

1.2.3. Шестнадцать вращающихся 4-базисов

Все 4-базисы, показанные на рис.1.2.5, образуются непосредственно самими пробными монохроматическими лучами света, приходящими в точку O (рис. 1.2.1) с 3-х взаимно перпендикулярных направлений.

Но кроме этих стационарных лучевых 4-базисов в этой точке присутствуют еще и шестнадцать вращающихся 4-базисов, связанных с круговой поляризацией тех же пробных лучей света. Рассмотрим природу 16-ти вращающихся 4-базисов более подробно.

Принцип усредненной отсутственности (вакуумное условие) требует, чтобы появление любой сущности из «пустоты» сопровождалось явлением и противоположной ей антисущности.

В частности, на встречу любому пробному лучу света с круговой поляризацией распространяется и антилуч с противоположной круговой поляризацией (см. рис. 1.2.9).

Напомним, что поляризацией электромагнитной волны (или луча света) называется закон изменения направления вектора напряженности электрического поля \mathbf{E} , в плоскости перпендикулярной направлению распространения волны (или луча)[8].

Вектор напряженности магнитного поля \mathbf{H} электромагнитной волны (ЭМВ) всегда перпендикулярен вектору электрического поля \mathbf{E} и изменяется точно по такому же закону. Поэтому при рассмотрении вопросов, связанных с поляризацией ЭМВ, вектор \mathbf{H} обычно остается за рамками рассмотрения.

Вначале рассмотрим два встречных луча света (луча и антилуча), распространяющихся навстречу друг другу вдоль оси X (рис. 1.2.9).

Пусть поляризация рассматриваемого луча света задается вектором электрического поля $\mathbf{E}_x^{(+)}$, а поляризация антилуча – вектором электрического антиполя $\mathbf{E}_x^{(-)}$. Эти вектора описываются комплексными выражениями [8]:

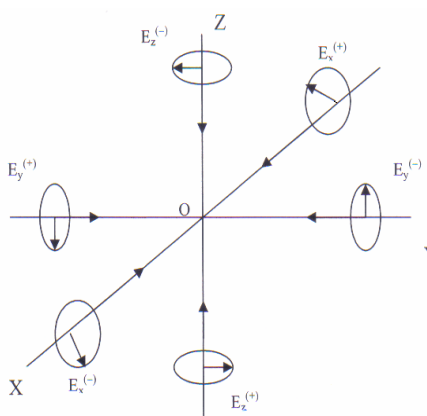


Рис. 1.2.9. Поляризации лучей и антилучей света, приходящих в точку O с трех взаимно перпендикулярных направлений

$$\underline{E}_x^{(+)} = \underline{E}_{zm}^{(+)} e^{i\varphi_{xz}^{(+)}} e^{i(\varpi t - k_x x)} + i \underline{E}_{ym}^{(+)} e^{i\varphi_{xy}^{(+)}} e^{i(\varpi t - k_x x)}, \quad (1.2.1)$$

$$\underline{E}_x^{(-)} = \underline{E}_{zm}^{(-)} e^{-i\varphi_{xz}^{(-)}} e^{-i(\varpi t - k_x x)} - i \underline{E}_{ym}^{(-)} e^{-i\varphi_{xy}^{(-)}} e^{-i(\varpi t - k_x x)}, \quad (1.2.2)$$

где $E_{zm}^{(+)}$ – проекция вектора $\mathbf{E}_x^{(+)}$ на ось Z ;
 $E_{ym}^{(+)}$ – проекция вектора $\mathbf{E}_x^{(+)}$ на ось Y ;
 $E_{zm}^{(-)}$ – проекция вектора $\mathbf{E}_x^{(-)}$ на ось Z ;
 $E_{ym}^{(-)}$ – проекция вектора $\mathbf{E}_x^{(-)}$ на ось Y ;
 ϖ – циклическая частота колебаний световой волны;
 k_x – проекция волнового вектора на ось X ;
 $\varphi_{xz}^{(+)}, \varphi_{xy}^{(+)}$ – фазы ортогональных составляющих волны, распространяющейся в положительном направлении оси X ;
 $\varphi_{xz}^{(-)}, \varphi_{xy}^{(-)}$ – фазы ортогональных составляющих волны, распространяющейся в отрицательном направлении оси X .
Средняя световая волна (луч), распространяющаяся вдоль оси X , определяется усредненным выражением

$$\begin{aligned} \underline{E}_x = \frac{\rho}{2} (\underline{E}_x^{(+)} + \underline{E}_x^{(-)}) &= \frac{1}{2} \left\{ \underline{E}_{zm}^{(+)} e^{i(\varpi t - k_x x + \varphi_{xz}^{(+)})} + \underline{E}_{zm}^{(-)} e^{-i(\varpi t - k_x x + \varphi_{xz}^{(-)})} \right\} + \\ &+ \frac{1}{2} i \left\{ \underline{E}_{ym}^{(+)} e^{i(\varpi t - k_x x + \varphi_{xy}^{(+)})} - \underline{E}_{ym}^{(-)} e^{-i(\varpi t - k_x x + \varphi_{xy}^{(-)})} \right\}. \end{aligned} \quad (1.2.3)$$

В случае равенства амплитуд и фаз прямой и встречной волн (луча и антилуча)

$$\begin{aligned} \underline{E}_{zm}^{(+)} = \underline{E}_{zm}^{(-)} = \underline{E}_{zm}, \quad \varphi_{xz}^{(-)} = \varphi_{xz}^{(+)} = \varphi_{xz}, \\ \underline{E}_{ym}^{(+)} = \underline{E}_{ym}^{(-)} = \underline{E}_{ym}, \quad \varphi_{xy}^{(-)} = \varphi_{xy}^{(+)} = \varphi_{xy} \end{aligned}$$

выражение (2.3) принимает вид:

$$\underline{E}_x = \underline{E}_{zm} \frac{e^{i(\varpi t - k_x x + \varphi_{xz})} + e^{-i(\varpi t - k_x x + \varphi_{xz})}}{2} - \underline{E}_{ym} \frac{e^{i(\varpi t - k_x x + \varphi_{xy})} - e^{-i(\varpi t - k_x x + \varphi_{xy})}}{2i}. \quad (1.2.4)$$

С учетом преобразованных формул Эйлера

$$\cos \alpha = \frac{e^{i\alpha} + e^{-i\alpha}}{2}, \quad \sin \alpha = \frac{e^{i\beta} - e^{-i\beta}}{2i}$$

для начала координат (т. е. при $x = 0$) из (1.2.4) получим

$$\underline{E}_x = \underline{E}_{zm} \cos(\varpi t + \varphi_{xz}) - \underline{E}_{ym} \sin(\varpi t + \varphi_{xy}), \quad (1.2.5)$$

где \underline{E}_{zm} – вектор, направленный вдоль оси Z ;

\underline{E}_{ym} – вектор, направленный вдоль оси Y .

Принцип отсутственности (вакуумное условие), требующий для данного случая, чтобы каждому волновому возмущению вакуума соответствовало подобное ему антивозмущение, приводит к выводам, совершенно совпадающим с представлениями классической электродинамики.

Согласно принципу отсутственности (вакуумного условия), любое наблюдаемое волновое возмущение вакуума является результатом суперпозиции волны и противоположной ей антиволны. Если фазы волны и антиволны совпадают, то они полностью компенсируют проявления друг друга. Если их фазы различны, то возникает усредненный эффект бегущей волны в направлении, обусловленном разностью их фаз.

Алсигна лишь препарирует исследуемый процесс и показывает, что при определенных условиях встречные световые волны (лучи) полностью компенсируют проявления друг друга, а в других случаях их суперпозиция приводит к проявлению усредненной бегущей волны с усредненной круговой (или, в общем случае, эллиптической) поляризацией. Это сразу обнаруживается при переходе от векторного представления (1.2.5) к эквивалентной функциональной записи [8]:

$$\underline{E}_x = \left(\underline{E}_{zm} e^{i\varphi_{xz}} + \underline{E}_{ym} e^{i\varphi_{xy}} \right) e^{i(\varpi t - k_x x)} \quad (1.2.6)$$

или

$$\underline{E}_x = \left(\underline{E}_{zm} + \underline{E}_{ym} e^{2i\delta_x} \right) e^{i\varphi_{xz}} e^{i(\varpi t - k_x x)}, \quad (1.2.7)$$

где

$$2\delta = \varphi_{xz} - \varphi_{xy}$$

– разность фаз колебаний ортогональных

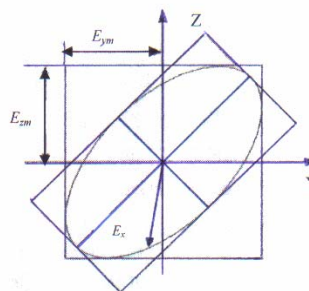


Рис.1.2.10. Эллипс поляризации [8]

составляющих; $\varphi_{xz} = \varphi_0$ – начальная фаза z -компоненты электрического вектора \mathbf{E}_x .

Исключая из выражения (1.2.7) время, можно найти уравнение траектории конца (годографа) электрического вектора \mathbf{E}_x в плоскости ZOY (рис. 1.2.6) [8]:

$$\left(\frac{Z}{|E_{zm}|}\right)^2 + \left(\frac{Y}{|E_{ym}|}\right)^2 - \frac{2ZY}{|E_{zm}||E_{ym}|} \cos 2\delta = \sin^2 2\delta, \quad (1.2.8)$$

где

$$Y = \operatorname{Re} E_{zm} e^{i\varphi_{xz}}, \quad Z = \operatorname{Re} E_{ym} e^{i\varphi_{xy}}, \quad |E_{zm}| = |E_{zm} e^{i\varphi_{xz}}|, \quad |E_{ym}| = |E_{ym} e^{i\varphi_{xy}}|.$$

Уравнение (1.2.8) описывает кривую второго порядка и в силу ограниченности модулей ортогональных векторов \mathbf{E}_{zm} и \mathbf{E}_{ym} соответствует уравнению эллипса (рис. 1.2.10).

Такая световая волна (луч) является эллиптически поляризованной электромагнитной волной. Поведение эллиптически поляризованной волны в исследуемой точке O (рис. 1.2.1) во времени показано на рис. 1.2.11.

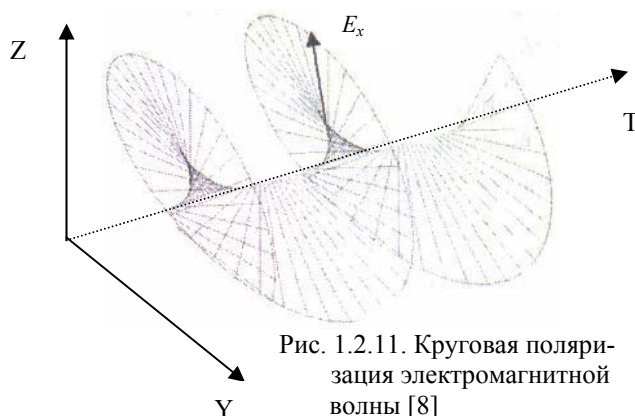


Рис. 1.2.11. Круговая поляризация электромагнитной волны [8]

Пока в точке O препарировано поведение только вектора напряженности электрического поля \mathbf{E}_x . Аналогичный анализ усредненных волн (лучей – антилучей), распространяющихся соответственно вдоль осей Z и Y (см. рис. 1.2.9), с усредненными электрическими векторами \mathbf{E}_z и \mathbf{E}_y приводит к подобным результатам:

– в наиболее общем случае годографом вектора \mathbf{E}_z в точке O (рис. 1.2.1) является наклоненный эллипс в плоскости XOY ;

– а годографом вектора \mathbf{E}_y в той же точке является наклоненный эллипс в плоскости XOZ (рис. 1.2.12).

В общем случае модули векторов \mathbf{E}_x , \mathbf{E}_z и \mathbf{E}_y не равны друг другу. Поэтому их годографами могут быть эллипсы различной величины, что и показано на первом рис. 1.2.12.

В идеальном случае модули векторов \mathbf{E}_x , \mathbf{E}_z и \mathbf{E}_y равны и их годографами являются круги.

В результате эти три усредненных вектора образуют в точке O (рис. 1.2.1) ортогональный постоянно вращающийся 3-базис (рис. 1.2.13). Такой ортогональный 3-базис, образованный вращающимися электрическими векторами ортогональных лучей света, иногда будем называть электрическим 3-базисом.

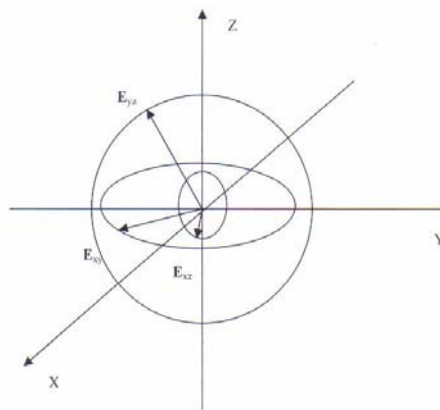


Рис. 1.2.12. Поляризации трех ортогональных лучей света

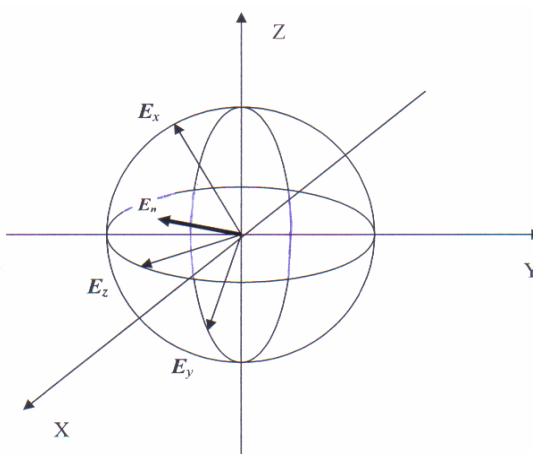


Рис. 1.2.13. Три усредненных электрических вектора \mathbf{E}_x , \mathbf{E}_z , \mathbf{E}_y , вращаясь во взаимно перпендикулярных плоскостях XOZ , YOZ , XOY , образуют в точке O (рис. 1.2.1) усредненный вращающийся ортогональный электрический 3-базис

Согласно выражению (1.2.3) усредненные вектора $\mathbf{E}_x, \mathbf{E}_z, \mathbf{E}_y$ состоят из двух векторов (вектора и антивектора), поэтому в точке O (рис. 1.2.1) вращается не один усредненный электрический 3-базис, а два 3-базиса:

- электрический 3-базис $\mathbf{E}_x^{(+)}, \mathbf{E}_y^{(+)}, \mathbf{E}_z^{(+)}$ (рис. 1.2.14), и
- электрический 3-антибазис $\mathbf{E}_x^{(-)}, \mathbf{E}_y^{(-)}, \mathbf{E}_z^{(-)}$.

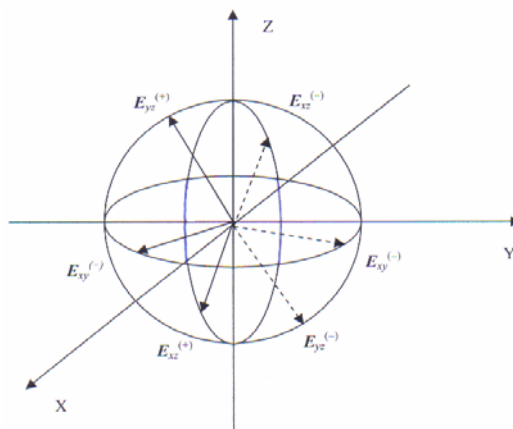


Рис. 1.2.14. Встречное вращение двух ортогональных 3-базисов, состоящих из двух троек ортогональных электрических векторов: $\mathbf{E}_x^{(+)}, \mathbf{E}_y^{(+)}, \mathbf{E}_z^{(+)}$ и $\mathbf{E}_x^{(-)}, \mathbf{E}_y^{(-)}, \mathbf{E}_z^{(-)}$ в одной из 8-ми вершин рассматриваемого куба

Кратко поясним, как вращающиеся 3-базисы связаны с 4-мерным рассмотрением. Модуль волнового вектора монохроматической электромагнитной волны (пробного луча света) $|\mathbf{k}_i|$ связан с ее же циклической частотой ω_i однозначным соотношением

$$|\mathbf{k}_i| = 2\pi/\lambda_{m+n} = \omega_i/c, \quad (1.2.9)$$

поэтому электрический вектор $\mathbf{E}_i^{(\pm)}$ этой волны, определяющий одну из осей соответствующего электрического 3-базиса, делает один полный оборот за один полный период ее колебания. Следовательно, угловая скорость вращения данного электрического вектора $\Omega = d\varphi/dt$ (где φ – угол его поворота) равна циклической частоте колебаний пробной волны $\Omega = \omega_i$

Если частоты всех трех пробных монохроматических лучей, приходящих в исследуемую точку O (рис. 1.2.1) с трех ортогональных направлений (см. рис. 1.2.5), одинаковы $\omega_x = \omega_y = \omega_z$, то их электрические вектора $\mathbf{E}_i^{(\pm)}$ в этой точке вращаются с одной и той же угловой скоростью

$$d\varphi/dt = \Omega = \omega_x = \omega_y = \omega_z = \omega, \quad (1.2.10)$$

и все вместе они образуют ортогональный электрический 3-базис, постоянно вращающийся с единой угловой скоростью (1.2.10). Сопоставляя выражения (1.2.9) и (1.2.10) получим:

$$d\varphi/dt = 2\pi c/\lambda_{m\pm n}, \quad (1.2.11)$$

откуда имеем

$$\varphi\lambda_{m\pm n}/2\pi c = t. \quad (1.2.12)$$

При повороте электрического вектора $\mathbf{E}_i^{(\pm)}$ пробного сигнала на угол $\varphi = 2\pi$ монохроматический луч света проходит расстояние равное длине его волны

$$|d\mathbf{r}| = \sqrt{dx^2 + y^2 + z^2} = \lambda_{m\pm n}.$$

При этих условиях выражение (1.2.12) может приобрести вид квадрата 4-интервала

$$ds^{(+2)} = -cdt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2 = 0 \quad (1.2.13)$$

или квадрата 4-антиинтервала

$$ds^{(-2)} = cdt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 = 0, \quad (1.2.14)$$

Данные выкладки показывают, что при определенных условиях вращающийся 3-базис и 4-мерный интервал являются адекватными вариантами описания одного и того же вакуумного процесса – распространения электромагнитной волны.

Вращательное движение, как и любой другой вид движения, сопряжено с внесением понятия «стрелы времени», направленной из прошлого в будущее. Время выступает как мера длительности, в течение которой осуществляется движение (в частности, вращение). Но в силу того, что вращение 3-базисов может осуществляться как в одну, так и в противоположную сторону, следует различать два направления локального времени. Локальное время любого из шестнадцати 3-базисов оказывается неким аксиальным вектором, величина и направление которого тесно связаны с угловой скоростью и направлением вращения данного 3-базиса (или 3-антибазиса).



(www.x-top.org)

В каждую из восьми вершин, рассматриваемого гипотетического куба (рис. 1.2.2) с 3-х ортогональных направлений приходит по три пробных луча и по три противоположных им антилуча со своими противоположными круговыми поляризациями. При этом в каждой из 8-ми вершин данного куба вращаются по два взаимно противоположных электрических 3-базиса. В результате в исследуемой точке O (рис. 1.2.1) всего получается 16 различных вращающихся электрических 3-базисов, или просто шестнадцать 4-базисов:

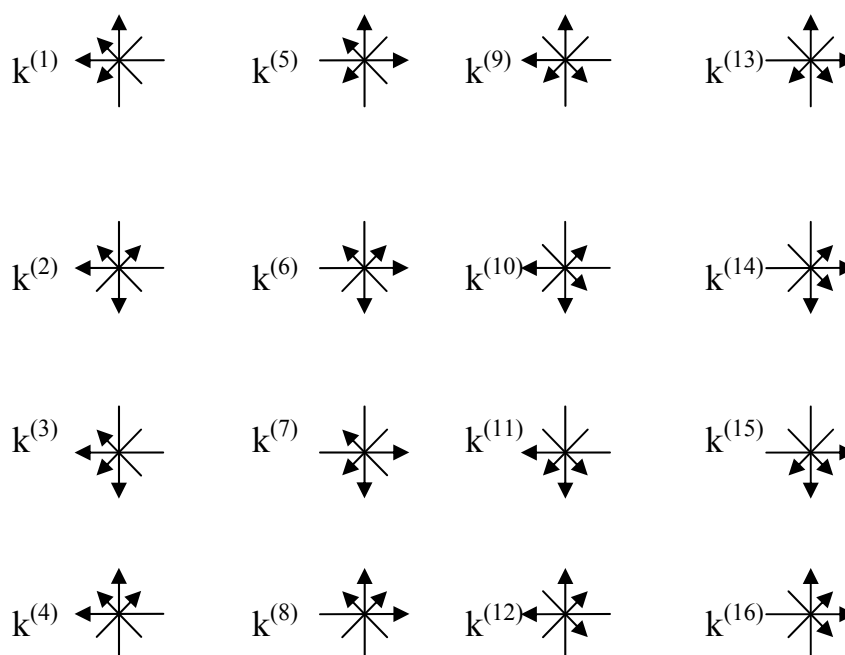


Рис.1.2.15. Шестнадцать электрических 4-базисов в исследуемой точке O

Это похоже на то, как если бы в каждом узле некой «кристаллической» решетки имелись бы по трое двухсторонних часов (рис. 1.2.16), находящихся в 3-х взаимно перпендикулярных плоскостях. Под двухсторонними часами подразумеваются часы с двумя циферблатами, находящимися по обе стороны данных часов. Стрелки обоих

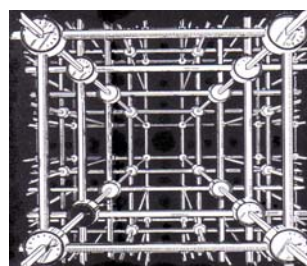


Рис. 1.2.16. Решетка с двухсторонними часами

циферблатов таких часов вращаются по «часовой стрелке», но в силу того, что они находятся с двух противоположных сторон, их вращение оказывается взаимно противоположным. При этом вращение трех стрелок взаимно перпендикулярных лицевых циферблатов этих часов определяют вращение одного ортогонального 3-базиса, а вращение трех стрелок их задних циферблатов определяет вращение второго ортогонального 3-антибазиса. Угловая скорость вращения этих 3-базисов совпадает с угловой скоростью вращения стрелок соответствующих циферблатов.