повсюду колеблются вдоль радиуса с одинаковыми скоростями, интенсивность излучения от направления не зависит.

Попробуем построить такой же излучатель для радиоволн. Поскольку компонентами радиоволны являются электрическое и магнитное поля $\vec{E}$ и $\vec{B}$, в качестве источников нам потребуются временны́е заряды и токи. Начнем с самой простой конструкции. Пусть на той же самой пульсирующей сферической оболочке, которая хорошо излучает звук, находится постоянный электрический заряд q_0, равномерно распределенный по всей поверхности. Будет ли он излучать радиоволны? Легко убедиться, что излучения не будет. Действительно, электрическое поле внутри сферы равно нулю, а вне сферы имеет только радиальную составляющую [1] $E_r = q_0/r^2$, где r – расстояние до центра сферы. Поскольку при пульсациях оболочки r остается неизменным, то $E_r = \text{const}$. Что же касается магнитного поля, то его вообще нет, так как вне сферы отсутствуют токи и переменные электрические поля. Следовательно, электромагнитной волны не возникает.

Усложним нашу антенну. Пусть радиус сферы остается постоянным, а ее заряд $g(t)$ периодически меняется. Теперь как будто бы все в порядке: вокруг пульсирующего заряда возникает радиальное переменное электрическое поле

$$E_r = \frac{q(t)}{r^2},$$

оно породит переменное магнитное поле, и от пульсирующего заряда побежит сферически симметричная электромагнитная волна. Оказывается, этого не произойдет, так как заряд не может ни возрастать, ни убывать сам по себе. Для того чтобы изменять заряд, на сферу вдоль радиусов придется пустить переменный электрический ток. Если он равномерно распределен по всей сфере, то связь между плотностью радиального тока j_r на расстоянии r от центра и полным зарядом $q(t)$ дается уравнением

$$\frac{dq}{dt} = -4\pi r^2 j_r.$$

Это – так называемое уравнение непрерывности, которое связывает изменение во времени заряда в некотором объеме с током, протекающим через поверхность, ограничивающую данный объем. Уравнение непрерывности выражает фундаментальный физический закон сохранения заряда.

Чтобы понять, какое магнитное поле будет создано двумя одновременно действующими источниками – полем $E_r(t) = \dfrac{q(t)}{r^2}$ и током плотностью $j_r = -\dfrac{1}{4\pi r^2}\dfrac{dq}{dt}$, – надо обратиться к одному из уравнений Максвелла, а именно

$$\operatorname{rot}\vec{B} = \frac{1}{c}\left(4\pi\vec{j} + \frac{\partial\vec{E}}{dt}\right).$$

Векторы $\vec{j}$ и $\vec{E}$ имеют только радиальные составляющие, причем

$$\frac{\partial E_r}{\partial t} = \frac{1}{r^2}\frac{dq}{dt} = -4\pi j_r.$$

Поэтому правая часть уравнения Максвелла равна нулю, и электромагнитная волна вокруг пульсирующего заряда (с учетом обязательно существующего тока) не возникает.

Собственно говоря, об этом можно было бы догадаться и без всяких расчетов, так как в сферически симметричном распределении тока нет никакого преимущественного направления, вокруг которого можно было бы нарисовать замкнутую линию индукции магнитного поля (рис.2,*б*).

Итак, попытка повторить для радиоволн ту же самую конструкцию, которая обеспечивала изотропное излучение звука, оказалась неудачной. Попробуем придумать что-нибудь похитрее. Возьмем очень много маленьких дипольных излучателей и расположим их равномерно по сфере так, чтобы добиться одинакового излучения по всем направлениям. Оказывается, сделать это не удастся, как бы мы ни располагали диполи, и причина здесь кроется в поперечности электромагнитной волны.

Суть наших рассуждений можно пояснить следующим «зоологическим» примером. Представим себе ежа, свернувшегося в шар и распустившего свои иглы вдоль радиусов. Этот напуганный еж послужит нам образцом изотропного излучателя, а иглы его будут соответствовать направлениям распространения излучаемой волны. Напомним, что в случае звуковой волны скорости движения частиц тоже направлены вдоль радиусов, чем и обеспечивается сферическая симметрия продольной волны.

Когда еж успокаивается, он опускает свои иглы на поверхность шара перпендикулярно радиусам. Это расположение игл соответствует векторным составляющим $\vec{E}$ или $\vec{B}$ в поперечной электромагнитной волне (распространение волны по-прежнему происходит вдоль радиуса). Теперь подумайте, можно ли так «причесать» ежа, чтобы поверхность шара, покрытого лежащими иглами, была совершенно однородной? Легко сообразить, что сделать этого нельзя: обязательно получатся как минимум две «макушки». Следовательно, сферическая симметрия нарушится, и изотропный излучатель поперечных волн не получится.

Можно попробовать пойти совсем иным путем: вместо того чтобы придумывать специальный способ ориентации диполей (вдоль экватора, вдоль меридианов и т.д.), что всегда приводит к выделению полюсов, расположим излучатели совершенно хаотически. Пользуясь опять-таки наглядными сравнениями, представим себе, что на покрытую клеем сферу со всех сторон сыпятся маленькие иглы-диполи, которые прилипают к сфере, имея случайную ориентацию. Ясно, что у хаотически расположенных диполей нет ни экватора, ни полюсов, т.е. мы как будто бы получим, наконец, изотропный излучатель.

Но обмануть природу, конечно, не удастся. Если

[1] *Здесь и далее при написании формул используется любимая физиками гауссова система единиц. (Прим. ред.)*