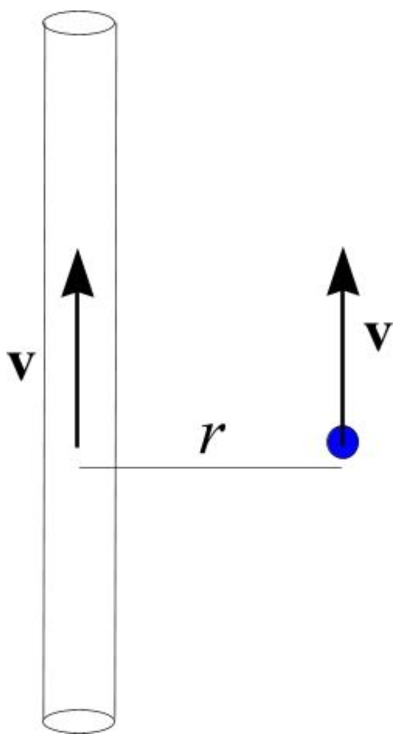
Лекция 10

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

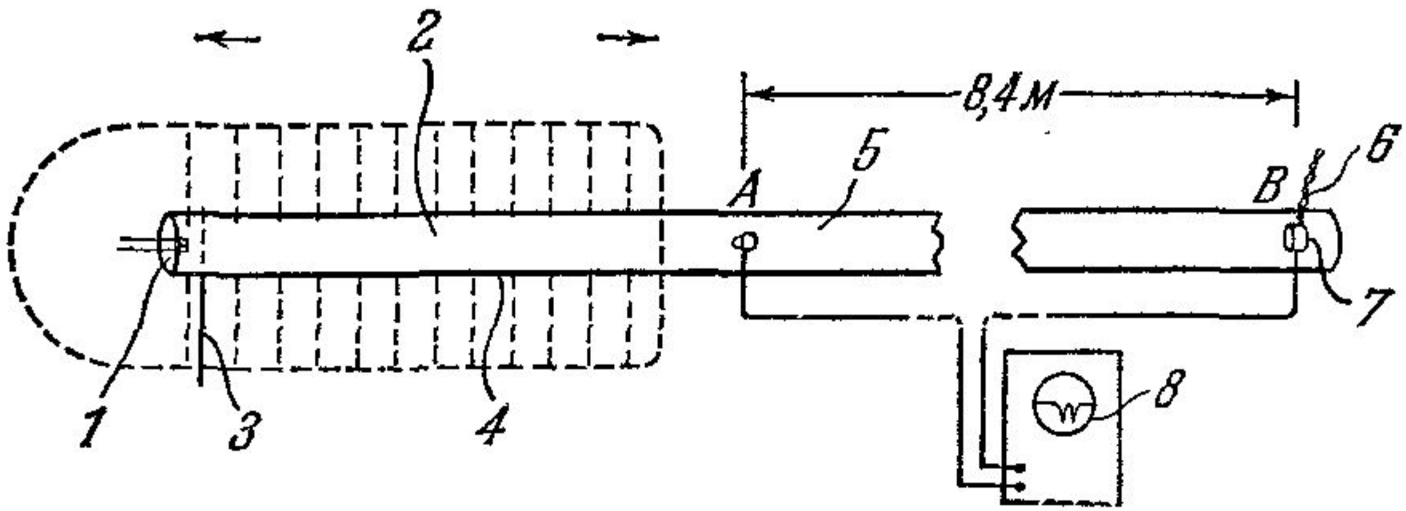
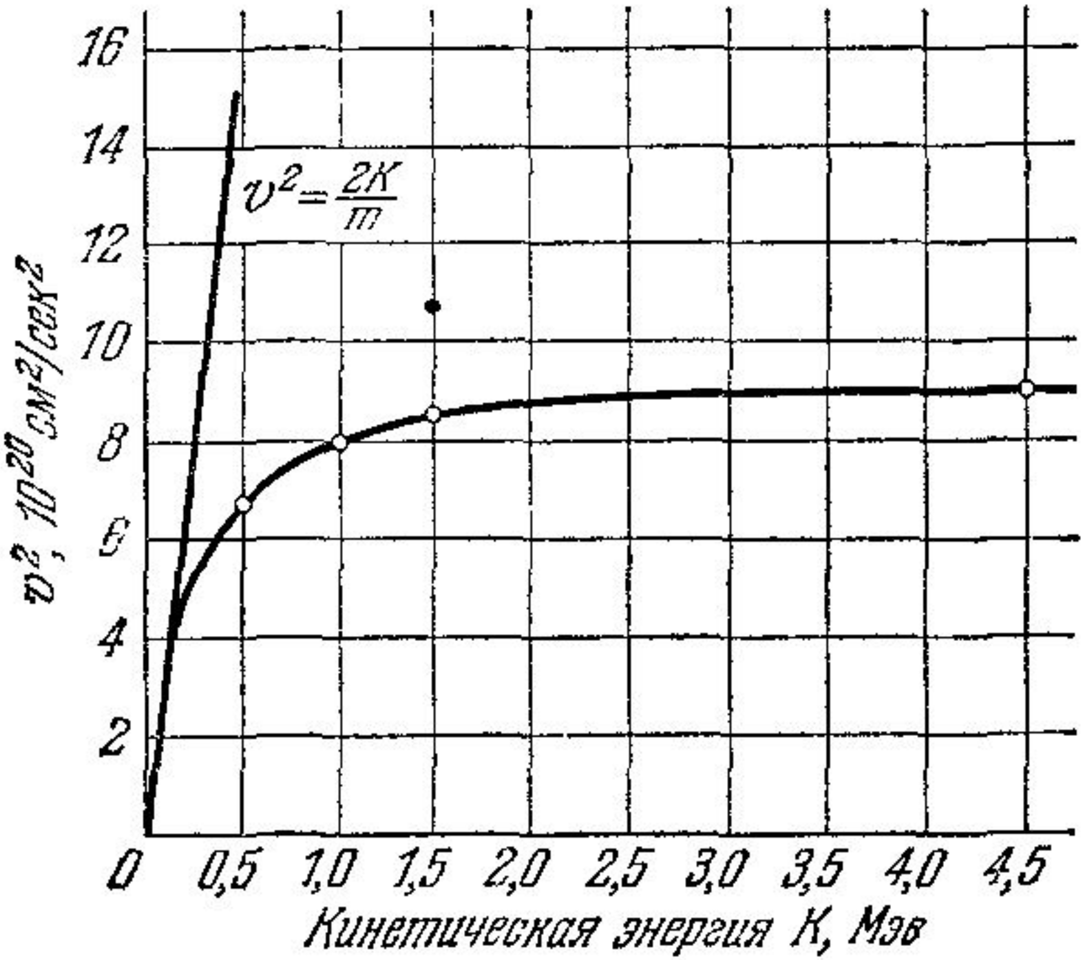


Рис. 10.39. Принципиальная схема опыта по определению предельной скорости. Электроны ускоряются однородным полем в левой части прибора, а время их пробега между A и B определяется с помощью осциллоскопа.

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.

Этот опыт был выполнен Бертоцци. См. Am. J. Phys. **32**, 551 (1964).

Зависимость квадрата скорости частицы от кинетической энергии, полученной от ускорителя



в) Опыт Майкельсона и Морли (1887 г).

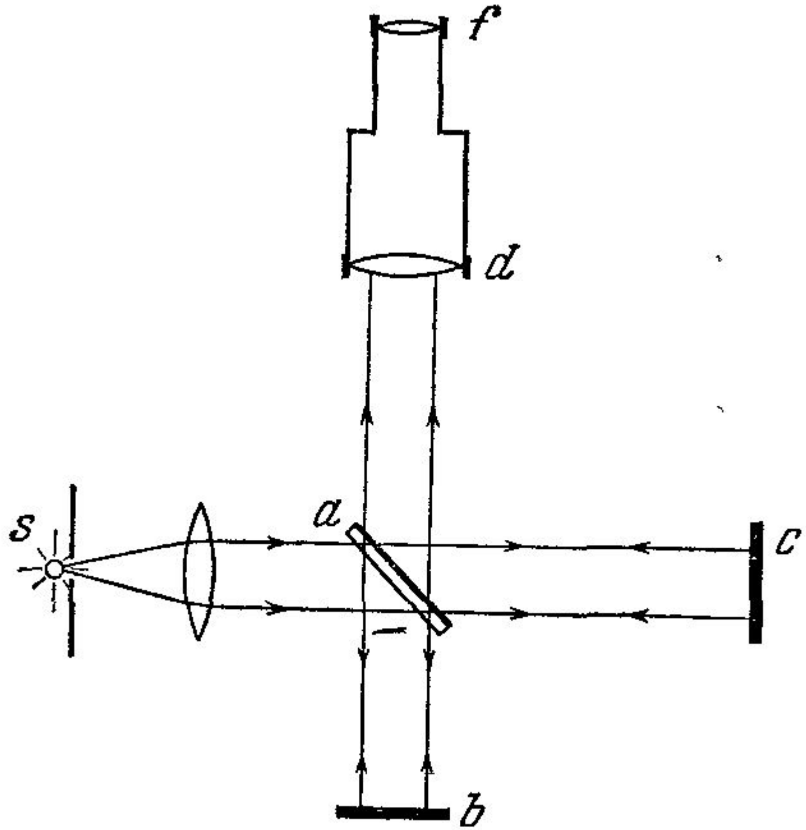


Рис. 10.29. В опыте Майкельсона и Морли интерферометр состоял из источника света s, полупрозрачного зеркала a, зеркал b и c и приемника света – зрительной трубы d; f – фокальная плоскость зрительной трубы. Если интерферометр был неподвижен относительно эфира, то с помощью трубы d можно было наблюдать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

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

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

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

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:

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

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

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

А вот это подойдет:

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

Сложение скоростей

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

$$\upsilon_{отн} = \frac{dx'}{dt'} = \frac{x - \upsilon t}{t - \frac{\upsilon x}{c^2}} = \frac{u - \upsilon}{1 - \frac{u\upsilon}{c^2}}.$$

Частные случаи, ломающие мировоззрение:

$$\boxed{\begin{aligned} \upsilon &= c, \\ u &= c, \\ \upsilon_{отн} &= c. \end{aligned}} \qquad \boxed{\begin{aligned} \upsilon &= -c, \\ u &= c, \\ \upsilon_{отн} &= c. \end{aligned}} \qquad \boxed{\begin{aligned} &\upsilon = c, \\ &u - \text{любая}, \\ &\upsilon_{отн} = c. \end{aligned}} \qquad \boxed{\begin{aligned} \upsilon &= c/2, \\ u &= -c/2, \\ \upsilon_{отн} &= 4c/5. \end{aligned}}$$

Преобразование длин и временных интервалов

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

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

III. Что же там на самом деле в динамике?

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

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

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

Эх, не побоимся и признаем, что:

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

Тогда понятен результат эксперимента Бертоцци!

Будем последовательны и наложим руки на энергию!

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F}, \qquad \frac{d\mathbf{p}}{dt}d\mathbf{r} = \mathbf{F}d\mathbf{r}, \qquad \boldsymbol{\upsilon}d\mathbf{p} = dA,$$

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

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

$$\int_0^p \frac{cpdp}{\sqrt{m_0^2c^2 + p^2}} = A, \qquad \boxed{\sqrt{m_0^2c^4 + p^2c^2} - m_0c^2 = A,}$$

Здесь ПОЛНАЯ энергия: $$\boxed{E = \sqrt{m_0^2c^4 + p^2c^2} = mc^2.}$$

Кроме кинематического есть и другой инвариант:

$$\boxed{m_0c^2 = \sqrt{E^2 - \mathbf{p}^2c^2}.}$$

Ну вот, мы и собрали “вершки” с механики.

Со следующего раза начнем мучить молекулярную физику.