

ПРОЦЕСС ПРЕВРАЩЕНИЯ ПУЧКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПОЛОСУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Кочетков Виктор Николаевич

ViktKochetkov@yandex.ru

vnkochetkov@gmail.com

vnkochetkov@rambler.ru

<http://www.matphysics.ru>

В статье на примере перегруппирования отдельных элементов, составляющих узконаправленный пучок монохроматического светового излучения, показывается возможность превращения (разложения) этого светового пучка в полосу светового излучения при его отражении от движущейся зеркальной поверхности. В связи с возможным отличием значений диэлектрической и магнитной проницаемостей в среде величины скоростей распространения светового излучения пучка и полосы могут иметь различные значения.

PACS number: **03.30.+p**

Содержание

- 1. Введение (2).**
- 2. Основные определения (2).**
- 3. Превращение пучка светового излучения в полосу светового излучения (3).**
- 4. Фазовые скорости перемещения волновых поверхностей световых излучений в виде пучка θ и в виде любого из минипучков $1_1, 1_2, 1_3, \dots, 1_n$ полосы 1 (11).**
- 5. Заключение (12).**

Список литературы (13).

1. Введение

Основываясь на положениях волновой оптики, в статье на примере перегруппирования отдельных элементов узконаправленного пучка монохроматического светового излучения при отражении этого пучка от зеркальной поверхности рассматривается процесс разложения электромагнитного излучения пучка на составляющие в виде полосы электромагнитного излучения.

При этом световое излучение пучка, двигающееся в пространстве последовательно вдоль одной линии, превращается в световое излучение, двигающееся параллельно узкой полосой под некоторым углом к этой полосе.

2. Основные определения

Для рассмотрения движения электромагнитной энергии с учетом работ [1], [2], [3], [4], [5] введем следующие определения:

- волна - распространение колебаний в пространстве, происходящее с конечной скоростью;
- волновая поверхность - множество всех точек пространства, в которых фаза колебаний в данный момент времени имеет одно и то же значение;
- волновой фронт - крайняя волновая поверхность, являющаяся границей между возмущённой и невозмущённой областями среды;
- передний волновой фронт - множество всех точек пространства, которых достиг колебательный процесс в данный момент времени;
- задний волновой фронт - множество всех точек пространства, в которых прекратился колебательный процесс в данный момент времени;
- длина пространства, охваченного колебательным процессом, - расстояние между передним и задним волновым фронтом;
- фазовая скорость – скорость, с которой перемещается волновая

поверхность;

- когерентные волны - волны, имеющие одинаковую частоту и постоянную во времени разность фаз;

- световые волны - электромагнитные волны, обладающие всеми их свойствами;

- световой луч - линия в пространстве, не имеющая размеров в поперечном сечении, и которая в каждой своей точке перпендикулярна волновой поверхности, проходящей через эту точку;

- световой луч направлен в сторону переноса энергии световой волны,

- совокупность световых лучей называется световым пучком,

- монохроматическая световая волна – световая волна определенной частоты,

- зеркальная поверхность – поверхность, размер неровностей которой меньше длины падающей на него световой волны.

3. Превращение пучка светового излучения в полосу светового излучения

С целью большей наглядности и упрощения рассмотрения примем нижеперечисленные предположения.

Предположения 1:

- пространство, внутри которого распространяется электромагнитная энергия, - вакуум;

- электромагнитная энергия распространяется в пространстве в виде светового излучения.

Допустим, как показано на рис.1, что имеются источник **A** светового излучения и зеркало **Z**.

Предположения 2:

- источник **A** неподвижен в инерциальной системе отсчета $O_0x_0y_0z_0$,

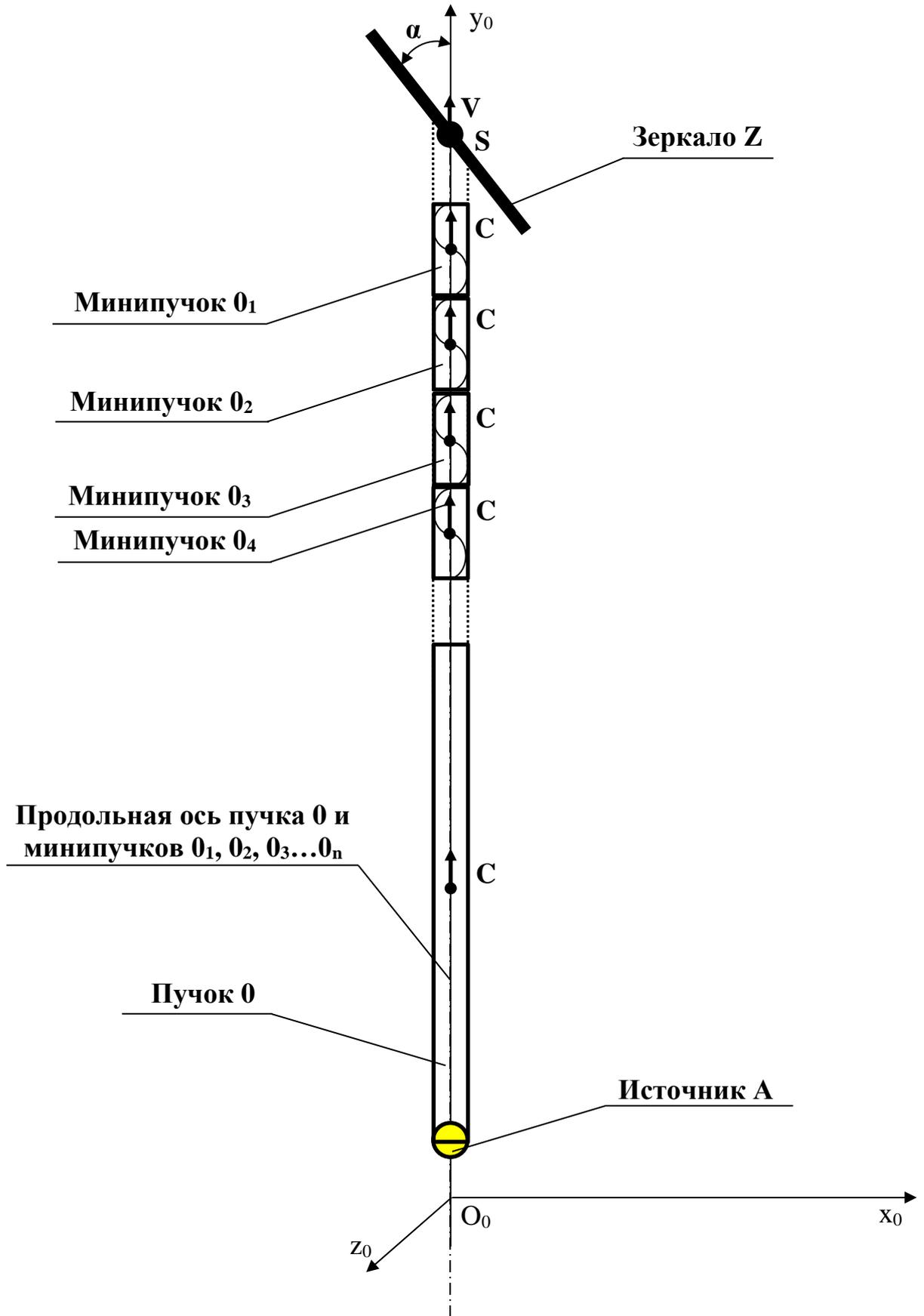


Рис.1

- источник A является источником монохроматическое светового излучения,

- излучаемая источником A световая энергия движется в пространстве с фазовой скоростью C однонаправленно вдоль оси y_0 в виде узконаправленного пучка θ ,

- пучок θ имеет минимально возможное поперечное сечение в виде круга с диаметром d_0 ,

- световое излучение источника A в виде пучка θ происходит в течении интервала времени ΔT_0 ,

- пучок θ имеет длину L_0 (длина пространства, охваченного колебательным процессом),

- световая энергия, излученная источником A в виде пучка θ в течении интервала времени ΔT_0 , заключена в пространстве, которое условно можно представить в виде цилиндра, движущегося со скоростью C , и имеющего диаметр d_0 и длину L_0 ;

- продольная ось пучка θ светового излучения всегда находится в плоскости $O_0x_0y_0$ и совпадает с осью y_0 ,

- длина L_0 несоизмерима больше длины λ_0 световой волны, излучаемой источником A ;

- площадь волнового фронта пучка θ (порядка $\pi d_0^2/4$) несоизмеримо мала по сравнению с площадью боковой поверхности пучка θ (порядка $\pi d_0 L_0$).

Учитывая то, что длина L_0 несоизмерима больше длины λ_0 световой волны, излучаемой источником A , в поперечном направлении пучок θ можно представить, как большой пучок, состоящий из маленьких световых пучков - минипучков $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$, световая энергия в которых движется из источника A последовательно и поступательно с постоянной фазовой скоростью C однонаправленно вдоль оси y_0 .

То есть пучок θ световой энергии без изменения своих физических свойств может быть разделен в продольном направлении на отдельные

составляющие элементы - минипучки $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$, которые могут существовать в рассматриваемом пространстве самостоятельно.

Предположения 3:

- все минипучки $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ одинаковы и не отличаются друг от друга;
- световая энергия минипучков $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$, излучаемая источником A , движется из источника A последовательно один за другим, начиная с минипучка θ_1 , поступательно с постоянной фазовой скоростью C , однонаправленной вдоль оси y_0 ;
- продольные оси всех минипучков $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ будут всегда находиться на одной линии с продольной осью пучка θ ;
- поперечное сечение каждого из минипучков $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ - круг с диаметром d_0 ;
- световое излучение источника A в виде любого из минипучков $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ происходит в течении интервала времени Δt_0 ;
- каждый из минипучков $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ имеет длину l_0 (длина пространства, охваченного колебательным процессом);
- световая энергия, излученная источником A в виде любого из минипучков $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ в течении интервала времени Δt_0 , заключена в пространстве, которое условно можно представить в виде цилиндра, движущегося со скоростью C , и имеющего диаметр d_0 и длину l_0 ;
- длина l_0 не может быть меньше длины λ_0 световой волны, излучаемой источником A ;
- площадь волнового фронта каждого из минипучков $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ составляет порядка $\pi d_0^2/4$ и может быть соизмерима с площадью его боковой поверхности, составляющей порядка $\pi d_0 l_0$.

Как показано на рис.1, световое излучение источника A в виде пучка θ (или в виде минипучков $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ последовательно) попадает на отражающую поверхность зеркала Z .

Предположения 4:

- отражающая поверхность зеркала Z является плоской,
- отражающая поверхность зеркала Z постоянно перпендикулярна плоскости $O_0x_0y_0$,
- отражающая поверхность зеркала Z постоянно находится под углом α к оси y_0 ,
- световое излучение источника A в виде пучка θ попадает на зеркало Z в районе точки S ее отражающей поверхности,
- центр источника A , точка S зеркала Z и продольная ось пучка θ (и продольные оси минипучков $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$) находятся на одной линии, совпадающей с осью y_0 ;
- в инерциальной системе отсчета $O_0x_0y_0z_0$ зеркало Z движется поступательно в направлении от источника A со постоянной скоростью V , вектор которой параллелен оси y_0 или совпадает с ней;
- отражение световой энергии пучка θ (и минипучков $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$) от зеркала Z является полным.

В связи с тем, что зеркало Z движется со скоростью V и отражающая поверхность зеркала Z находится под углом α к линии, по которой движется световая энергия пучка θ , пучок θ не может отразиться от поверхности зеркала Z без структурных изменений, заключающихся в том, что от поверхности зеркала Z каждый из минипучков $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$, составляющих единое целое в виде пучка θ , отражается в отдельности последовательно.

Минипучки $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ после отражения от зеркала Z последовательно превращаются в минипучки $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ соответственно.

То есть, как показано на рис.2, под воздействием отражающей поверхности зеркала Z световой пучок θ разлагается на световые минипучки $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$.

В инерциальной системе отсчета $O_0x_0y_0z_0$ о минипучках $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ можно сказать следующее:

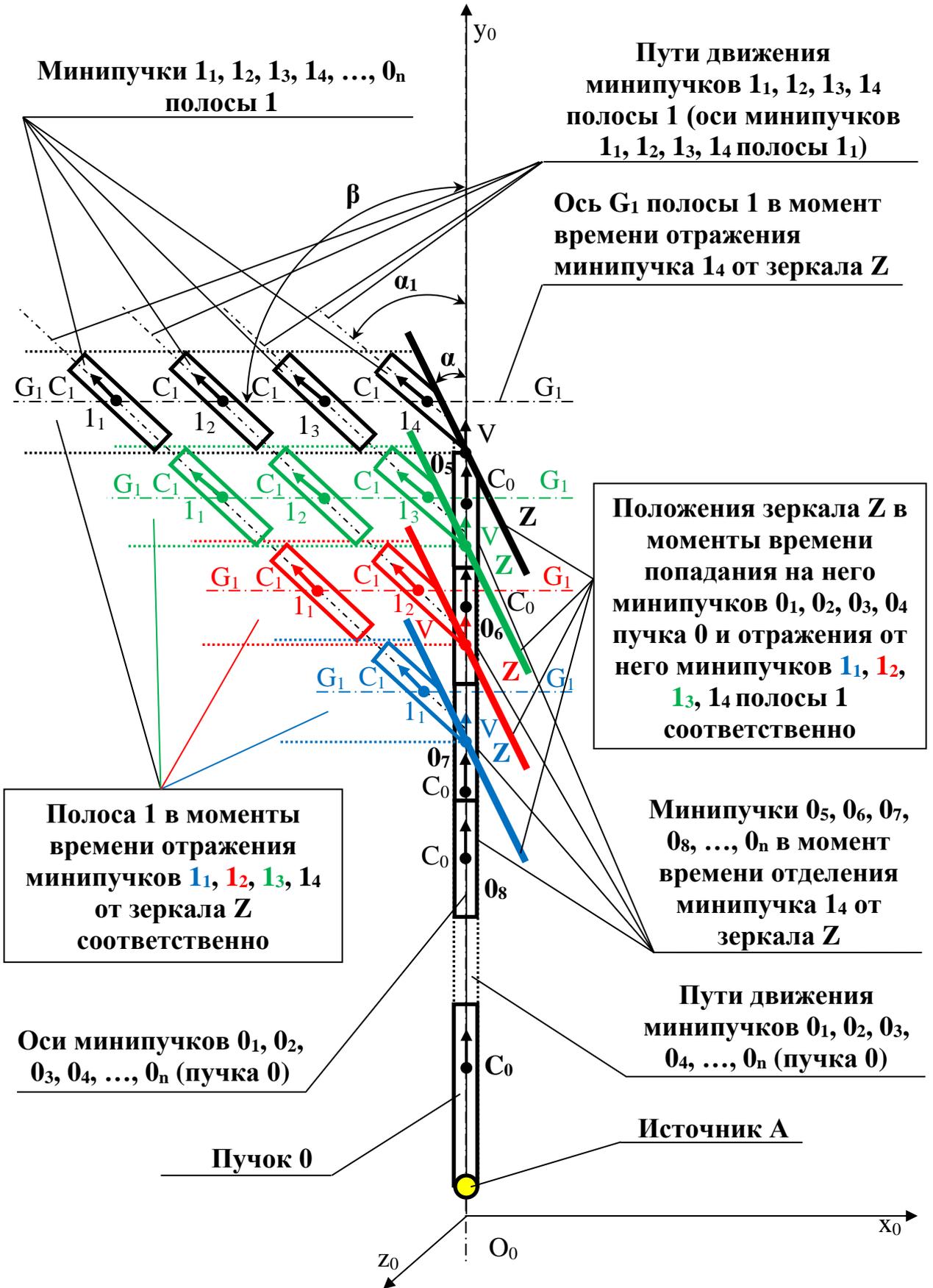


Рис.2

- все минипучки $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ одинаковы и не отличаются друг от друга, так как принято, что все минипучки $\mathbf{0}_1, \mathbf{0}_2, \mathbf{0}_3, \dots, \mathbf{0}_n$ одинаковы;
- световые энергии минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ движутся от точки \mathbf{S} зеркала \mathbf{Z} последовательно поступательно параллельно друг другу, с постоянной фазовой скоростью \mathbf{C}_1 , вектор которой составляет с осью \mathbf{y}_0 угол α_1 и однонаправлен по оси \mathbf{y}_0 ;
- угол α_1 зависит от величин угла α и скорости \mathbf{V} ,
- продольные оси всех минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ будут всегда параллельны друг другу и будут находиться под углом α_1 к оси \mathbf{y}_0 ;
- поперечное сечение каждого из минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ - круг с диаметром \mathbf{d}_1 ;
- световое излучение, отраженное от зеркала \mathbf{Z} , в виде любого из минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ происходит в течении интервала времени Δt_1 ,
- расстояние между продольными осями минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ зависит от величин угла α , скорости \mathbf{V} и интервала времени Δt_1 ;
- каждый из минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ имеет длину \mathbf{l}_1 (длина пространства, охваченного колебательным процессом),
- по аналогии с минипучками $\mathbf{0}_1, \mathbf{0}_2, \mathbf{0}_3, \dots, \mathbf{0}_n$ световая энергия, отраженная от зеркала \mathbf{Z} , в виде любого из минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ в течении интервала времени Δt_1 , заключена в пространстве, которое условно можно представить в виде цилиндра, движущегося со скоростью \mathbf{C}_1 , и имеющего диаметр \mathbf{d}_1 и длину \mathbf{l}_1 ;
- длина \mathbf{l}_1 не может быть меньше длины λ_1 световой волны, отраженной от зеркала \mathbf{Z} ;
- площадь волнового фронта каждого из минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ составляет порядка $\pi \mathbf{d}_1^2 / 4$ и может быть соизмерима с площадью его боковой поверхности, составляющей порядка $\pi \mathbf{d}_1 \mathbf{l}_1$;
- передний и задний волновой фронт и волновые поверхности каждого из минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ будут иметь размер порядка \mathbf{d}_1 и перемещаются

поступательно с постоянной скоростью C_1 , вектор которой составляет с оси y_0 угол α_1 и однонаправлен по оси y_0 ;

- центры всех минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ в любой момент времени будут находиться на одной линии \mathbf{G}_1 , составляющей угол β с осью y_0 ;

В инерциальной системе отсчета $O_0x_0y_0z_0$ все минипучки $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ после зеркала \mathbf{Z} движутся, как единое целое в виде полосы $\mathbf{1}$.

То есть после зеркала \mathbf{Z} световая энергия, излученная источником \mathbf{A} , будет двигаться в пространстве с постоянной скоростью C_1 , вектор которой составляет угол α_1 с оси y_0 и однонаправлен по оси y_0 , в виде полосы $\mathbf{1}$.

В инерциальной системе отсчета $O_0x_0y_0z_0$ о полосе $\mathbf{1}$, можно сказать следующее:

- полоса $\mathbf{1}$ представляет из себя узкий параллелепипед с длиной L_1 , шириной l_1 и продольной осью в виде линии \mathbf{G}_1 ,

- полоса $\mathbf{1}$ имеет длину, равную L_1 (от минипучка $\mathbf{1}_1$ до зеркала \mathbf{Z});

- величина длины L_1 полосы $\mathbf{1}$ зависит от величины длины L_0 пучка $\mathbf{0}$,

- ширину l_1 полосы $\mathbf{1}$ (как и у минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$) - длина пространства, охваченного колебательным процессом;

- продольная ось \mathbf{G}_1 полосы $\mathbf{1}$ будет всегда находится под углом β к оси y_0 ,

- расстояние между передним и задним волновыми фронтами полосы $\mathbf{1}$ - порядка $l_1 \sin(\beta - \alpha_1)$,

- толщина полосы $\mathbf{1}$ - порядка d_1 ,

- продольные оси всех минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ будут постоянно находятся под углом $(\beta - \alpha_1)$ к продольной оси \mathbf{G}_1 полосы $\mathbf{1}$;

- центры всех минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ в любой момент времени будут находиться на одной линии, совпадающей с продольной осью \mathbf{G}_1 полосы $\mathbf{1}$;

- волновой фронт, все волновые поверхности полосы $\mathbf{1}$ все время параллельны продольной оси \mathbf{G}_1 ;

- направление движения световой энергии минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ не

перпендикулярно плоскости волнового фронта и всем волновым поверхностям полосы $\mathbf{1}$, а находится к ним под углом $(\beta - \alpha_1)$;

- внутри полосы $\mathbf{1}$ одновременно каждый из минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ движется поступательно в направлении от зеркала \mathbf{Z} с постоянной скоростью C_1 , вектор которой составляет угол α_1 с оси y_0 ;

- волновой фронт и все волновые поверхности полосы $\mathbf{1}$ одновременно перемещаются поступательно с постоянной скоростью $C_1 \sin(\beta - \alpha_1)$ и смещаются параллельно себе (касательно своей плоскости) со скоростью $C_1 \cos(\beta - \alpha_1)$ в направлении от зеркала \mathbf{Z} .

Отличие пучка $\mathbf{0}$ от полосы $\mathbf{1}$ заключается в том, что минипучки $\mathbf{0}_1, \mathbf{0}_2, \mathbf{0}_3, \dots, \mathbf{0}_n$, составляющие пучок $\mathbf{0}$, находятся последовательно на одной линии, а минипучки $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$, составляющие полосу $\mathbf{1}$, находятся параллельно друг другу.

В итоге можно сказать, что под воздействием движущегося зеркала \mathbf{Z} световая энергия пучка $\mathbf{0}$ разложилась на световые энергии минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ полосы $\mathbf{1}$.

Причем возможен обратный процесс, превращения световых энергий минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ полосы $\mathbf{1}$ в световую энергию пучка, аналогичного пучку $\mathbf{0}$.

Световое излучение в виде полосы также может быть получено и без зеркала \mathbf{Z} при движении источника \mathbf{A} под некоторым углом к направлению, излучаемой им световой энергии.

4. Фазовые скорости перемещения волновых поверхностей световых излучений в виде пучка $\mathbf{0}$ и в виде любого из минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ полосы $\mathbf{1}$

Переменное электромагнитное поле распространяется в пространстве в виде волн, фазовая скорость v_f [2] которых равна:

$$v_f = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (1)$$

Где:

c – скорость движения электромагнитных волн в вакууме (скорость света в вакууме),

ϵ – безразмерная относительная диэлектрическая проницаемость среды, характеризующая ее электрические свойства и показывающая во сколько раз электрическое поле в среде изменяется по сравнению с электрическим полем в вакууме;

μ – безразмерная относительная магнитная проницаемость среды, характеризующая ее магнитные свойства и показывающая во сколько раз магнитное поле в среде изменяется по сравнению с магнитным полем в вакууме.

В вакууме $\epsilon = \mu = 1$.

В начале рассмотрения было сделано предположение о том, что световые энергии в пучке $\mathbf{0}$ и полосе $\mathbf{1}$ движутся в вакууме.

Исходя из этого предположения, можно отметить, что:

- фазовая скорость волны C в пучке $\mathbf{0}$ будет равна:

$$C = c \quad (2)$$

- фазовая скорость волны C_1 в любом из минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ полосы $\mathbf{1}$ будет равна:

$$C_1 = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (3)$$

Так как пучок $\mathbf{0}$ – одиночный, а минипучки $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$, расположенные параллельно в полосе $\mathbf{1}$, будут находиться под взаимным влиянием, которое может изменить электрические и магнитные свойства окружающей среды.

В итоге получается, что фазовая скорость волны C в пучке $\mathbf{0}$ и фазовая скорость волны C_1 в любом из минипучков $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$ полосы $\mathbf{1}$ не обязательно должны иметь одинаковые значения.

5. Заключение

В статье на примере перегруппирования отдельных элементов узконаправленного пучка монохроматического светового излучения при отражении этого пучка от зеркальной поверхности был рассмотрен процесс разложения электромагнитного излучения пучка на составляющие в виде полосы электромагнитного излучения.

Было показано, что:

- световое излучение пучка,двигающееся в пространстве последовательно вдоль одной линии, может быть превращено в световое излучение,двигающееся параллельно узкой полосой под некоторым углом к этой полосе;

- фазовые скорости световых волн в пучке и полосе могут иметь разные значения даже в вакууме.

Процесс превращения пучка светового излучения в полосу светового излучения может быть использован для оценки результатов экспериментов Майкельсона-Морли.

Список литературы

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики (2-е издание). М.: Наука, 1973.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. Том 3. Волновые процессы. Оптика. Атомная и ядерная физика (3-е издание). М.: Высшая школа, 1979.
3. Савельев И.В. Курс общей физики, том 3. Оптика. Атомная физика. М.: Наука, 1971.
4. Путилов К.А., Фабрикант В.А. Курс физики. Том 3. Оптика. Атомная физика. Ядерная физика (2-е издание). М.: ГИФМЛ, 1963.
5. Матвеев А.Н. Оптика, М.: Высшая школа, 1985.

Автор

В.Н. Кочетков