Хочешь общаться – излучай

А.СТАСЕНКО

Возможность воздействия одного тела на другое на расстоянии через пустоту без посредства чего-нибудь еще... – для меня это настолько бессмысленно, что, по-моему, к такому заключению никогда не может прийти человек, обладающий достаточной способностью разбираться в философских вопросах.

И.Ньютон

Действительно, если вы потеряли в лесу родных или знакомых, рекомендуется кричать «ау!». Правда, тут нет пустоты – акустические волны распространяются в воздухе. Но во Вселенной громадную роль играют волны, способные распространяться и в вакууме.

Представим себе два заряда противоположного знака – один тяжелый положительный, другой легкий отрицательный, вращающийся вокруг первого (рис.1). Кто подумал, что это атом водорода с протоном в центре, – не совсем прав, поскольку микромир нужно описывать при помощи квантовой механики, а мы собираемся остаться в рамках «обычной» физики. Просто имеем два заряда, и один из них вращается вокруг другого.

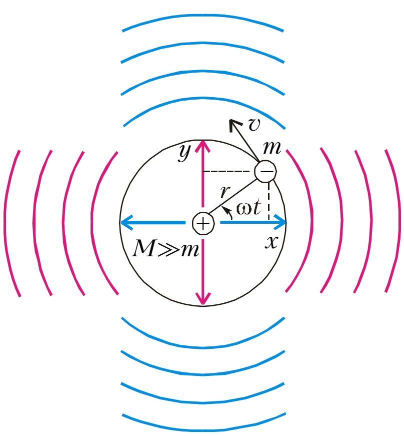

Рис. 1

Ясно, что это *вращение* можно представить как два взаимно перпендикулярных *колебания* со сдвигом фаз на $\pi/2$:

$$x^2 + y^2 = r^2\cos^2\omega t + r^2\sin^2\omega t = r^2$$

(ибо, как хорошо известно, $\sin\omega t = \cos(\omega t - \pi/2)$). Тут мы еще раз вспомнили, что даже *равномерное* движение по окружности есть ускоренное движение, да не одно, а два. Можно сказать также, что мы имеем два *диполя* (с переменным расстоянием между зарядами).

Но, как учат в школе (и правильно делают), каждый колеблющийся заряд излучает, причем мощность этого излучения пропорциональна четвертой степени частоты. В результате осциллятор – в нашем случае это диполь – каждую секунду должен терять свою энергию W так, что

$$\frac{dW}{dt} \sim -\omega^4. \qquad (1)$$

Выразим энергию диполя через расстояние между зарядами r и величину заряда q. Сила их кулоновского взаимодействия (притяжения) равна

$$F_{\text{К}} = -k\frac{q^2}{r^2},$$

следовательно, потенциальная энергия взаимодействия есть

$$W_p = -k\frac{q^2}{r}.$$

Кинетическую энергию $W_k = mv^2/2$ (центральный заряд тяжел и «неподвижен») можно переписать с учетом того, что кулоновская сила обеспечивает центростремительное ускорение, равное

$$\frac{v^2}{r} = \frac{kq^2}{mr^2}.$$

Тогда полная энергия системы, равная сумме потенциальной и кинетической энергий, будет

$$W = W_p + W_k = \\ = -\frac{kq^2}{r} + \frac{1}{2}\frac{kq^2}{r} = -\frac{1}{2}\frac{kq^2}{r}$$

(отрицательный знак описывает тот факт, что движущийся заряд не может уйти «на бесконечность»).

Поработаем теперь над выражением (1), стараясь уравнять хотя бы размерности его обеих частей.

Прежде всего заметим, что изменение энергии в единицу времени пропорционально самой энергии в данный момент времени. Это довольно общее положение. Например, убыль атомов некоего радиоактивного изотопа пропорциональна имеющемуся количеству атомов:

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{1}{\tau}N,$$

где τ – характерное время распада, откуда получается экспоненциальный закон

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau}.$$

Или, увеличение числа микробов в питательном бульоне в единицу времени пропорционально их наличному количеству:

$$\frac{dn}{dt} = +\alpha n,$$

откуда опять-таки

$$n = n_0 e^{\alpha t}.$$

Точно так же скорость роста денежного вклада в банке пропорциональна наличности в данный момент (если не учитывать «черных» вторников, сред,...).

Таким образом, выражение (1) можно уже несколько конкретизировать:

$$\frac{1}{W}\frac{dW}{dt} \sim -\omega^4. \qquad (2)$$

В результате слева имеем размерность $1/\text{с}$, справа $1/\text{с}^4$. Далее, поскольку речь идет об электромагнитном излучении, совершенно естественно вспомнить о скорости света в вакууме c, которая имеет размерность м/с и содержит в знаменателе так нужную нам секунду в первой степени:

$$\frac{1}{W}\frac{dW}{dt} \sim -\frac{\omega^4}{c^3}. \qquad (3)$$

Но что это – теперь справа в знаменателе стоит лишний м^3. А у нас как раз есть характерный размер r! Запишем:

$$\frac{1}{W}\frac{dW}{dt} \sim -\frac{r^3\omega^4}{c^3} \sim -\frac{1}{\tau}. \qquad (4)$$