

# ПРОЦЕСС ПРЕВРАЩЕНИЯ ПУЧКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПОЛОСУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Кочетков Виктор Николаевич

[ViktKochetkov@yandex.ru](mailto:ViktKochetkov@yandex.ru)

[vnkochetkov@gmail.com](mailto:vnkochetkov@gmail.com)

[vnkochetkov@rambler.ru](mailto: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  $\theta$  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  $O_0x_0y_0z_0$ ,

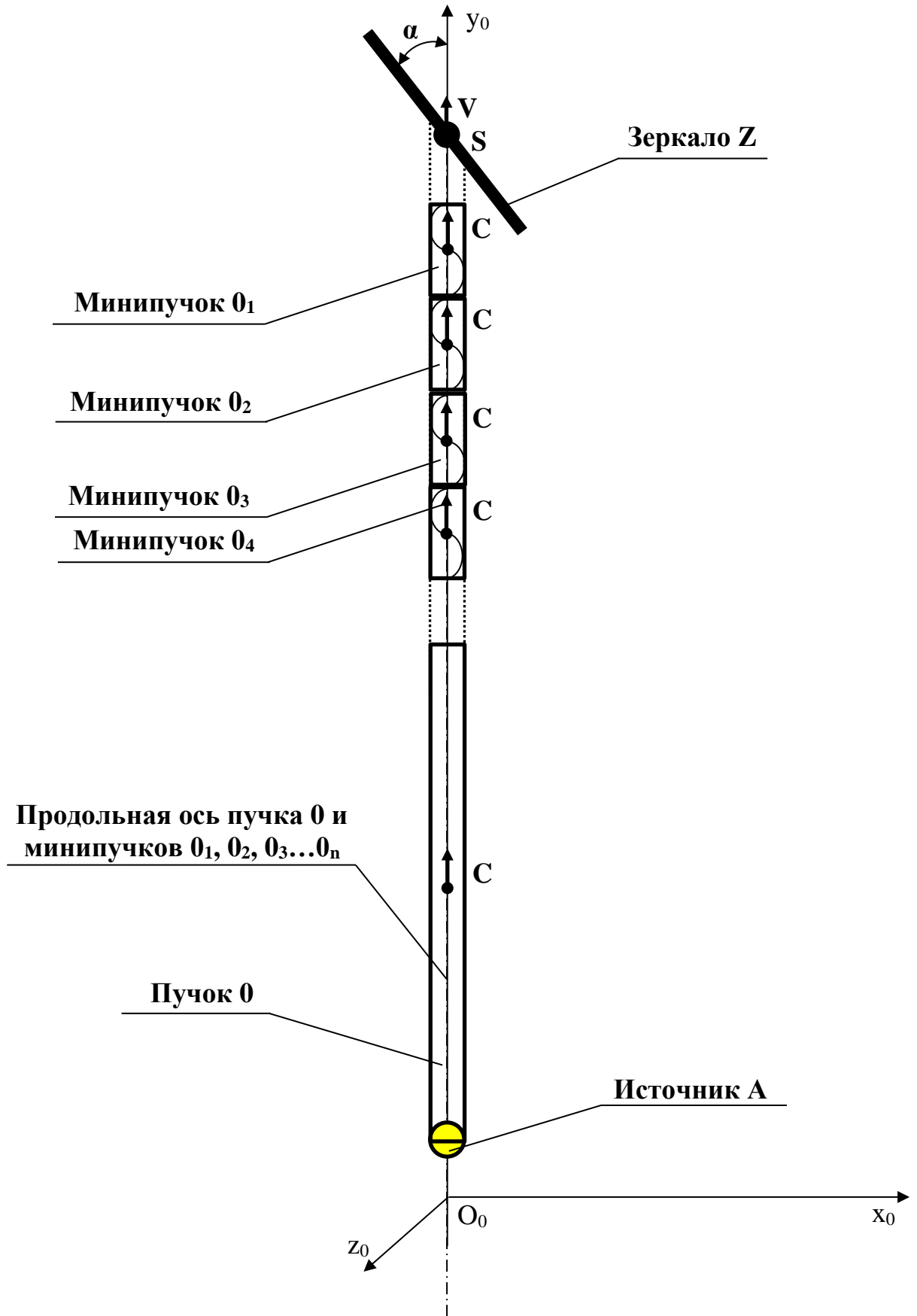


Рис.1

- 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  $\Theta$ ,

- пучок  $\Theta$  имеет минимально возможное поперечное сечение в виде круга с диаметром  $d_0$ ,

- световое излучение источника  $A$  в виде пучка  $\Theta$  происходит в течении интервала времени  $\Delta T_0$ ,

- пучок  $\Theta$  имеет длину  $L_0$  (длина пространства, охваченного колебательным процессом),

- световая энергия, излученная источником  $A$  в виде пучка  $\Theta$  в течении интервала времени  $\Delta T_0$ , 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  $\Theta$  светового излучения всегда находится в плоскости  $O_0x_0y_0$  и совпадает с осью  $y_0$ ,

- длина  $L_0$  несоизмерима больше длины  $\lambda_0$  световой волны, излучаемой источником  $A$ ;

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

Учитывая то, что длина  $L_0$  несоизмерима больше длины  $\lambda_0$  световой волны, излучаемой источником  $A$ , в поперечном направлении пучок  $\Theta$  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  $\Theta$  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  $\theta_1$ , 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  $\theta$ ;
- 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  $\Delta t_0$ ;
- 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  $\Delta t_0$ , 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  $\lambda_0$  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  $\theta$  (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  $\alpha$  к оси  $y_0$ ,
- световое излучение источника  $A$  в виде пучка  $\theta$  попадает на зеркало  $Z$  в районе точки  $S$  ее отражающей поверхности,
- центр источника  $A$ , точка  $S$  зеркала  $Z$  и продольная ось пучка  $\theta$  (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  $\theta$  (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  $\alpha$  к линии, по которой движется световая энергия пучка  $\theta$ , пучок  $\theta$  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  $\theta$ , 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  $\theta$  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:

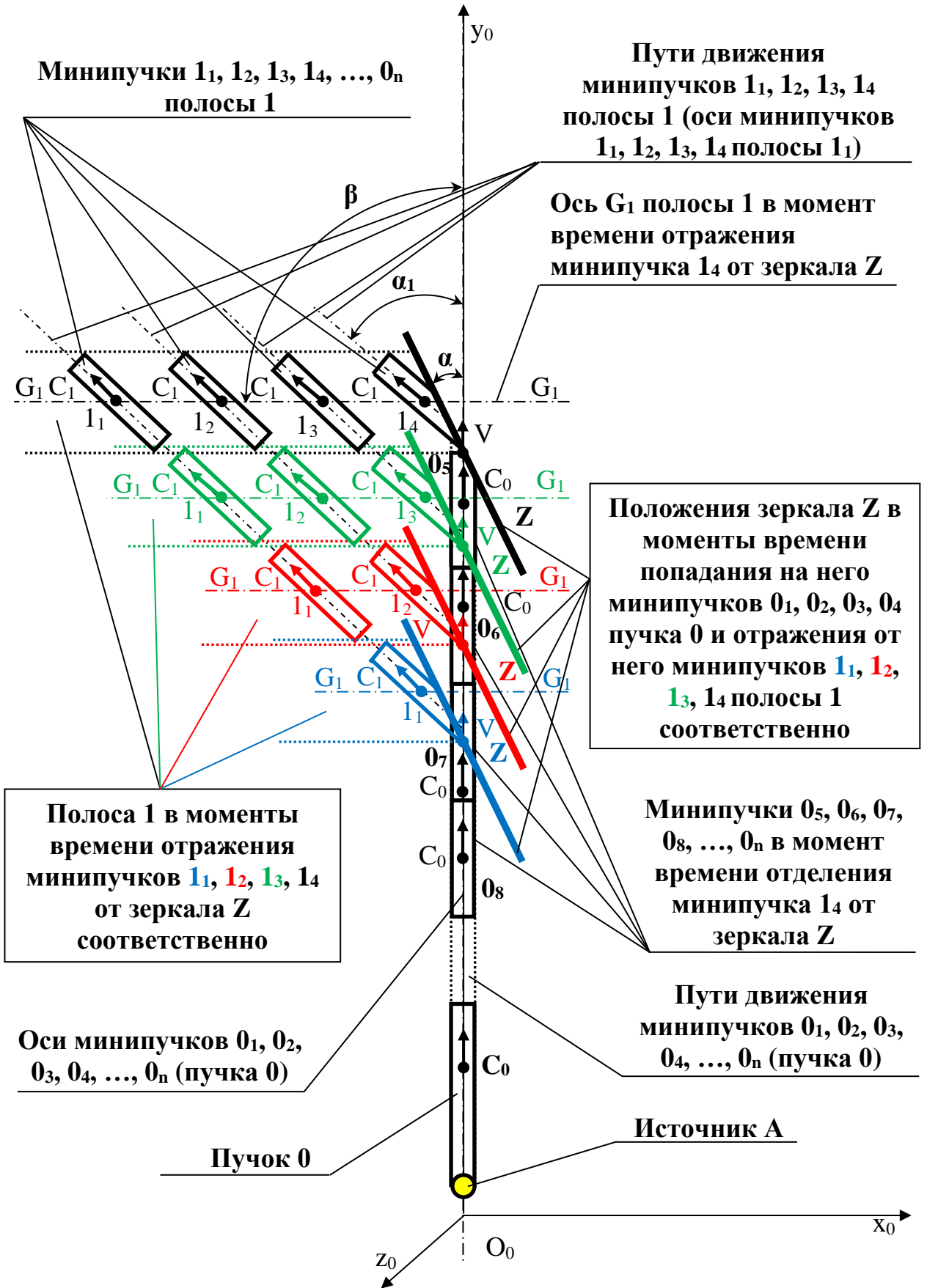


Рис.2



- 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  $\alpha_1$  и однонаправлен по оси  $\mathbf{y}_0$ ;
- угол  $\alpha_1$  зависит от величин угла  $\alpha$  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  $\alpha_1$  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  $\Delta t_1$ ,
- расстояние между продольными осями минипучков  $\mathbf{1}_1, \mathbf{1}_2, \mathbf{1}_3, \dots, \mathbf{1}_n$  зависит от величин угла  $\alpha$ , скорости  $\mathbf{V}$  и интервала времени  $\Delta t_1$ ;
- 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  $\Delta t_1$ , 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  $\lambda_1$  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  $\alpha_1$  и однонаправлен по оси  $y_0$ ;

- центры всех минипучков  $1_1, 1_2, 1_3, \dots, 1_n$  в любой момент времени будут находиться на одной линии  $G_1$ , составляющей угол  $\beta$  с осью  $y_0$ ;

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

То есть после зеркала  $Z$  световая энергия, излученная источником  $A$ , будет двигаться в пространстве с постоянной скоростью  $C_1$ , вектор которой составляет угол  $\alpha_1$  с оси  $y_0$  и однонаправлен по оси  $y_0$ , в виде полосы  $1$ .

В инерциальной системе отсчета  $O_0x_0y_0z_0$  о полосе  $1$ , можно сказать следующее:

- полоса  $1$  представляет из себя узкий параллелепипед с длиной  $L_1$ , шириной  $l_1$  и продольной осью в виде линии  $G_1$ ,

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

- величина длины  $L_1$  полосы  $1$  зависит от величины длины  $L_0$  пучка  $0$ ,

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

- продольная ось  $G_1$  полосы  $1$  будет всегда находится под углом  $\beta$  к оси  $y_0$ ,

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

- толщина полосы  $1$  - порядка  $d_1$ ,

- продольные оси всех минипучков  $1_1, 1_2, 1_3, \dots, 1_n$  будут постоянно находятся под углом  $(\beta - \alpha_1)$  к продольной оси  $G_1$  полосы  $1$ ;

- центры всех минипучков  $1_1, 1_2, 1_3, \dots, 1_n$  в любой момент времени будут находиться на одной линии, совпадающей с продольной осью  $G_1$  полосы  $1$ ;

- волновой фронт, все волновые поверхности полосы  $1$  все время параллельны продольной оси  $G_1$ ;

- направление движения световой энергии минипучков  $1_1, 1_2, 1_3, \dots, 1_n$  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  $\alpha_1$  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),

$\epsilon$  – 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;

$\mu$  – 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