

ЗАВИСИТ ЛИ ИНЕРЦИЯ ТЕЛА ОТ СОДЕРЖАЩЕЙСЯ В НЕМ ЭНЕРГИИ?*

Результаты ранее опубликованного исследования¹ приводят нас к очень интересному следствию, вывод которого будет дан в этой статье.

В предыдущем исследовании я исходил, кроме уравнений Максвелла — Герца для пустоты и формулы Максвелла для электромагнитной энергии пространства, еще из следующего принципа.

Законы, по которым изменяются состояния физических систем, не зависят от того, к какой из двух координатных систем, движущихся равномерно и прямолинейно относительно друг друга, отнесены эти изменения состояния (принцип относительности). Исходя из этого², я, в частности, пришел к следующему результату (см. § 8 цитированной выше работы).

Пусть система плоских волн света, отнесенная к координатной системе (x, y, z) , обладает энергией l и пусть направление луча (нормаль к фронту волны) образует угол φ с осью x системы. Если ввести новую координатную систему (ξ, η, ζ) , движущуюся равномерно и прямолинейно относительно системы (x, y, z) , и если начало координат первой системы движется со скоростью v вдоль оси x , то упомянутая энергия света, измеренная в системе (ξ, η, ζ) , будет

$$l^* = l \frac{1 - \frac{v}{V} \cos \varphi}{\sqrt{1 - (v/V)^2}},$$

где V — скорость света. В дальнейшем мы воспользуемся этим результатом.

.....
* *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?* Ann. Phys., 1905, 18, 639—641.

¹ Ann. Phys., 1905, 17, 891. (Статья 1).

² Использованный там принцип постоянства скорости света содержится, конечно, в уравнениях Максвелла.

Пусть в системе (x, y, z) находится покоящееся тело, энергия которого, отнесенная к системе (x, y, z) , равна E_0 . Энергия же этого тела, отнесенная к системе (ξ, η, ζ) , движущейся, как выше, со скоростью v , пусть равна H_0 .

Пусть это тело посылает в направлении, составляющем угол φ с осью x , плоскую световую волну с энергией $L/2$ [измеренной относительно системы (x, y, z)] и одновременно посылает такое же количество света в противоположном направлении. При этом тело остается в покое относительно системы (x, y, z) . Для этого процесса должен выполняться закон сохранения энергии и притом (согласно принципу относительности) по отношению к обеим координатным системам. Если мы обозначим через E_1 энергию тела после излучения света при измерении ее относительно системы (x, y, z) и соответственно через H_1 энергию относительно системы (ξ, η, ζ) , то, пользуясь полученным выше соотношением, находим

$$E_0 = E_1 + \left(\frac{L}{2} + \frac{L}{2} \right),$$

$$H_0 = H_1 + \left[\frac{L}{2} \frac{1 - \frac{v}{V} \cos \varphi}{\sqrt{1 - (v/V)^2}} + \frac{L}{2} \frac{1 + \frac{v}{V} \cos \varphi}{\sqrt{1 - (v/V)^2}} \right] = H_1 + \frac{L}{\sqrt{1 - (v/V)^2}}.$$

Вычитая второе равенство из первого, получаем:

$$(H_0 - E_0) - (H_1 - E_1) = L \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 - (v/V)^2}} - 1 \right\}.$$

В этом соотношении обе разности вида $H - E$ имеют простой физический смысл. Величины H и E представляют собой значения энергии одного и того же тела, отнесенные к двум координатным системам, движущимся относительно друг друга, причем тело покоится в одной из систем [в системе (x, y, z)].

Таким образом, ясно, что разность $H - E$ может отличаться от кинетической энергии K тела, взятой относительно другой системы [системы (ξ, η, ζ)], только на некоторую аддитивную постоянную C , которая зависит от выбора произвольных аддитивных постоянных в выражениях для энергий H и E . Следовательно, мы можем положить

$$H_0 - E_0 = K_0 + C,$$

$$H_1 - E_1 = K_1 + C,$$

так как постоянная C при испускании света не изменяется.

Таким образом, получаем

$$K_0 - K_1 = L \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 - (v/V)^2}} - 1 \right\}.$$

Кинетическая энергия тела относительно системы (ξ, η, ζ) уменьшается при испускании света на величину, не зависящую от природы тела. Кроме того, разность $K_0 - K_1$ зависит от скорости точно так же, как кинетическая энергия электрона (см. § 10 цитированной выше работы).

Пренебрегая величинами четвертого и более высоких порядков, можно получить

$$K_0 - K_1 = \frac{L}{V^2} \cdot \frac{v^2}{2}.$$

Из этого уравнения непосредственно следует, что если тело отдает энергию L в виде излучения, то его масса уменьшается на L/V^2 . При этом, очевидно, несущественно, что энергия, взятая у тела, прямо переходит в лучистую энергию излучения, так что мы приходим к более общему выводу.

Масса тела есть мера содержащейся в нем энергии; если энергия изменяется на величину L , то масса меняется соответственно на величину $L/(9 \cdot 10^{20})$, причем здесь энергия измеряется в эргах, а масса—в граммах.

Не исключена возможность того, что теорию удастся проверить для веществ, энергия которых меняется в большей степени (например для солей радия).

Если теория соответствует фактам, то излучение переносит инерцию между излучающими и поглощающими телами.

Поступила 27 сентября 1905 г.

В этой работе впервые сформулирована связь между массой и энергией. К выводу знаменитой формулы $E = mc^2$ (в современных обозначениях) Эйнштейн возвращается еще несколько раз (статья 3, статьи 112 и 131, том II).