

Ю. К. МЕЛИК-АЛАВЕРДЯН, А. Н. ФРАДКИН

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО АСТРОНОМИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Впервые о применении в астрономии преобразователя частоты сообщалось в работе [1]. Одним из важнейших параметров такого преобразователя является эффективность преобразования, которая зависит от многих факторов: от типа используемого нелинейного кристалла и его длины, мощности лазерной накачки, особенностей полей лазерной волны и волны инфракрасного излучения. Детальный расчет эффективности преобразования для случая взаимодействия излучений двух лазеров выполнен в [2], где показано, что существует некоторая оптимальная фокусировка, при которой эффективность преобразования максимальна. Развита в [2] теория не может быть применена к астрономическому преобразователю, так как в фокусе телескопа расходимость преобразуемого инфракрасного излучения определяется не дифракцией, а, главным образом, турбулентностью атмосферы [3]. В настоящей работе выполнен расчет эффективности преобразования именно для данного случая. Использовано приближение гауссовской плоской волны [4], т. е. принято, что электрическое поле сфокусированных в область взаимодействия волн описывается выражением:

$$E(r, z) = E_0 \frac{\exp \left\{ -r^2 \left[\frac{1}{w^2(1 + \xi^2)} \right] \right\}}{\sqrt{1 + \xi^2}}, \quad (1)$$

где E_0 — амплитуда, $\xi = \frac{2z}{b}$, w — перетяжка пучка в фокусе, r — расстояние от оси пучка, b — так называемый конфокальный параметр, который будет определен ниже.

Согласно теории нелинейного преобразования, напряженность поля на суммарной частоте для случая взаимодействия обыкновенных волн равна [5]:

$$E_3 = -i \frac{8\pi w_3^2 d}{k_3 c^3} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} E_1(r, z) E_2(r, z) \exp \left[i(k_3 - k_2 - k_1)z \right] dz, \quad (2)$$

где d — нелинейная восприимчивость кристалла, k — волновые числа, L — длина кристалла, а $\frac{1}{\omega_3^2} = \frac{1}{\omega_2^2} + \frac{1}{\omega_1^2}$, причем индекс 1 относится к преобразуемому инфракрасному излучению, 2 — к излучению накачки, 3 — к излучению на суммарной частоте.

Подставляя (1) в (2), найдем для случая фазового согласования ($k_3 = k_1 + k_2$) напряженность электрического поля суммарной волны:

$$E_3 = -i \frac{16\pi \omega_3^2 d}{k_3 c^2} E_{01} E_{02} \int_0^{\frac{L}{2}} \exp \left\{ -r^2 \left[\frac{1}{\omega_1^2(1+\xi_1^2)} + \frac{1}{\omega_2^2(1+\xi_2^2)} \right] \right\} \frac{1}{\sqrt{(1+\xi_1^2)} \sqrt{(1+\xi_2^2)}} dz. \quad (3)$$

Переходя от напряженности электрического поля E к мощности излучения P и принимая во внимание, что $P_1 = S_1 D^2$, где D — входная апертура телескопа, а S_1 — плотность потока преобразуемого инфракрасного излучения, находим мощность преобразованного излучения:

$$P_2 = \frac{cn_2}{2\pi} |E_3|^2 = \frac{1638\pi^4 d^2 S_1 P_1 D^2}{n_1 n_2 n_3 c \lambda_3^2 \omega_1^2 \omega_2^2} \int_0^{\frac{L}{2}} dr^2 \left[\int_0^{\frac{L}{2}} \exp \left\{ -r^2 \left[\frac{1}{\omega_1^2(1+\xi_1^2)} + \frac{1}{\omega_2^2(1+\xi_2^2)} \right] \right\} \frac{1}{\sqrt{(1+\xi_1^2)} \sqrt{(1+\xi_2^2)}} dr \right]^2 \quad (4)$$

где n — показатель преломления кристалла.

Учитывая, что конфокальный параметр $b_2 = \frac{\omega_2^2}{\lambda_2}$ излучения накачки обычно больше длины кристалла, примем в дальнейшем $1 + \xi_2 = 1$. Конфокальный параметр инфракрасного излучения, определяемый как расстояние, на котором фокальная перетяжка удваивается, вычисляется по формуле:

$$b_1 = \frac{\omega_1^2}{D \tan \alpha}, \quad (5)$$

где α — угловой размер изображения звезды, определяемый обычно турбулентностью атмосферы.

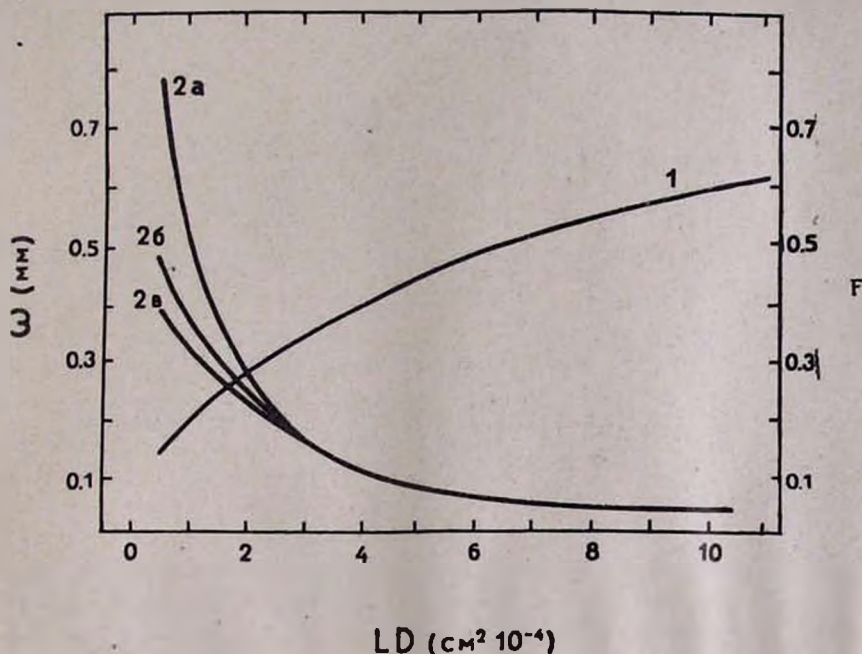
Нетрудно убедиться в том, что эффективность преобразования зависит не от длины кристалла L и диаметра телескопа D в отдельности, а от их произведения LD . Для этого произведем в (4) замену переменной $\frac{2z}{L} \rightarrow x$, и в результате получим:

$$P_3 = \frac{4096\pi^4 d^2 S_1 P_2 L^2 D^2}{n_1 n_2 n_3 c i_s^2} F(w_1, w_2, LD), \quad (6)$$

где функция $F(w_1, w_2, LD)$ представляет собой интеграл:

$$F(w_1, w_2, LD) = \int_0^\infty dr^2 \left[\int_0^1 \frac{\exp\left\{-r^2 \left[\frac{1}{w_1^2 \left(1 + \frac{L^2 D^2 x^2 t g^2 \alpha}{w_1^4}\right)} + \frac{1}{w_2^2} \right]\right\}}{\sqrt{1 + \frac{L^2 D^2 x^2 t g^2 \alpha}{w_1^4}}} dx \right]^2 \quad (7)$$

Значения функции $F(w_1, w_2, LD)$ вычислялись с помощью вычислительной машины ЕС 1030. Эти расчеты показали, что эффективность преобразования инфракрасного излучения в видимый диапазон монохромно увеличивается с уменьшением w_2 по крайней мере для представляющих практический интерес значений $w_2 \geq 0,1$ мм.



Зависимость оптимального значения w_1 от LD , 2а, 2б, 2в—зависимости $F(LD, w_2)$ для оптимального значения w_1 при $w_2=0.1, 0.2$ и 0.3 мм соответственно.

Зависимость F от w_1 имеет максимум, положение которого зависит от параметра LD и почти не зависит от w_2 . Зависимость этого оптимального значения w_1 от параметра LD приводится на рисунке. На этом же рисунке показана зависимость F от w_2 и LD для оптимального значения w_1 .

Сопоставляя приведенные на рисунке кривые с формулой (6), трудно видеть, что максимальный сигнал, который можно получить преобразованием излучения источника с данной плотностью потока S при $LO \approx 5 \cdot 10^4 \text{ см}^2$, не зависит от ω_2 и увеличивается с увеличением длины кристалла L примерно как L^2 . С увеличением входной апертуры телескопа этот сигнал увеличивается примерно как D^2 . При меньших значениях LD преобразованный сигнал P_2 хоть и увеличивается с L и D , но медленнее. Например, при $\omega_2 = 0,1 \text{ мм}$ и $LD \approx 10^4 \text{ см}^2$ $P_2 \sim LD$.

Приведенные в настоящей работе соотношения дают возможность подобрать оптимальную для данного телескопа и имеющегося кристалла схему преобразования, а также оценить ожидаемую эффективность преобразования и величину преобразованного сигнала.

ՅՈՒ. Կ. ՄԵԼԻԿ-ԱԼԱՎԵՐԴՅԱՆ, Ա. Ն. ՖՐԱԴԿԻՆ

ՀԱՃԱԽԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԱՆ ԶԵՎԱՓՈԽԻՉԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ՀԱՇՎԱՐԿ
Ա մ փ ո փ ու մ

Հոդվածում կատարված է դիտակի կիրառված ինֆրակարմիր ղեպի տեսանելի տիրույթը ձևափոխման էֆեկտիվության հաշվարկ:

Ստացված առնչությունները հնարավորություն են տալիս տվյալ դիտակի և ոչ գծային բյուրեղի դեպքում ընտրել օպտիմալ ձևափոխման սխեմա, հաշվել փոխակերպման սպասվելիք էֆեկտիվությունը և ձևափոխված աղ-դանշանի մեծությունը:

YU. K. MELIK-ALAVERDIAN, A. N. FRADKIN

THE CALCULATION OF OPTIMAL ASTRONOMICAL UP-CONVERTOR

Summary

The efficiency of OOE conversion in the telescope focus of Infrared radiation into visible optical region is calculated. Provided correlations allows to choose for given telescope and nonlinear crystal the optimal scheme of conversion and to calculate the efficiency of conversion and the value of transformed signal.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. A. Smith, H. Mahr, IQEC Japan, 10, 82, 1970.
2. G. O. Boyd, O. A. Kleinmann, J. Appl. Phys., 39, 3597, 1968.
3. Д. Я. Мартынов, Курс практической астрофизики, М., «Ф.—М.», 1960.
4. А. М. Гончаренко, Гауссовы пучки света. Минск, «Н. и Т.», 1977.
5. J. A. Armstrong, N. Bloembergen Phys. Rev. 127, 1918, 1960.