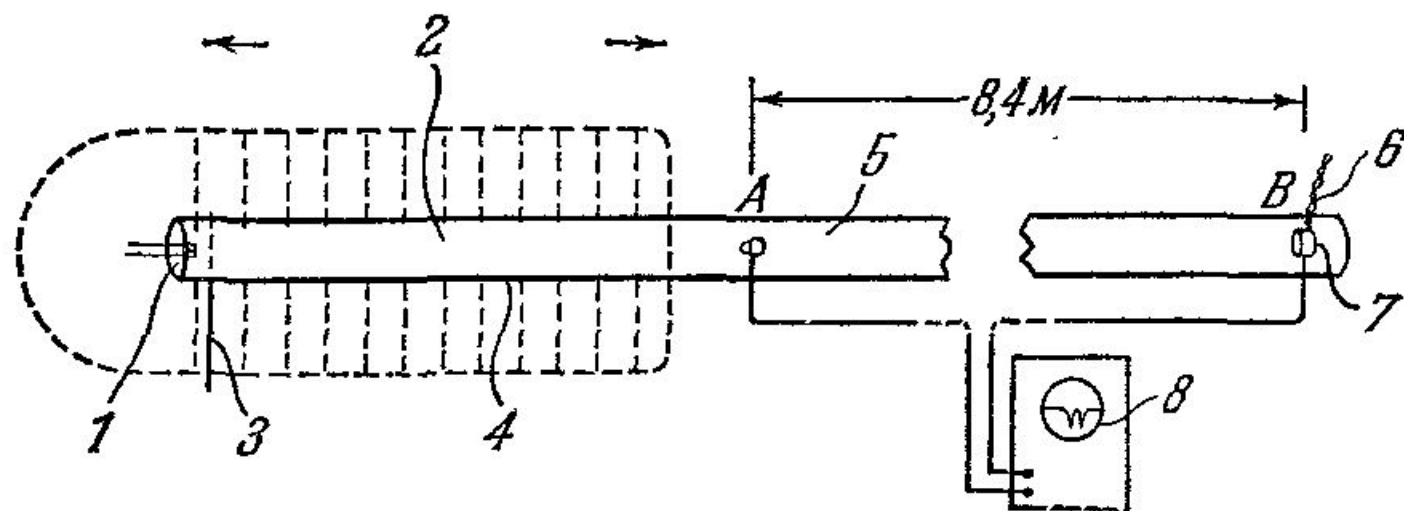
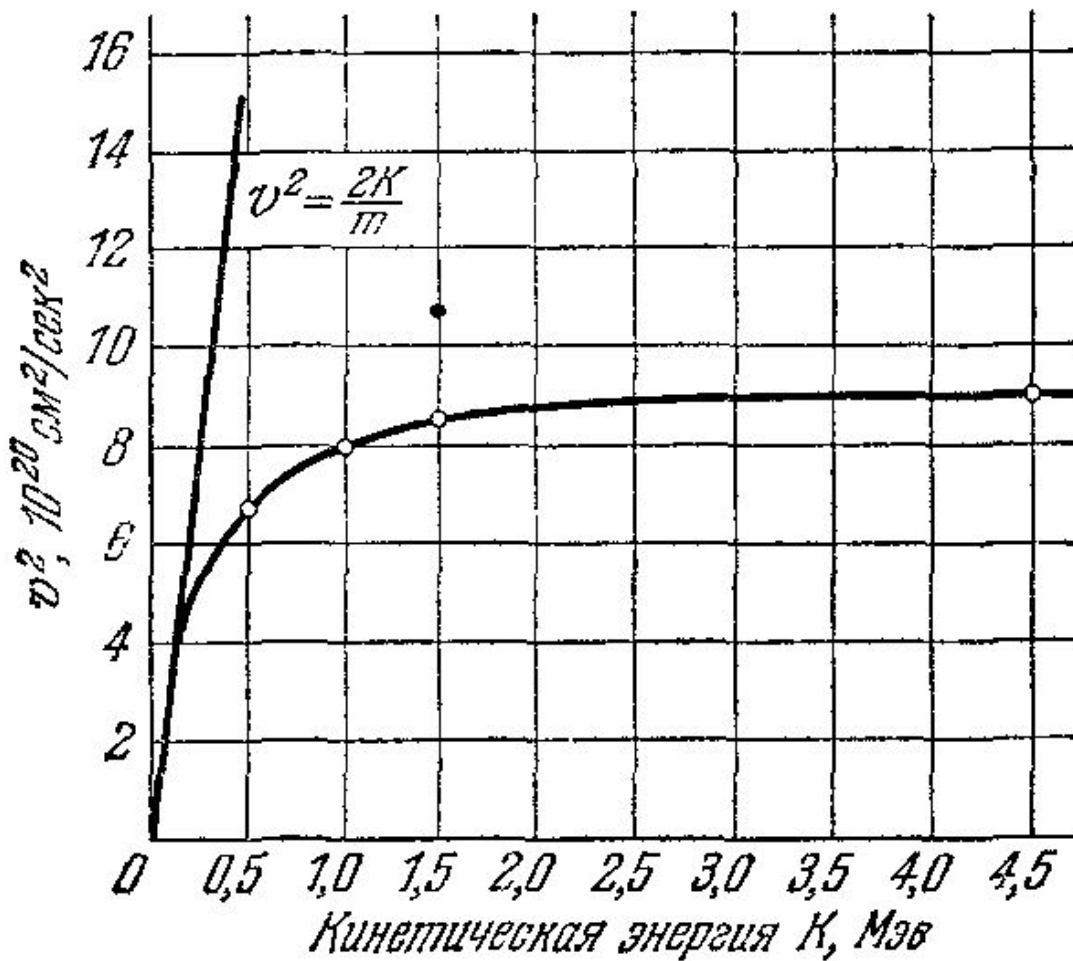


Рис. 10.39. Принципиальная схема опыта по определению предельной скорости. Электроны ускоряются однородным полем в левой части прибора, а время их пробега между  $A$  и  $B$  определяется с помощью осциллоскопа.

1 — горячий катод; 2 — однородное электрическое поле от ускорителя Ван-де-Граафа; 3 — сетка управления, действующая как затвор; 4 — трубка, находящаяся под вакуумом; 5 — электрическое поле отсутствует; 6 — термопара; 7 — алюминиевый диск; 8 — осциллоскоп показывает импульсы, поступающие из точек  $A$  и  $B$ .

Зависимость квадрата скорости частицы от кинетической энергии, полученной от ускорителя



в) Опыт Майкельсона и Морли (1887 г).

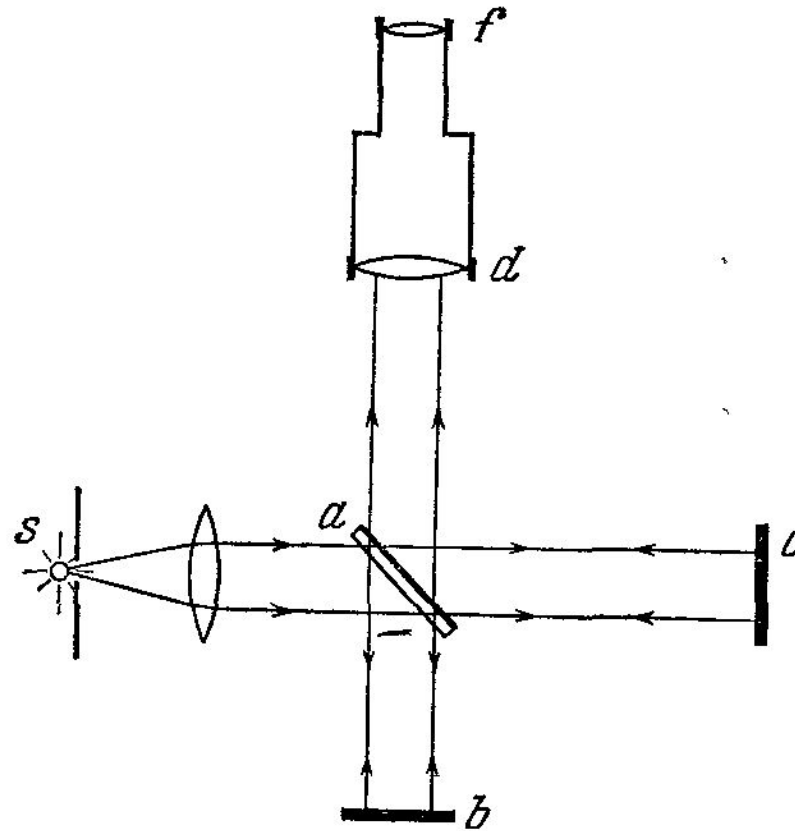


Рис. 10.29. В опыте Майкельсона и Морли интерферометр состоял из источника света  $s$ , полупрозрачного зеркала  $a$ , зеркал  $b$  и  $c$  и приемника света – зрительной трубы  $d$ ;  $f$  – фокальная плоскость зрительной трубы. Если интерферометр был неподвижен относительно эфира, то с помощью трубы  $d$  можно было наблюдать интерференцию пучков  $aba$  и  $aca$ .

# II. Преобразования Лоренца

Рассмотрим поверхность фронта световой волны от точечного источника света, находящегося в начале координат. Это сфера и ее уравнение:

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2.$$

Но в другой системе (движущейся со скоростью  $V$ ) скорость света такая же, следовательно и уравнение такое же:

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2.$$

Если преобразования Галилея верны, то какое-то из этих уравнений точно не верно! Действительно, если подставить преобразования:

$$x' = x - Vt, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t + fx,$$

получим

$$x^2 - 2xVt + V^2 t^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2 + 2c^2 f t x + c^2 f^2 x^2.$$

Но, если положить, что  $f = -\frac{V}{c^2}$

$$\text{Тогда } x^2 \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right) + y^2 + z^2 = c^2 t^2 \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right).$$

А вот это подойдет:

$$x' = \frac{x - Vt}{(1 - V^2/c^2)^{1/2}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \\ t' = \frac{t - (V/c^2)x}{(1 - V^2/c^2)^{1/2}}.$$

## Сложение скоростей

$$x' = \frac{x - Vt}{(1 - V^2/c^2)^{1/2}}, \quad y' = y, \quad z' = z,$$
$$t' = \frac{t - (V/c^2)x}{(1 - V^2/c^2)^{1/2}}.$$

$$v_{\text{отн}} = \frac{dx'}{dt'} = \frac{x - Vt}{t - \frac{Vx}{c^2}} = \frac{u - v}{1 - \frac{uv}{c^2}}.$$

Частные случаи, ломающие мировоззрение:

$$v = c,$$
$$u = c,$$
$$v_{\text{отн}} = c.$$

$$v = -c,$$
$$u = c,$$
$$v_{\text{отн}} = c.$$

$$v = c,$$
$$u - \text{любая},$$
$$v_{\text{отн}} = c.$$

$$v = c/2,$$
$$u = -c/2,$$
$$v_{\text{отн}} = 4c/5.$$

## Преобразование длин и временных интервалов

$$L = L_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$



# III. Что же там на самом деле в динамике?

Если импульс по-прежнему будем определять как  $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ , то при переходе в другую "быструю" инерциальную систему он сохраняться не будет!!!

Выполнение закона сохранения количества движения можно обеспечить лишь приняв, что:

$$\mathbf{p} = \frac{m\mathbf{v}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Эх, не побоимся и признаем, что:

Тогда понятен результат эксперимента Бертоцци!

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Будем последовательны и наложим руки на энергию!

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F}, \quad \frac{d\mathbf{p}}{dt} d\mathbf{r} = \mathbf{F} d\mathbf{r}, \quad \mathbf{v} d\mathbf{p} = dA,$$

Так как:  $\mathbf{p} = m\mathbf{v} / \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$ , то:  $v = pc / \sqrt{m_0^2 c^2 + p^2}$ .

После подстановки получим:  $\frac{cpdp}{\sqrt{m_0^2 c^2 + p^2}}$  или:  $dA$ ,

$$\int_0^p \frac{cpdp}{\sqrt{m_0^2 c^2 + p^2}} = A,$$

$$\sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2} - m_0 c^2 = A,$$

Здесь ПОЛНАЯ энергия:

$$E = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2} = mc^2.$$

Кроме кинематического есть и другой инвариант:

$$m_0 c^2 = \sqrt{E^2 - \mathbf{p}^2 c^2}.$$

Ну вот, мы и собрали "вершки" с механики.

Со следующего раза начнем мучить молекулярную физику.