§ 21. Магнитное взаимодействие как проявление гироскопической силы Кориолиса

При движении электрона в электрическом поле может возникнуть такая ситуация, когда вектор электрического поля **E** не остается постоянным, а меняет свое направление, т.е. мы имеем дело с вращающимся электрическим полем. Простейший случай поворота электрического поля представлен на рис.21.1, где происходит перемещение одной частицы q_1 относительно другой частицы q_2.

При перемещении электрона во вращающемся электрическом поле возникает дополнительная сила, аналогичная гироскопической силе Кориолиса.

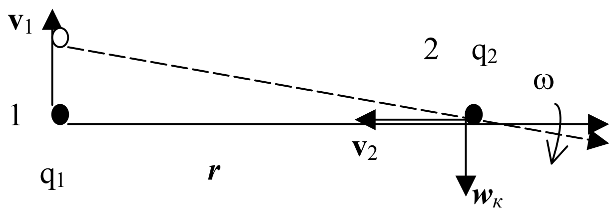

Рис. 21.1. При движении частицы (1) относительно частицы (2) со скоростью $\mathbf{v}_1$ электрический вектор $\boldsymbol{E}$ в точке (2) поворачивается с угловой скоростью ω.

Из динамики материальных тел хорошо известно, что при движении тела относительно вращающейся системы отсчета, кроме центробежной силы инерции, появляется еще одна сила, называемая силой Кориолиса $\mathbf{F}_к$ [27]. Для материальной точки с массой m эта сила имеет вид

$$\mathbf{F}_к=2m[\boldsymbol{\omega}\mathbf{v}_2], \tag{21.1}$$

где $\mathbf{v}_2$ – скорость материальной точки относительно вращающейся системы отсчета, $\boldsymbol{\omega}$ - угловая скорость вращения системы отсчета.

В нашем случае электрон движется во вращающемся электрическом поле, поэтому сила Кориолиса имеет здесь некоторую особенность по сравнению с простыми механическими системами. Получается так, что при повороте вектора **E** электрон имеет дополнительное ускорение $\boldsymbol{w}_к$ относительно электрического поля, и это поле оказывает дополнительное воздействие на электрон посредством силы Кориолиса, направленной перпендикулярно скорости движения электрона $\mathbf{v}_2$. При этом кориолисово ускорение в соответствии с формулой (21.1) равно

$$\boldsymbol{w}_к = 2\,[\boldsymbol{\omega}\mathbf{v}_2]. \tag{21.2}$$

Далее воспользуемся теоремой Стокса для ротора вектора $\mathbf{v}_1$

$$\oint \mathbf{v}_1 d\mathbf{r} = \int rot\mathbf{v}_1 d\mathbf{s}, \qquad (21.3)$$

где первый интеграл называется циркуляцией вектора $\mathbf{v}_1$ по замкнутому контуру, а интеграл справа выражает поток вектора $rot\mathbf{v}_1$ через поверхность, натянутую на этот контур, $d\mathbf{s}$ – вектор элементарной площадки, направленный по нормали к площадке. В случае кругового контура и постоянных по модулю значений векторов соотношение (21.3) запишется в виде

$$v_1\, 2\,\pi\, r = \pi\, r^2\, rot\, v_1, \qquad (21.4)$$

откуда получаем

$$rot\, v_1 = 2\, v_1 / r = 2\omega. \qquad (21.5)$$

Подставляя значение ω из (21.5) в (21.2) имеем

$$\mathbf{w}_\kappa = [rot\, \mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2], \qquad (21.6)$$

поскольку для круговой траектории векторы $\boldsymbol{\omega}$ и $rot\ \mathbf{v}_1$ имеют одинаковое направление.

Вращающееся электрическое поле может быть создано также несколькими частицами, движушимися по окружности с линейной скоростью $\mathbf{v}_1$, как это показано на рис.21.2. При этом выражение (21.6) для кориолисова ускорения остается в силе. Этот случай соответствует обычному контуру с электрическим током, а также соленоиду.

Для того, чтобы из кориолисова ускорения получилась сила Кориолиса, в формулу (21.6) необходимо подставить некоторую массу. С массой дело обстоит несколько сложнее. Дело в том, что мы рассматриваем не обычную механическую задачу, когда материальная частица движется по некоторой поверхности или направляющей, которая вращается со скоростью ω. При этом поверхность или направляющая ограничивают движение частицы и материальная частица давит на эту поверхность с силой Кориолиса.

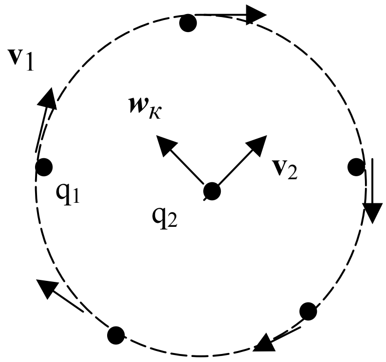

Рис.21.2. Вращающееся электрическое поле создается системой частиц с общим зарядом q_1, движущихся с линейной скоростью v_1 по окружности.

В нашем случае какая-либо поверхность или направляющая отсутствуют, но вращающееся электрическое поле дополнительно воздействует на частицу с силой Кориолиса, стараясь изменить ее траекторию. Поэтому под массой m в формуле (21.1) следует понимать не массу движущейся частицы m_2, а дополнительную эффективную массу поля $m_{эфф}$, которая появляется из-за наличия посторонних движущихся частиц, создающих вращающееся электрическое поле. Эта дополнительная эффективная полевая масса была получена в формуле (24.20) и имеет вид

$$m_{эфф} = \frac{U}{c^2} = \frac{q_2 \varphi_1}{c^2}, \qquad (21.7)$$

где U – потенциальная энергия взаимодействия движущейся частицы с посторонними частицами, создающими вращающееся электрическое поле, q_2 – заряд движущейся частицы во вращающемся электрическом поле, φ_1 – потенциал вращающегося электрического поля, создаваемого внешними частицами с общим зарядом q_1, c - скорость света.

Тогда согласно формулам (21.1), (21.5) – (21.7) получаем для силы Кориолиса с учетом изменения ее направления и знака

$$\mathbf{F}_K = \frac{q_2 \varphi_1}{c^2} \left[\mathbf{v}_2 rot \mathbf{v}_1 \right]. \qquad (21.8)$$

В том случае, когда электроны, создающие вращающееся электрическое поле, двигаются по окружности с постоянной скоростью $\mathbf{v}_1$, потенциал φ в точке (2) можно считать постоянным и внести его под знак rot. Затем мы принимаем следующие общепринятые обозначения:

$$\mathbf{A}_1 = \frac{\varphi \mathbf{v}_1}{c^2}, \quad \mathbf{B}_1 = rot\, \mathbf{A}_1. \qquad (21.9)$$

С учетом (20.9) получаем окончательное выражение для гироскопической силы Кориолиса, которая одновременно является магнитной силой Лоренца,

$$\mathbf{F}_{\mathbf{к}} = q_2 \left[\mathbf{v}_2 \mathbf{B}_1 \right]. \qquad (21.10)$$

В заключение можно отметить некоторые особенности вращающегося поля, представленного на рис.21.2. При симметричном расположении частиц на окружности результирующее электрическое поле в точке (2) будет в точности равно нулю. Поэтому нельзя сказать, что в точке (2) результирующий электрический вектор **E** вращается с угловой скоростью ω. Более точным будет следующее заключение: каждый электрон, движущийся по окружности, своим вращающимся электрическим полем независимо от других частиц воздействует на частицу в точке (2). Результаты этих воздействий от всех электронов суммируются, и мы получаем с большой точностью общее суммарное воздействие в виде магнитной силы. Это действительно можно понять в том случае, если каждый из электронов рассеивает случайные волны эфира, и каждая рассеянная сферическая волна независимо воздействует на частицу в точке (2). При усреднении статистических волн, исходящих от посторонних частиц, кулоновская сила, действующая на частицу (2), обращается в нуль, однако вихревой характер поля проявляется в виде гироскопической силы Кориолиса. Данный рассмотренный пример является дополнительным доказательством в пользу статистического характера взаимодействия между частицами за счет рассеянных случайных волн эфира, когда с высокой степенью точности выполняется принцип суперпозиции.

§ 22. Излучение электромагнитных волн

Рассматриваемую задачу можно было бы сформулировать в такой форме: как передать информацию с помощью волн на большое расстояние? Оказывается, что это не очень просто.

Процесс рассеяния волновой энергии эфира покоящейся микрочастицей, как это было показано в предыдущих разделах, является стационарным во времени. Хотя кулоновское поле электрона обладает большой энергией и уходит на большое расстояние, оно является постоянным, т.е. его нельзя включить или выключить.

Если электрон движется в эфире с постоянной скоростью, то такой процесс также является стационарным, поскольку частица непрерывно рассеивает один и тот же поток волновой энергии эфира в виде сферических волн в условиях, которые не меняются со временем.

Для передачи энергетического сигнала кулоновское поле необходимо как-то промодулировать. При этом характер модуляции должен быть таким, чтобы энергия сигнала смогла покинуть область, где происходит модуляция поля, и уйти на бесконечность. Остается один способ: это – ускорить электрон.

Оказывается, что передача сигнала на большое расстояние может быть реализована с помощью генерации поперечной компоненты напряженности электрического кулоновского поля. Ниже будет рассмотрен механизм формирования такой компоненты поля.

Напомним, что до сих пор речь шла только о продольных волнах эфира, которые рассеивались микрочастицей, образуя тем самым сферически симметричное кулоновское поле, состоящее также из продольных волн.

В продольных волнах давление излучения направлено вдоль направления распространения волн. Такие волны способны производить большую механическую работу над микрочастицами и макроскопическими телами, но не могут быть напрямую использованы для передачи сигналов на большие расстояния.

В поперечной волне напряженность электрического поля, а следовательно, и сила, действующая на электрон, направлена перпендикулярно направлению распространения волны. В отношении степени спадания на больших расстояниях поперечная волна обладает значительными преимуществами по сравнению с продольными волнами.

Рассмотрим такой случай, когда имеется сгусток электронов, перемещающийся в небольшом объеме ΔV (рис.22.1); требуется найти создаваемое им где-то вдалеке от этого места электрическое и магнитное поля.

Вывод формул для электромагнитных полей движущегося сгустка электронов в общем случае является довольно трудной задачей. Для предварительной оценки характера полей в дальней (волновой) зоне мы предпримем ряд упрощений.

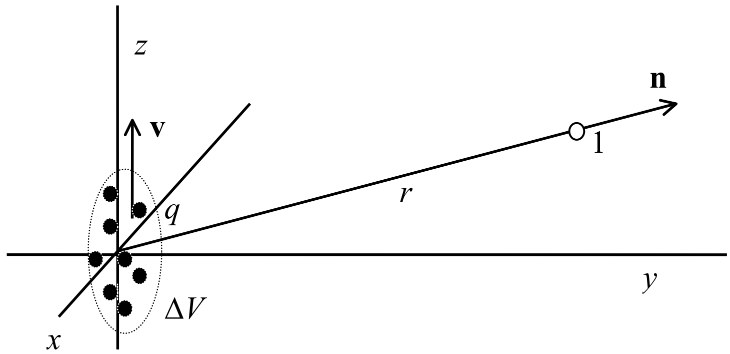

Рис.22.1. Электромагнитное поле, создаваемое в точке 1 системой движущихся электронов на большом расстоянии ***r***

Прежде всего, будем полагать, что скорости частиц малы по сравнению со скоростью света, что позволит в ряде случаев упростить выражения. Кроме этого, точка наблюдения 1 находится на расстоянии, значительно превышающем размеры излучающей области.

Скорость частиц v направим вверх по оси OZ. Следует ожидать, что поблизости от электронов запаздыванием поля можно будет пренебречь и электрическое поле будет примерно таким же, как и то, которое получалось раньше для неподвижных частиц. Однако при большом удалении в формуле для поля должно появиться добавочное слагаемое, зависящее от величины ускорения $\boldsymbol{a}$ частиц и изменяющееся с расстоянием как $1/r$. Только благодаря наличию такого слагаемого и возможна передача энергии и какой-либо полезной информации на большие расстояния. Займемся поиском такого слагаемого и начнем с вычисления векторного потенциала из формулы (15.34).

Если размеры сгустка электронов намного меньше, чем r_{12}, то r_{12} в знаменателе можно положить равным r (расстояние от центра сгустка) и вынести r за знак интеграла. Когда скорость частиц $v << c$, в числителе также можно принять $r_{12} = r$, чтобы не учитывать запаздывание волн внутри сгустка.

Поскольку скорость v всех частиц в сгустке одна и та же, ее также можно вынести за знак интеграла, и выражение для вектора **A** приобретает простой вид:

$$\mathbf{A} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 c^2 r}\mathbf{v}\left(t - \frac{r}{c}\right), \tag{22.1}$$

где q - полный заряд в сгустке, получившийся при интегрировании ρ по всему объему. Если скорость **v** изменяется во времени, то ее надо определять в более раннее время $t - r/c$. Поэтому для **v** в формуле (22.1) используется такая функциональная зависимость $\mathbf{v}(t - r/c)$.

Чтобы получить электрическое поле на большом расстоянии, нужно найти скалярный потенциал φ с учетом движения частиц. Для скалярного потенциала не годятся те грубые приближения, которыми мы воспользовались для нахождения **A**, потому что тогда у нас получилось бы $1/r$, умноженное на полный заряд q. При этом какая-либо зависимость от скорости **v** полностью исчезает.

Поэтому мы определим скалярный потенциал из уравнения (18.6), используя уже найденное значение векторного потенциала. Дивергенция **A** в этом случае просто равна $\partial A_z/\partial z$, поскольку A_x и A_y равны нулю. В итоге имеем

$$\nabla\mathbf{A} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 c^2}\left[v\left(t - \frac{r}{c}\right)\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{1}{r}\right) + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial z}v\left(t - \frac{r}{c}\right)\right]. \tag{22.2}$$

Оставляя в квадратных скобках только второе слагаемое, которое значительно медленнее спадает с расстоянием, получаем

$$\nabla\mathbf{A} = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 c^3 r^2} za\left(t - \frac{r}{c}\right), \tag{22.3}$$

где $a = \dfrac{\partial v}{\partial t}$ – ускорение частиц. Здесь мы воспользовались тем обстоятельством, что $\dfrac{\partial v}{\partial z} = \dfrac{\partial v}{\partial r}\dfrac{\partial r}{\partial z}$; $\dfrac{\partial v}{\partial r} = -\dfrac{\partial v}{\partial (ct)} = -\dfrac{a}{c}$; далее $r = \left(x^2 + y^2 + z^2\right)^{\frac{1}{2}}$ и $\dfrac{\partial r}{\partial z} = \dfrac{z}{r}$.

Выражение (22.3) можно записать в такой форме:

$$\nabla\mathbf{A} = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 c^3 r}\mathbf{n}\,\mathbf{a}\left(t - \frac{r}{c}\right). \tag{22.4}$$

Из равенства (18.6) получается уравнение для потенциала φ

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 c r}\mathbf{n}\,\mathbf{a}\left(t - \frac{r}{c}\right). \tag{22.5}$$

Интегрирование по t дает значение скалярного потенциала

$$\varphi\left(r,t\right) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 c r}\mathbf{n}\,\mathbf{v}\left(t - \frac{r}{c}\right). \tag{22.6}$$

Постоянная интегрирования отвечала бы электростатическому полю, которое в данном случае нас не интересует.

Имея в распоряжении выражения (22.1) и (22.6) для силовых запаздывающих потенциалов, можно по формулам (20.1) и (20.12) вычислить и величины полей **E** и **B**, но при этом нас будут интересовать функции, зависящие от расстояния, как $\frac{1}{r}$.

Применив формулу векторного анализа, получаем

$$\nabla\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial r}\nabla r = \frac{\partial\varphi}{\partial r}\mathbf{n}. \tag{22.7}$$

Следовательно,

$$\nabla\varphi = \frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 c r}\mathbf{n}\mathbf{v}\left(t - \frac{r}{c}\right)\right)\mathbf{n} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 c}\left[-\frac{\left(\mathbf{n}\mathbf{v}\right)\mathbf{n}}{r^2} - \frac{\left(\mathbf{n}\mathbf{a}\right)\mathbf{n}}{cr}\right], \tag{22.8}$$

где $\mathbf{a}$ – ускорение частиц. Здесь мы воспользовались тем обстоятельством, что $\dfrac{\partial v}{\partial r} = -\dfrac{\partial v}{\partial\left(ct\right)} = -\left(\dfrac{a}{c}\right)$.

Первый член в полученном нами выражении убывает с расстоянием гораздо быстрее, чем второй. Поэтому на больших расстояниях им можно пренебречь и считать, что

$$\nabla\varphi = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 c^2 r}\mathbf{n}\,\mathbf{a}\left(t - \frac{r}{c}\right)\mathbf{n}. \tag{22.9}$$

Производная по времени $\dfrac{\partial\mathbf{A}}{\partial t}$ дает

$$\frac{\partial\mathbf{A}}{\partial t} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 c^2 r}\mathbf{a}\left(t - \frac{r}{c}\right). \tag{22.10}$$

Таким образом,

$$\mathbf{E} = -\nabla\varphi - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 c^2 r}\left[(\mathbf{na})\mathbf{n} - \mathbf{a}\right]. \qquad (22.11)$$

Выражение в квадратных скобках можно представить в виде [**n**,[**na**]]. В этом легко убедиться, раскрыв двойное векторное произведение по формуле "бац минус цаб" и приняв во внимание, что **nn**=1.

Итак, электрическое поле определяется формулой

$$\mathbf{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 c^2 r}\left[[\mathbf{a}\,\mathbf{n}],\mathbf{n}\right]. \qquad (22.12)$$

Перейдем к вычислению магнитного поля. Используя формулу векторного анализа, имеем

$$\mathbf{B} = [\nabla\,\mathbf{A}] = \left[\nabla r, \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial r}\right] = \left[\mathbf{n}, \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial r}\right]. \qquad (22.13)$$

Дифференцирование выражения (22.1) для **A** дает

$$\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial r} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 c^2}\frac{\partial}{\partial r}\left[\frac{1}{r}\mathbf{v}\left(t - \frac{r}{c}\right)\right] = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 c^2}\left(-\frac{\mathbf{v}}{r^2} - \frac{\mathbf{a}}{cr}\right), \qquad (22.14)$$

где мы применили тот же способ дифференцирования, как и при выводе формулы (22.8). Отбросив член, пропорциональный $\frac{1}{r^2}$, из (22.13) получаем

$$\mathbf{B} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 c^2 r}[\mathbf{a}\,\mathbf{n}]. \qquad (22.15)$$

Теперь можно заметить сходство выражений (22.12) и (22.15). Сопоставление этих выражений приводит к заключению, что

$$\mathbf{E} = [\mathbf{B}\,\mathbf{n}], \qquad (22.16)$$

откуда вытекает, что в дальней волновой зоне вектор **E** перпендикулярен к вектору **B**. Из выражений (22.12) и (22.15) следует, что векторы **E** и **B** перпендикулярны к вектору **n**.

Таким образом, если электроны движутся с ускорением **a**, то они излучают поперечные электромагнитные волны, уходящие на бесконечность благодаря их зависимости от расстояния как $\frac{1}{r}$.

§ 23. Уравнения Максвелла для роторов напряженностей электромагнитного поля

Теперь покажем, что рассмотренных уравнений, которые были получены только из анализа полей рассеянных частицами сферических волн, достаточно для вывода остальных уравнений Максвелла.

Взяв операцию *rot* от выражения (20.1) с учетом определения вектора **B** согласно (20.12), получаем

$$rot\,\mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \tag{23.1}$$

что выражает закон электромагнитной индукции.

Для получения аналогичного уравнения для ротора **B** воспользуемся формулой из векторного анализа

$$rot\,\mathbf{B} = rot\,rot\,\mathbf{A} = grad\,div\,\mathbf{A} - \Delta\mathbf{A}\,. \tag{23.2}$$

Величину $\Delta\mathbf{A}$ получим из уравнения (19.9)

$$\Delta\mathbf{A} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\mathbf{A}}{\partial t^2} - \frac{\mathbf{j}}{\varepsilon_0 c^2}\,. \tag{23.3}$$

Далее возьмем частную производную по времени от (20.1)

$$\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t}grad\,\varphi - \frac{\partial^2\mathbf{A}}{\partial t^2}\,. \tag{23.4}$$

Затем подставляем (23.3) в (23.2) и заменяем значение $\frac{\partial^2\mathbf{A}}{\partial t^2}$ из (23.4), в результате чего получаем

$$rot\,\mathbf{B} = \frac{\mathbf{j}}{\varepsilon_0 c^2} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t} + grad\left(\frac{1}{c^2}\frac{\partial\varphi}{\partial t} + div\,\mathbf{A}\right). \tag{23.5}$$

В уравнении (23.5) в правой части мы дополнительно поменяли местами операции ∇ и $\frac{\partial}{\partial t}$, что допускается в уравнениях с частными производными. Выражение в скобках (23.5) равно нулю согласно уравнению (18.6). С учетом этого получаем

$$rot\,\mathbf{B} = \frac{\mathbf{j}}{\varepsilon_0 c^2} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t}\,. \tag{23.6}$$

Очень часто данное уравнение записывают в более компактной форме

$$rot\,\mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial\mathbf{D}}{\partial t}, \tag{23.7}$$

где приняты следующие обозначения: $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$, $\mu_0 = \frac{1}{\varepsilon_0 c^2}$, $\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E}$. Величину $\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$ часто называют плотностью тока смещения, хотя из уравнений, рассмотренных выше, мы видели, что никакие другие токи, кроме плотности тока $\mathbf{j}$, здесь не участвуют.

Таким образом, на примере вывода уравнений Максвелла и других уравнений электродинамики мы убедились в однозначной причинной обусловленности всех характеристик электромагнитного поля, а именно, в их тесной связи с существованием заряженных частиц, т.е. частиц, интенсивно рассеивающих случайные волны эфира, и с движением этих частиц в этой среде.

Данные частицы, перемещаясь в эфире, модулируют во времени поток рассеянных случайных волн. И если без частиц поток случайных волн является изотропным в пространстве, т.е. отсутствует направленный перенос энергии волн, то в результате появления вокруг частиц сферических рассеянных волн появляется направленный перенос энергии. Такое направленное поле уже способно совершать полезную работу над частицами.

Исходя из рассмотренного механизма формирования силовых полей, под электромагнитными волнами следует понимать промодулированные движущимися частицами случайные шумовые волны эфира с непрерывным спектром частот (белый шум или реликтовый фон), а частота и поляризация электромагнитных волн целиком определяется частотой и направлением движения частиц, рассеивающих эфирные волны.

§ 24. Особенности коллективного движения электронов. Эффективная масса и эффективный импульс частиц в эфире

На примере рассмотрения механизма формирования силовых полей за счет рассеяния случайных волн эфира частицами мы уже можем предсказать, что и в динамических свойствах частиц (инерция, импульс) необходимо учитывать окружающие их электромагнитные поля.

Силовое поле, которое формируется вокруг частицы, обладает энергией рассеянных эфирных волн, т.е. способно совершать работу, в чем легко убедиться, поместив в поле другую аналогичную частицу (пробный заряд). При движении частицы в эфире силовое поле, а вместе с ним и его энергия переносятся вместе с частицей, что придает частице некоторые инерционные свойства, поскольку в одной области пространства энергия поля как бы вынимается, а в другой области, куда перелетела частица, это силовое поле воссоздается заново.

Из физики волновых явлений в упругих средах известно, что волны переносят не только энергию (вектор Умова), но также и импульс. Отличный от нуля полный импульс сгустка волн означает, что при этом имеет место и перенос вещества той среды, в которой наблюдаются волны [4]. В случае эфирных волн – это вещество эфира, хотя и звучит несколько необычно.

В упругой волне существуют как области сжатия, так и области разрежения. В области сжатия давление и плотность среды больше ее среднего значения, и за счет перемещения волны небольшая часть массы среды перемещается вслед за волной. Область разрежения в волне влияет на уменьшение массы, но в окончательном итоге все же ничтожная часть массы эфира перемещается вслед за волнами, что и формирует импульс волн, а также и импульс частиц – генераторов сферических волн.

Как уже отмечено, в области сжатия за счет некоторого перепада давления *dp* плотность среды увеличивается на небольшую величину $d\rho$. Для идеальной жидкости, в которой распространение упругой волны является адиабатическим движением, давление и плотность связаны дифференциальным соотношением [4]

$$\left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_S = c^2 , \qquad (24.1)$$

где c - скорость упругих волн; значок s означает, что процесс происходит обратимо, то есть при постоянной энтропии. Для малых приращений это выглядит так:

$$dp = c^2 d\rho . \qquad (24.2)$$

Увеличение давления в среде связано с увеличением внутренней плотности энергии среды на величину dw_0 и при этом [28]

$$dw_0 = dp . \qquad (24.3)$$

Для конечного объема *V*, в котором за счет сжатия накапливается дополнительная масса

$$dm = V dp , \qquad (24.4)$$

а также дополнительная внутренняя энергия

$$dE = V dw_0 , \qquad (24.5)$$

из соотношений (24.2) - (24.5) получаем

$$dE = c^2 dm . \qquad (24.6)$$

При ускорении частицы, рассеивающей случайные волны, за счет деформации силового поля возможно появление дополнительной деформации эфира и связанное с этим появление дополнительной энергии *dE* и массы *dm* частицы.

Допустим, что на частицу воздействует сила поля F, которая совершает работу dA на участке пути dx, тогда

$$dA = Fdx = Fvdt\,. \tag{24.7}$$

При этом изменится и полный импульс частицы согласно соотношению

$$F\,dt = d\left(mv\right) = m\,dv + v\,dm\,, \tag{24.8}$$

где учтено изменение массы частицы в соответствии с формулой (24.6). Полагая, что работа силы пошла на увеличение энергии электромагнитного поля частицы с учетом ее движения, из соотношения (24.6) имеем

$$dE = dA = c^2 dm\,. \tag{24.9}$$

Из уравнений (24.7) – (24.9), исключая лишние величины, получаем дифференциальное уравнение для m и v:

$$v\left(mdv + vdm\right) = c^2 dm. \tag{24.10}$$

Интегрируя данное уравнение, имеем для массы частицы

$$m = m_0\left(1-\beta^2\right)^{-\frac{1}{2}} = \gamma m_0\,, \tag{24.11}$$

где m_0 – электромагнитная инерция неподвижной частицы (масса покоя). Данная формула была впервые получена Лоренцем в 1904 г. , но из другой модели.

Не исключено, что формула (24.11) может быть получена из других уравнений электродинамики (возможно из преобразований Лоренца для импульса частицы). В этом случае из приведенных дифференциальных уравнений автоматически выводится соотношение (24.6) и выражение для полной кинетической энергии частицы

$$E = mc^2\,, \tag{24.12}$$

минуя специальную теорию относительности.

Попутно заметим, что формулы (24.11) и (24.12) были получены также и при анализе движения точечного дефекта (солитона Френкеля - Конторовой) в кристаллической структуре твердого тела [29]. Характерно, что в этих формулах в роли c фигурирует не скорость света, а скорость звука в кристаллах, что никоим образом не связано с СТО. При этом установлено, что наличие посторонней примеси или другого дефекта в кристаллической решетке влечет за собой появление локальных деформаций решетки, т.е. смещение атомов из положений равновесия, на что всегда должна расходоваться определенная энергия.

Таким образом, мы установили, как рассеянные случайные эфирные волны, т.е. собственное силовое поле частицы, влияет на ее инерционные свойства при ускорениях. Теперь рассмотрим вопрос о том, каким образом на инерцию частицы могут повлиять посторонние электромагнитные поля, т.е. силовые поля, создаваемые другими частицами, находящимися поблизости.

В электрическом поле с напряженностью $\mathbf{E}$ согласно формуле (19.6) на электрон действует ускоряющая сила $\mathbf{F}$, равная

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} = -q\nabla\varphi - q\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}. \tag{24.13}$$

Рассмотрим поведение частицы, движущейся с малой скоростью вдали от других частиц. Тогда согласно соотношению (20.4) уравнение (24.13) можно записать в виде

$$\mathbf{F} = \frac{d\left(m\mathbf{v}\right)}{dt} = -q\nabla\varphi - q\frac{d\mathbf{A}}{dt}, \tag{24.14}$$

или после соответствующей перегруппировки слагаемых

$$\frac{d}{dt}\left(m\mathbf{v} + q\mathbf{A}\right) = -q\nabla\varphi. \tag{24.15}$$

Следовательно, частица в электростатическом поле с потенциалом φ при наличии векторного потенциала $\mathbf{A}$ ведет себя таким необычным образом, как будто ее импульс не $m\mathbf{v}$, а некоторый эффективный импульс, равный

$$\mathbf{p}_{эфф} = m\mathbf{v} + q\mathbf{A}, \tag{24.16}$$

т.е. зависит также от характера движения посторонних частиц, формирующих векторный потенциал $\mathbf{A}$.

Наличие в (24.16) дополнительного слагаемого $q\mathbf{A}$ может привести к появлению дополнительной инерционности для сложных частиц (например, ядер, атомов и молекул). Наиболее типичным примером значительного увеличения инерционности электронов за счет их коллективного движения служит обычный соленоид, в котором частицы как бы подталкивают друг друга благодаря наличию большого коллективного векторного потенциала $\mathbf{A}$. На обычном инженерном языке это явление называется индуктивностью соленоида.

В качестве другого примера возьмем один из простейших вариантов движения, а именно, систему, состоящую из двух разнополярных частиц, например, атом водорода. Поскольку протон намного массивнее электрона, то в первом приближении влиянием электрона на движение протона можно пренебречь.

Пусть атом водорода движется со скоростью v в направлении оси OX. Тогда импульс протона с массой M и импульс электрона с массой m соответственно равны

$$\begin{aligned} p_p &= Mv, \\ p_e &= mv + qA_x, \end{aligned} \tag{24.17}$$

где запаздывающий потенциал A_x создается за счет движения массивного протона. Здесь мы пренебрегаем орбитальным движением электрона, поскольку при усреднении проекция орбитального импульса на ось *OX* даст нулевой вклад.

С учетом формулы (19.7) суммарный эффективный импульс атома водорода принимает вид

$$p_{эфф} = p_p + p_e = \left(M + m + \frac{q\varphi}{c^2} \right) v = \left(M + m + \frac{U}{c^2} \right) v, \quad (24.18)$$

где $U = q\varphi$ - потенциальная электростатическая энергия взаимодействия электрона и протона.

Соотношение (24.18) можно записать коротко

$$p_{эфф} = m_{эфф} v \ ,$$

где

$$m_{эфф} = M + m + \frac{U}{c^2} \ . \quad (24.19)$$

Поскольку в случае атома водорода U<0, то эффективная масса $m_{эфф}$ становится меньше, чем сумма масс составляющих частиц. Появился недостаток (дефект) массы Δm, обусловленный электромагнитным взаимодействием электрона и протона

$$\Delta m = \frac{U}{c^2} \ . \quad (24.20)$$

При образовании атома водорода избыток энергии $\Delta E = -U$ был излучен электроном в виде электромагнитных волн, в результате чего полная энергия системы протон + электрон уменьшилась на величину ΔE по сравнению со свободными частицами, и мы получаем

$$\Delta E = c^2 \Delta m \ . \quad (24.21)$$

Сравнивая это соотношение с формулой (24.6), полученной из других соображений, мы приходим к заключению, что данные результаты приобретают как в электродинамике, так и в других волновых явлениях всеобщий характер.

В наиболее яркой форме данный эффект проявляется в ядерных реакциях, где благодаря большим энергиям электромагнитного взаимодействия разницу в эффективных массах ядер до и после реакции можно достаточно надежно измерить.

В работе [12] приводится пример с зеркальными ядрами изотопов B^{11} и C^{11}, разница между которыми состоит лишь в замене нейтрона на протон в изотопе углерода. Примечательно, что подобная замена очень мало отражается на свойствах данных ядер (например, на схеме уровней возбуждения). Характерной особенностью данных ядер является то, что изотоп C^{11} тяжелее изотопа B^{11} на величину кулоновской энергии протона в ядре, деленной на c^{2}, с учетом разницы масс нейтрона и протона, т.е. в соответствии с формулой (24.20). Эти данные говорят о том, что электромагнитные (в частности кулоновские) силы играют существенную роль в образовании ядер и в ядерных реакциях. Учитывая то обстоятельство, что простые классические соотношения, рассмотренные в данном разделе, выполняются с очень высокой точностью для всех атомов и ядер (при сравнении эффективных масс элементов), можно предположить, что электромагнитные силы являются основными силами, участвующими в формировании не только атомов, но также и ядер.

В современной теории атомного ядра считается, что энергия связи ядер обусловлена сильным взаимодействием, которое примерно на два порядка превышает кулоновское взаимодействие. При этом в качестве расстояния для кулоновских сил принимается размер нуклона.

Однако при рассмотрении взаимодействия между нуклонами следует учитывать и структуру самих нуклонов, а также тот факт, что ядерные силы действуют преимущественно в области касания, что напоминает действие сил Ван-дер-Ваальса в межмолекулярных взаимодействиях. Такие представления хорошо объясняют, например, явление быстрого насыщения ядерных сил при увеличении числа нуклонов, поскольку каждый нуклон взаимодействует в основном лишь с ближайшими соседями [30]. Этим же можно объяснить и тот факт, что хотя нуклоны и являются сложными частицами, но проявляют в ядрах ярко выраженную индивидуальность, т.е. существуют как целые составные части, поскольку энергии в точках касания явно недостаточно, чтобы разрушить нуклон.

По аналогии с ядерными силами и в межмолекулярных силах сцепления частично сохраняется индивидуальность молекул, а иногда и отдельных атомов. Так, например, рентгеновские спектры атомов практически не зависят от химических соединений, в которые входят исследуемые атомы.

Кулоновской энергией взаимодействия можно просто объяснить квадратичную зависимость дефекта масс ядер от массового числа [12, 30]. По этой зависимости видно, что при делении тяжелых ядер выделяется избыток кулоновской энергии взаимодействия протонов в ядрах, а при синтезе легких ядер выделяется энергия за счет сильного электромагнитного притяжения между нуклонами в точках касания, т.е. прилипания нуклонов друг к другу, как и в случае молекулярных сил. При этом большая величина ядерных сил может быть обусловлена очень большими скоростями электронов и позитронов, входящих в состав ядер.

Данное предположение подтверждается также работой В.П. Рычкова [31], где рассмотрена структура всех элементарных частиц, в том числе и нуклонов, отличающаяся большой общностью и наглядностью. Автором показано, что в качестве универсальных компонентов всех частиц могут выступать электроны и позитроны, связанные электромагнитными силами при их периодическом движении внутри сложных частиц.

Такую гипотезу несложно будет проверить при достаточном развитии классической электродинамики, учитывая то обстоятельство, что возможности электронов и позитронов, взаимодействующих с эфиром, еще далеко не исчерпаны.

§ 25. Упругие свойства и сверхтекучесть эфира

В этом разделе будет рассмотрен вопрос о том, как электромагнитные взаимодействия могут проявиться в пределах свободного эфира и повлиять на его свойства.

Интересным является тот случай, когда разнополярные частицы одинаковой массы (например, электрон и позитрон) связаны в пару таким образом, что их кулоновская энергия связи U по модулю совпадает с их общей массой покоя $2m_0 c^2$, обращая эффективную массу сложной частицы в нуль.

Действительно, согласно формуле (24.19) имеем

$$m_{эфф} = 2m_0 + \frac{U}{c^2} = 0 , \qquad (25.1)$$

откуда получается

$$U = -2m_0 c^2 . \qquad (25.2)$$

Расстояние a между частицами в такой паре может быть определено из соотношения

$$U = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 a} = -2m_0 c^2 , \qquad (25.3)$$

откуда получаем

$$a = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 m_0 c^2} = \frac{r_0}{2} , \qquad (25.4)$$

где r_0 - классический радиус электрона.

Сила притяжения между частицами в паре определится из закона Кулона

$$F = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 a^2} . \qquad (25.5)$$

Как и в случае атомов, чтобы конфигурация из двух разнополярных частиц была устойчивой, частицы должны обращаться вокруг общего центра тяжести по круговым орбитам с некоторой скоростью v (задача Кеплера).

Определим эту скорость из условия равновесия частицы на круговой орбите

$$F = \frac{m_0 v^2}{\left(\frac{a}{2}\right)} . \qquad (25.6)$$

Из формул (25.4) - (25.6) находим, что $v = c$, т.е. частицы в состоянии равновесия должны обращаться по своим орбитам со скоростями, близкими к скорости света.

В этих расчетах не было учтено, что массы частиц равны не m_0 , а $m = \gamma m_0$. Однако это не повлияет на окончательный результат, поскольку и кулоновская сила взаимодействия пары также увеличится в γ раз в соответствии с преобразованиями Лоренца для силовых полей.

Подобные пары частиц становятся практически нейтральными, поэтому могут присутствовать в эфире в качестве сверхтекучей жидкости, не взаимодействуя с другими частицами [32]. Это же было предложено в качестве гипотезы в работе [33]. Формально математически такая гипотеза была рассмотрена и П. Дираком в его теории физического вакуума. Сверхтекучесть эфира может быть также понятна, как и сверхтекучесть жидкого гелия, поскольку и атом гелия и электронно-позитронная пара обладают хорошо скомпенсированными электронными оболочками.

Вполне естественно, что эфир не может состоять только из электронов и позитронов, поскольку для их существования необходим обширный резервуар с некоторой непрерывной средой, насыщенной случайными волнами, несущими энергию.

Представляет большой интерес рассмотреть упругие свойства эфира и связанную с этим скорость упругих волн. В качестве коэффициента упругости k, в соответствии с законом Гука, примем величину, характеризующую упругость вращающейся электронно-позитронной оболочки,

$$k = \frac{dF}{da}, \tag{25.7}$$

где F – кулоновская сила, удерживающая электрон и позитрон на круговых орбитах.

Подставив в (25.7) значения сил из (25.5) и (25.6), с использованием (25.1) получаем для коэффициента упругости эфира соотношение:

$$k = \frac{2m_0c^2}{a^2}. \tag{25.8}$$

Далее рассмотрим упорядоченную структуру жидкости (в качестве ближнего порядка) из электронно-позитронных пар с периодом решетки в ближнем порядке a. Принимая упругие колебания пар, как связанных маятников [5, 34], вычислим фазовую скорость упругих волн v_p в данной среде по формуле

$$v_p = a\sqrt{\frac{k}{2m_0}}\,, \tag{25.9}$$

где $2m_0$ - масса покоя пары. Подставив значение k из (25.8) в формулу (25.9), получаем

$$v_p = c\,, \tag{25.10}$$

т.е. фазовая скорость упругих волн в эфире совпадает со средней скоростью частиц в паре и равна скорости света.

По формулам (25.7) - (25.9) можно также оценивать скорость распространения звука в кристаллах, имеющих простую структуру, при этом вместо массы пары $2m_0$ будет фигурировать масса атомов, входящих в состав элементарной ячейки кристалла.

Таким образом, электромагнитные волны в физическом вакууме можно рассматривать, как распространение упругих возмущений в эфире, представляющем собой электронно-позитронную сверхтекучую жидкость.

§ 26. Перспективы развития волновых представлений в классической электродинамике

Современная электродинамика представляет собой синтез уравнений Максвелла, специальной теории относительности (СТО) и квантовых представлений [19, 23, 35]. Если уравнения Максвелла были установлены в основном, исходя из опытных данных, и образуют фундамент классической физики, то дальнейшее развитие электродинамики с привлечением постулатов в СТО, а также квантовых постулатов характеризуется все большим отходом от классики. Разрыв с классическими представлениями в физике иногда становится столь большим, что никакие усилия ведущих теоретиков не способны разумно объяснить так называемые квантовые эффекты в рамках теории Максвелла, которая считается наиболее хорошо проверенной на практике теорией [23].

По признанию практически всех ведущих теоретиков XX века современная физика и, в частности, квантовая электродинамика не могут претендовать на роль единого фундамента физики [19, 23, 36], поэтому многим современным теориям придется смириться с критическими замечаниями в их адрес.

Теперь посмотрим, как рождаются мифы о якобы непригодности классических представлений при решении сложнейших задач электродинамики и микромира.

Ознакомимся, например, с точкой зрения Фейнмана в отношении классической электродинамики [19]: «Сейчас нам предстоит обсудить серьезную трудность - несостоятельность классической электромагнитной теории. Может показаться, что это нарушение, естественно, связано с падением всей классической теории под ударами квантово-механических эффектов. Возьмите классическую механику. Математически это вполне самосогласованная теория, хотя она и опровергается опытом. Однако самое интересное, что классическая теория электромагнетизма неудовлетворительна сама по себе. В ней до сих пор есть трудности, которые связаны с самими идеями теории Максвелла и которые не имеют непосредственного отношения к квантовой механике... А зачем нам заранее беспокоиться об этих трудностях. Ведь квантовая механика все равно изменит законы электродинамики. Не лучше ли подождать и посмотреть, во что превратятся эти трудности после изменений? Однако трудности остаются и после соединения электродинамики с квантовой механикой, так что рассмотрение их сейчас не будет напрасной тратой времени; вдобавок они очень важны с исторической точки зрения... Понятия простых заряженных частиц и электромагнитного поля как-то не согласуются друг с другом... Представьте, что мы взяли простейшую модель электрона, когда весь его заряд q равномерно распределен по поверхности сферы радиусом a. В специальном случае точечного заряда мы можем положить его равным нулю. Теперь вычислим энергию электромагнитного поля... Как только мы переходим к точечному заряду, начинаются все наши беды. И все потому, что энергия поля изменяется обратно пропорционально четвертой степени расстояния, интеграл по объему становится расходящимся, а количество энергии, окружающей точечный заряд, оказывается бесконечным...»

Итак, сделаем из всего этого некоторый вывод. Оказывается, из-за того, что мы не умеем решать некоторые задачи электродинамики и допускаем логические просчеты, виноватой является классическая физика. Ведь мы уже знаем, что заряд может быть и не точечный, что в природе вряд ли смогут существовать точечные объекты, проявляя себя вполне реально и взаимодействуя с окружающими объектами. Более того, мы даже уже научились вместе со студентами учитывать неточечность зарядов при нахождении запаздывающих потенциалов Льенара-Вихерта. И во всех этих случаях ни о каких бесконечностях не могло быть и речи.

Далее мы находим у Фейнмана [19]: «Мы решили уравнения Максвелла. В любых обстоятельствах, если только заданы токи и заряды, из этих интегралов можно определить потенциалы, а затем, продифференцировав их, получить поля. Тем самым с теорией Максвелла покончено. И это позволяет нам замкнуть круг и вернуться к нашей теории света, потому что достаточно только подсчитать электрическое поле движущегося заряда, чтобы связать все это с нашей прежней теорией света... Работы придется проделать много, но принцип ясен.

Итак, мы дошли до центра электромагнитной вселенной. У нас в руках полная теория электричества, магнетизма и света, полное описание полей, создаваемых движущимися зарядами, и многое, многое другое. Все сооружение, воздвигнутое Максвеллом, во всей его полноте, красе и мощи сейчас перед нами. Это, пожалуй, одно из величайших свершений физики».

Какой неиссякаемый оптимизм! И все это достаточно хорошо обосновано. Действительно, мы близки к разгадке природных явлений.

В этой же работе Фейнман указывает на ошибку, которая может появиться, если неумело обращаться с уравнениями и их решениями. Речь идет о бесконечностях в электродинамике, связанных с центральными полями.

«Нужно упомянуть еще об одном важном факте. В нашем решении для расходящейся (сферической) волны функция Φ в начале координат бесконечна. Это как-то необычно. Мы бы предпочли иметь такие волновые решения, которые гладки повсюду. Наше решение физически относится к такой ситуации, когда в начале координат располагается источник. Значит, мы нечаянно сделали одну ошибку: наша формула не является решением свободного волнового уравнения повсюду; уравнение с нулем в правой части решено повсюду, кроме начала координат. Ошибка вкралась оттого, что некоторые действия при выводе уравнения при $r = 0$ "незаконны"».

Таким образом, мы ясно видим предупреждение о том, чтобы волновые уравнения решались предельно внимательно. Но, несмотря на это, в электродинамике возникла проблема бесконечностей в собственной энергии частиц. И эти бесконечности возникли именно в центральных полях.

Кроме этого, следует иногда вспоминать о физическом вакууме, реальность которого признана уже во всем мире. А точнее говоря, вспомнить, наконец, об эфире, которым занимались все сколько-нибудь серьезные физики, правда, не совсем успешно.

И еще немного о Максвелле [19]: «Во времена Максвелла не привыкли мыслить в терминах абстрактных полей. Максвелл обсуждал свои идеи с помощью модели, в которой вакуум был подобен упругому телу. Он пытался также объяснить смысл своего нового уравнения (23.6) с помощью механической модели. Теория Максвелла принималась очень неохотно, во-первых, из-за модели, а во-вторых, потому что вначале не было экспериментального подтверждения. Сейчас мы лучше понимаем, что все дело в самих уравнениях, а не в модели, с помощью которой они были получены... уравнения Максвелла были подтверждены в бессчетных экспериментах. Если мы отбросим все строительные леса, которыми пользовался Максвелл, чтобы построить уравнения, мы придем к заключению, что прекрасное здание, созданное Максвеллом, держится само по себе. Он свел воедино все законы электричества и магнетизма и создал законченную и прекрасную теорию».

По поводу законченности теории Максвелла еще можно подискутировать, поскольку сам Максвелл не считал ее таковой, иначе не искал бы механизма реализации своих уравнений. Но с тем, что в XIX веке ученые умели строить здание науки прочно, на века и не делали поспешных выводов, можно вполне согласиться. Этого нельзя сказать про физиков XX века, когда теории создаются в большом количестве, очень быстро, но строительство зданий идет не очень качественно, а порой и с отсутствием какого-либо фундамента.

Но уж так устроена человеческая психология. Раз уж мы привыкли ругать классическую физику и винить ее во всех наших бедах, то почему бы и очередные наши промахи не списать на несостоятельность классических методов анализа и решения задач.

Можно привести целый список задач, рассмотрение которых было успешно начато, но не доведено до конца в рамках классических представлений. Это – спектр излучения абсолютно черного тела, при нахождении которого М. Планк применил электромагнитную теорию Максвелла, а также статистический подход Максвелла-Больцмана с энтропией и комбинаторикой Больцмана. Задача была как никогда близка к своему успешному решению полностью на классической основе, но в силу слабого владения теоретиками такими понятиями, как энтропия и статистический анализ сложных систем, подход Планка не был по достоинству оценен и доведен до завершения.

А вместо достойного выхода из трудной ситуации физики решили усомниться в справедливости теории Максвелла и Больцмана. В это же самое время сам Больцман стал жертвой непонимания его прогрессивных методов в статистической физике.

Это касается и законов фотоэффекта. Дальнейший опыт показал, что данная задача могла быть успешно решена на базе электромагнитной теории Максвелла, но с привлечением статистических методов анализа случайных процессов, какими являются электромагнитные поля со случайными амплитудами и фазами отдельных волн (см. § 47). Ни для кого не секрет, что аналогичные задачи в настоящее время успешно решаются в рамках статистической радиофизики и статистической оптики. Но вместо развития этих методов физики вновь усомнились в классических методах решения подобных задач.

Таким же образом не был достаточно хорошо понят планетарный атом, с таким успехом начатый Н. Бором и Э. Резерфордом и вынудивший Бора изменить классическим традициям. А ведь разгадка порой находится просто рядом. Недостаточное знание электродинамики Максвелла – Лоренца и статистической физики, а также закона сохранения механического момента в применении к атому сыграли роковую роль. Атом становится уже не классическим, а переходит в категорию квантовых явлений (см. третью главу).

Очень похожие вещи происходят с уравнением Шредингера. Вместо развития статистических методов анализа и нахождения функций распределения электронной плотности по Максвеллу и Больцману в применении к атомным системам теоретики решили изобрести новые абстрактные объекты - волны де Бройля. И хотя по прошествии многих лет физики все же догадались, что речь по существу идет о самых обыкновенных функциях распределения, т.е. о плотностях вероятности, - таких знакомых понятиях в рамках классической статистической физики, однако... “закон обратной силы не имеет”.[1]

Между прочим, список нерешенных в свое время физических задач оказывается не таким уж и кратким, его можно продолжать и продолжать. Одним из острейших вопросов в физике, поистине “болевой” точкой, становится проблема рассеяния микрочастиц на монокристаллах. И опять же злую шутку сыграло с аналитиками слабое знание статистических методов решения подобных задач, когда с самого начала следовало бы говорить на языке функций распределения физических величин. В частности, это касается в первую очередь функции распределения электронов по импульсам. И даже когда уже было хорошо известно, что распределение электронов по импульсам внутри упорядоченных структур является дискретным, на что многократно указывал в свое время А. Ланде, и что это дает разгадку явлениям дифракции без привлечения каких-либо волн де Бройля, но… Но инерция мышления физиков… превзошла все ожидания, и почти никто не заметил явных парадоксов и противоречий в теории, буквально оскорбляющих здравый смысл, за исключением, быть может, наиболее проницательных (см. §§ 26-36).

Интересно пронаблюдать ситуацию, когда ученые пытаются представить себе реальные электромагнитные поля при отсутствии какого-либо механизма формирования таких полей [19]: "... что такое векторный потенциал – просто полезное для расчетов приспособление (так в электростатике полезен скалярный потенциал) или же он как поле вполне *реален*? Или же *реально* лишь магнитное поле, так как оно ответственно за силу, действующую на движущуюся частицу? ...выражение "реальное поле" реального смысла не имеет. Во-первых, вы вряд ли вообще полагаете, что магнитное поле хоть в какой-то степени реально, потому что и сама идея поля – вещь довольно отвлеченная. Вы не можете протянуть руку и пощупать это магнитное поле. Кроме того, величина магнитного поля тоже не очень определенна; выбором подходящей подвижной системы координат можно, к примеру, добиться, чтобы магнитное поле в данной точке пропало.[2]

Под *реальным* полем мы понимаем здесь вот что: реальное поле – это математическая функция, которая используется нами, чтобы избежать представления о дальнодействии... Один прием, которым можно описать взаимодействие, – это говорить, что прочие заряды создают какие-то *условия* (какие – не имеет значения) в окрестности точки. Если мы знаем эти условия (мы их описываем, задавая электрическое и магнитное поля), то можем полностью определить поведение частицы, нимало не заботясь после о том, что именно создало эти условия... *Реальное* поле тогда есть совокупность

[1] Правило, возможно, необходимое и весьма полезное в юриспруденции, однако в истории натурфилософии подчас игравшее роковую роль. Стоит лишь упомянуть тщательно отстаиваемые на протяжении почти двух тысячелетий незыблемые позиции перипатетиков (последователей Аристотеля).

[2] Магнитное поле в соленоиде невозможно уничтожить выбором какой-либо инерциальной системы отсчета.

чисел, заданных так, что то, что происходит в некоторой точке, зависит от чисел в этой точке и нам больше не нужно знать, что происходит в других местах. Именно с таких позиций мы и хотим выяснить, является ли векторный потенциал *реальным* полем".

Можно было бы продолжать эту игру слов, пытаясь разобраться в физической сущности полей, но попробуйте встать на место студента и представить себе, как это все он сможет понять и запомнить. Незнание реальных механизмов формирования электромагнитных полей порождает неопределенность, неуверенность в себе при восприятии и объяснении природных явлений, препятствует их глубокому анализу. На этом месте физика как бы остановилась в своем развитии и надолго замерла.

Из истории развития физики известно, что первые представления о различных силовых полях были довольно отвлеченными. В законах силовых взаимодействий, как правило, не содержалось указаний на причину взаимодействия. Поэтому вплоть до середины XIX века многие физики придерживались взглядов, например, на тяготение, как на некое мгновенное действие на расстоянии вне времени и без всякой роли среды. Вопрос был окончательно разрешен опытным подтверждением теории электромагнитного поля Максвелла, как следствия *запаздывающего близкодействия*, согласно которому источник поля, качественно меняя свойства окружающей его среды, выводит ее из энергетически равновесного состояния [19].

Разумеется, хотелось бы как-то представить себе и собственно само по себе обычное электрическое поле в каких-то классических и зримых представлениях. Заглядываем в учебник [19]: "...нельзя ли представить электрическое поле в виде чего-то сходного с температурой, скажем, похожего на смещение куска студня? Сначала вообразим себе, что мир наполнен тонкой студенистой массой, а поля представляют собой какие-то искривления (скажем, растяжения или повороты) этой массы. Вот тогда можно было бы себе мысленно вообразить поле. А после того, как мы "увидели" на что оно похоже, мы можем отвлечься от студня. Именно это многие и пытались делать довольно долгое время. Максвелл, Ампер, Фарадей и другие пробовали таким способом понять электромагнетизм. (Порой они называли абстрактный студень *эфиром*.) Но оказалось, что попытки вообразить электромагнитное поле подобным образом на самом деле препятствуют прогрессу. К сожалению, наши способности к абстракциям, к применению приборов для обнаружения поля, к использованию математических символов для его описания и т.д. ограничены. Однако поля в известном смысле вещь вполне реальная, ибо, закончив возню с математическими уравнениями (все равно, с иллюстрациями или без, с чертежами или без них, пытаясь представить поле въяве или не делая таких попыток), мы все же можем создать приборы, которые поймают сигналы с космической ракеты или обнаружат в миллиарде световых лет от нас галактику, и тому подобное... Электрические поля и волны, о которых мы говорим, это не просто удачные мысли, которые мы вызываем в себе, если нам это хочется, а идеи, которые обязаны согласовываться со всеми известными законами физики. Недопустимо всерьез воображать себе то, что очевидным образом противоречит известным законам природы... Проблема создания чего-то, что является совершенно новым, и в то же время согласуется со всем, что мы видели раньше, – проблема чрезвычайно трудная".

С последними двумя фразами автора нельзя не согласиться. И все же, сколько содержится противоречий в рассуждениях о полях и об их реальности: от полного отрицания до полного признания этой реальности! Перед Природой следует снять шляпу. Она подбрасывает нам такие чудеса и задает нам такие каверзные вопросы, что человеческий разум зачастую просто пасует перед этим. И требуется некоторое время, чтобы, оправившись от потрясения, произведенного Природой, исследователь смог продолжить дальнейший свой путь в этих лабиринтах знаний осмысленно, привнося в них какой-то порядок, а не плутать в надежде на случайную удачу.

Теперь ничто не мешает нам, окинув, как говорится, холодным взглядом рассмотренные выше волновые процессы в эфире и все уравнения, полученные нами, задать себе вопрос: не противоречат ли они чему-нибудь, известному нам ранее? Оказывается, что все рассуждения и выводы, приведенные в этой работе, вполне укладываются в рамки обычных классических представлений, нигде не допускается нарушение каких-либо законов сохранения в физике.

Когда у исследователя что-то получается, и он имеет явные положительные результаты, он становится неистощимым оптимистом. В этом мы убеждаемся лишний раз, читая работы Р. Фейнмана [37]: «Решающие и наиболее поразительные периоды развития физики – это периоды великих обобщений, когда явления, казавшиеся разобщенными, неожиданно становятся всего лишь разными аспектами одного и того же процесса. История физики – это история таких обобщений, и в основе успеха физической науки лежит главным образом наша способность к синтезу.

По-видимому, самым знаменательным моментом в развитии физики XIX столетия следует считать тот день в 1860 г., когда Дж. К. Максвелл сопоставил законы электричества и магнетизма с законами поведения света. В результате были частично объяснены свойства света – этой старой и тонкой субстанции, настолько загадочной и важной, что в свое время при написании главы о сотворении мира сочли нужным отвести для него отдельный акт творения. Закончив свое исследование, Максвелл мог бы сказать: "Да будет электричество и магнетизм, и станет свет!"»

«...И тут выступает единство явлений во Вселенной. Движение атомов далекой звезды даже на огромных расстояниях возбуждает электроны нашего глаза, и мы узнаем о звездах. Если бы закона воздействия полей не существовало, мы бы буквально ничего не знали о внешнем мире!»

Но когда у нас что-либо не ладится, теория не укладывается в единую картину мира, а природа никак не желает раскрыть нам своих тайн, то весь душевный настрой и эмоциональный лад приходят в полный упадок. Отсутствие полного порядка, на наш взгляд, в мыслях способно повергнуть в уныние, но не способно принудить к безвольному соглашательству. Беспринципная сдача позиций в физике, особенно побуждаемая “свежими” веяниями новомодных теорий,– это, вообще, запрещенный прием. Тут уж впору вспомнить вездесущее слово “мораторий”. Одним словом – надо разбираться. Что же мы имеем на деле? По существу ли эти споры?

Так мы находим [19]: «...всем описанным нами теориям можно предъявить тяжкое обвинение. Все известные нам частицы подчиняются законам квантовой механики, поэтому необходима квантово-механическая форма электродинамики. Свет ведет себя подобно фотонам. Это уже не 100-процентная теория Максвелла. Следовательно, электродинамика должна быть изменена. Мы уже говорили, что упорное старание исправить классическую теорию может оказаться напрасной тратой времени, ибо в квантовой электродинамике трудности могут исчезнуть или будут разрешены другим образом. Однако и в квантовой электродинамике трудности не исчезают. В этом кроется одна из причин, почему люди потратили столько времени, пытаясь преодолеть классические трудности и надеясь, что если они смогут преодолеть их, то после квантового обобщения уравнений Максвелла все будет в порядке. Однако и после такого обобщения трудности не исчезают.

Квантовые эффекты, правда, приводят к некоторым изменениям. Изменяется формула для масс, появляется постоянная Планка h, но ответ по-прежнему выходит бесконечным, если вы не обрезаете как-то интегрирование, подобно тому, как мы обрезали интеграл при $r = a$ в классической теории... Трудности в основном те же самые. Поэтому вам придется поверить мне на слово, что и квантовая электродинамика Максвелла приводит к бесконечной массе точечного электрона.

Оказывается, однако, что до сих пор никому не удалось даже приблизиться к *самосогласованному* квантовому обобщению на основе *любой* из модифицированных теорий. Идее Борна и Инфельда никогда не суждено было стать квантовой теорией. Не привели к удовлетворительной квантовой теории опережающие и запаздывающие волны Дирака и Уиллера - Фейнмана. Не привела к удовлетворительной квантовой теории и идея Боппа. Так что и до сего дня нам не известно решение этой проблемы. Мы не знаем, как с учетом квантовой механики построить самосогласованную теорию, которая не давала бы бесконечной собственной энергии электрона или какого-то другого точечного заряда. И в то же время ***нет удовлетворительной теории, которая описывала бы неточечный заряд. Так эта проблема и осталась нерешенной.***

Если вы вздумаете попытать счастья и построить теорию, полностью удалив действие электрона на себя, так, чтобы электромагнитная масса не имела смысла, а затем будете делать из нее квантовую теорию, то могу вас заверить – трудностей вы не избежите. Экспериментально доказано существование электромагнитной инерции и тот факт, что часть массы заряженных частиц – электромагнитная по своему происхождению».

Картина, представленная здесь Р. Фейнманом, является довольно удручающей. Ситуация напоминает даже безвыходную. Но это, конечно, лишь временные затруднения. Во-первых, выше уже было отмечено, что принятие электрона точечной частицей является всего лишь идеализацией и логической ошибкой, поскольку в природе вряд ли смогут существовать абсолютно точечные объекты, проявляя себя в эксперименте. Вспомним обычную заряженную сферу. Вне этой сферы кулоновское поле точно такое же, как и у точечного заряда, но никому и в голову не придет, что здесь может возникнуть бесконечность из-за того, что при удалении от сферы электрический потенциал зависит от расстояния как *1/r*. Для неточечного электрона следует раздельно рассмотреть электрическое поле в непосредственной близи от частицы, а затем – на большом расстоянии, что примерно и было сделано нами в предыдущих разделах. При этом, действительно, энергия электрона велика, а плотность энергии эфира *необычайно велика*, но о каких-то бесконечностях в энергии электрона или полей не было и речи.

Кроме этого, стоит посмотреть ранние работы Фейнмана [19], и мы сможем убедиться, что в понятии «точечный» заряд у него везде стоят кавычки, поэтому он неоднократно подчеркивает, что речь может идти лишь о некотором идеализированном, но не реальном заряде или реальном электроне. К сожалению, в дальнейшем физики совершенно забыли об этих ранних предупреждениях Фейнмана и на протяжении многих десятилетий пытались справиться с придуманными ими же бесконечностями в квантовой электродинамике и теории поля. Так искусственно были изобретены перекалибровочные теории, далекие от каких-либо реальных физических процессов, поскольку трудно себе представить, чтобы в природе могли быть реализованы процессы с бесконечными величинами. Сам Фейнман впоследствии осознает допущенные им промахи [23]: «Уловка, при помощи которой мы находим *m* и *e* имеет специальное название - «перенормировка». Но каким бы умным ни было слово, я назвал бы перенормировку “дурацким” приемом! Необходимость прибегнуть к такому “фокусу-покусу” не позволила нам показать математическую самосогласованность квантовой электродинамики. Удивительно, что до сих пор самосогласованность квантовой электродинамики, этой теории, не доказана тем или иным способом: я подозреваю, что “перенормировка” математически незаконна. Но очевидно, это то, что у нас нет хорошего математического аппарата для описания квантовой электродинамики: такая куча слов для описания *m’, e’* и *m, e* - это не настоящая математика...»

«...**Я должен сразу же сказать, что вся остальная физика проверена далеко не так хорошо, как электродинамика**...»

Можно было бы, конечно, спокойно пройти мимо физических и, в особенности, философских воззрений, исповедуемых крупнейшим теоретиком XX столетия В. Паули, и поставить точку в данной главе, однако последний, мы убеждены, заходит «слишком далеко» в своих выводах, гораздо дальше Р. Фейнмана. Озвученная во многих публикациях точка зрения знаменитого “нобельмана” представляет собой как бы квинтэссенцию ортодоксальной академической (энциклопедической) парадигмы физики, сложившейся к середине XX столетия. Программные пункты предлагаемого учения (вызывает печальное сожаление, что и повсеместно принимаемого[3]) не могут казаться такими уж легковесными и безобидными, как это пытается представить нам Паули. Сам же Паули слишком эмоционален в своих попытках "похоронить" эфир, чувство меры ему изменяет, а посему и смотрится-то он неубедительно. Впрочем, нам представляется, что читатель сможет сам сделать надлежащие выводы из приведенных рассуждений о полезности СТО и о том, каким образом совершенно пустое пространство можно наделить физическими характеристиками.

«Постулат относительности устраняет из физических теорий эфир, рассматриваемый в качестве *субстанции*. Действительно, не имеет никакого смысла говорить о покое или движении относительно эфира, если они принципиально не могут быть обнаружены с помощью наблюдений. Это еще менее смутит нас в настоящее время, когда уже с успехом стали сводить упругие свойства материи к электрическим силам. Пытаться же после этого снова объяснять электромагнитные явления с помощью упругих свойств гипотетической среды было бы совершенно нелепо. Механическая теория эфира стала, собственно говоря, излишней и тормозящей дальнейшее развитие уже тогда, когда упругая теория света была заменена электромагнитной. В этой последней материальный эфир всегда являлся чужеродным телом. Уже после создания теории относительности Эйнштейн предложил снова ввести понятие эфира, рассматриваемого уже не как субстанция, а лишь как совокупность тех физических величин, которые должны быть приписаны пространству, не заполненному материей (!?). Понимаемый в этом более широком смысле эфир действительно существует, однако следует помнить, что он не имеет, конечно, никаких механических свойств (!?); иными словами, физические характеристики пространства без материи не обладают ни положениями, ни скоростями».

«... Сам Эйнштейн до конца своей жизни надеялся найти общее решение этих проблем в рамках классической теории поля. Это различие мнений отражает существование великой нерешенной проблемы – проблемы отношения теории относительности к квантовой теории. Эта проблема, вероятно, еще долго будет волновать физиков. В частности, пока еще совсем не ясна связь между общей теорией относительности и квантовой механикой» [38]. И далее В. Паули продолжает: «Поскольку в последнем замечании я подчеркиваю различие во взглядах самого Эйнштейна, с одной стороны, и большинства физиков, включая меня, с другой стороны, на проблемы, выходящие за рамки специальной и общей теории относительности, я хотел

[3] Снискав себе в свое время славу вундеркинда и незаурядного математика, бескомпромиссного борца за новую эру в физике, Паули был просто одержим какой-то манией математизации (читай формализации) физики. В значительной степени ему эта программа удалась – оппонентов почти не было. Кто-то предпочел подчиниться, кто-то – отойти в сторону, кто-то просто ничего не понял. Вот она – "невыносимая легкость бытия".

бы закончить это предисловие примирительными замечаниями о месте теории относительности в развитии физики.

Существует точка зрения, согласно которой теория относительности знаменует собой конец классической физики, т.е. физики в стиле Ньютона - Фарадея - Максвелла с ее детерминистской формой описания причинности в пространстве и времени, на смену которой пришла новая физика, описывающая законы природы квантово-механическим образом. Эта точка зрения представляется мне лишь отчасти правильной...»

«... Эйнштейн после того, как он революционизировал мышление физиков, ... до конца своих дней сохранял надежду, что даже квантовые черты атомных явлений смогут быть в принципе объяснены с позиций классической физики полей. Несмотря на то, что принцип дополнительности Бора обобщил представление о физической реальности в атомной физике, ... Эйнштейн хотел остаться верным идеалу классической небесной механики, согласно которому объективное состояние системы совершенно не должно зависеть от способа наблюдения.

Эйнштейн честно признавал, что его надежды на полное решение проблемы на этом пути еще не осуществились и возможность создания такой теории им еще не доказана, ... вопрос остался открытым. Поэтому, когда он говорит о *единой теории поля*, он имеет в виду именно эту далеко идущую программу построения теории, которая решает все проблемы, рассматривая элементарные частицы вещества с помощью всюду регулярных (лишенных особенностей) классических полей».

С точкой зрения самого Эйнштейна на проблемы современной физики мы познакомились в §§ 1 – 3. Там же представлены взгляды на проблемы современной физики и других видных теоретиков нашего времени.