

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P13-86-517

С. А. Писарева

**ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ПРИЕМА
ГРАВИТАЦИОННОЙ ВОЛНЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИ МОДУЛИРОВАННОГО
ПЛАНАРНОГО ВОЛНОВОДА**

1986

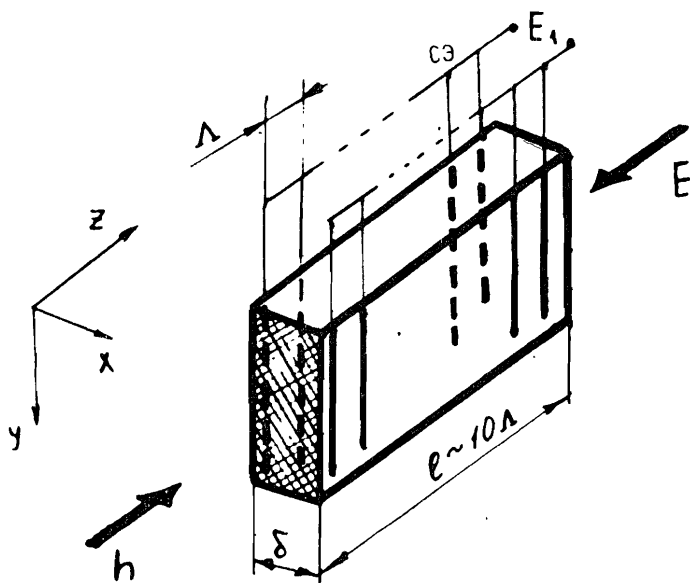
В сообщении /1/ отмечалась возможность приема гравитационной волны в двухволновом параметрическом процессе в планарном волноводе с геометрическим гофрированием поперечных размеров. В настоящей работе этот способ используется для случая волновода с электрооптическим модулированием параметров /2/. Схема приема изображена на рисунке, где h - падающая гармоническая гравитационная волна с частотой ω_1 ; E - электромагнитная волна с частотой ω_2 , индуцируемая гравитационной волной; СЭ - система электродов с периодом Λ и волновым вектором $k_0 = 2\pi/\Lambda$; E_1 - постоянное электрическое поле, направленное вдоль оси X и приближенно модулированное по закону

$$E_1 = E_{10} (\hat{i} + \cos k_0 z). \quad /1/$$

Примем, что гравитационная волна задается компонентами

$$h_{kl} = h_{xx} = -h_{yy} = \frac{1}{2} h e^{i(\omega_1 t - k_1 z)} + \text{к. с.}, \quad /2/$$

где волновой вектор $k_1 = \omega_1/c$, c - скорость света в вакууме.



Принципиальная схема детектора гравитационной волны в СВЧ-диапазоне на основе электрически "гофрированного" волновода. СЭ - система электродов; E_1 - постоянное поле "гофрирования".

Гравитационная волна, деформируя волновод, индуцирует в нем нелинейную поляризацию /3, с. 15; 4/:

$$P_i = N_{ijkl} E_j S_{kl}, \quad /3/$$

где N_{ijkl} - тензор электрострикции; S_{kl} - тензор деформации.

Будем считать далее, что оси координат совмещены с кристаллографическими осями и компонента тензора $N_{1xxx} = N$ имеет максимальное значение. Деформация волновода $S_{kl} = \alpha h_{kl}$. При условии, что толщина волновода δ удовлетворяет условию первого резонанса упругих колебаний с частотой гравитационной волны, коэффициент пропорциональности $\alpha \approx Q$, где Q - добротность механических колебаний.

При этих условиях /3/ примет вид /индексы опускаем/:

$$P = \frac{NQ E_{10} h}{4} \exp i[\omega_1 t + (-k_1 \pm k_0) z] + \text{к.с.} \quad /4/$$

Поляризация P генерирует в волноводе электромагнитную волну:

$$E = \frac{1}{2} E(z, t) e^{i(\omega_2 t + k_2 z)} + \text{к.с.}, \quad /5/$$

где волновой вектор $k_2 = \omega_2 n / c$; n - эффективный показатель преломления волновода.

Из структуры /4/ и /5/ видно, как связаны частоты и волновые векторы волн:

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega; \quad k_2 = -k_1 \pm k_0. \quad /6/$$

Эти соотношения являются условиями волнового синхронизма.

По пути взаимодействия гравитационная волна практически постоянна по амплитуде. Эволюция поля описывается одномерным волновым уравнением Максвелла:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial z^2} - \frac{\epsilon}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = \frac{4\pi}{c^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2}. \quad /7/$$

После подстановки /4/ и /5/ в /7/ и укорочения получим:

$$\frac{\partial E}{\partial z} - \frac{\sqrt{\epsilon}}{c} \frac{\partial E}{\partial t} = \frac{i\pi Q N E_{10} \omega h}{c\sqrt{\epsilon}} e^{i \cdot \Delta k \cdot z}. \quad /8/$$

В случае установившегося когерентного процесса ($\Delta k = k_0 + k_1 - k_2 = 0$)^{*} укороченное уравнение принимает вид

^{*}Здесь мы не учли возмущение фазы, привносимое звуковой волной, считая его малым. При необходимости оно может быть строго учтено путем введения уравнения для звука.

$$\frac{dE}{dz} = \frac{i\pi Q N E_{10} \omega h}{c\sqrt{\epsilon}} \quad /9/$$

и при граничном условии $E(z = \ell) = 0$ имеет решение

$$E = \frac{\pi Q N E_{10} \omega h}{c\sqrt{\epsilon}} (z - \ell). \quad /10/$$

Сделаем оценку мощности гравитационной волны, которая может быть зарегистрирована изложенным методом. Примем для волновода из ниобата лития $N \approx 5 \cdot 10^6$; $Q \approx 10^7$; $\epsilon = 30$; поле модуляции $E_{10} = 10^4$ ГЭСЗ; рабочая длина детектора порядка $\ell = 10 \text{ А} \approx 6 \cdot 10^3 \text{ см}$. Примем также, что минимальный поток электромагнитного сигнала, регистрируемого в СВЧ-диапазоне, составляет $\sim 10^{-19}$ эрг·с⁻¹, т.е. напряженность поля в сигнале $\sim 10^{-19}$ ГЭСЗ.

При этих предположениях пороговая величина h составит:

$$h \approx 2 \cdot 10^{-29}, \quad \text{что соответствует потоку } t^{oz} = \frac{c^3 \omega_1^2 h^2}{32\pi G} =$$

$$= 3 \cdot 10^{-6} \text{ эрг.см}^{-2} \text{ с}^{-1}.$$

Подчеркнем, что данная чувствительность приема может быть улучшена путем пропускания гравитационной волны последовательно через несколько идентичных детекторов и подачи сигналов на общую схему фазового совпадения.

Чувствительность может быть также увеличена при усилении сигнальной волны непосредственно в волноводе с коэффициентом усиления $\Gamma > 0$. В этом случае уравнение /9/ и выражение для пороговой величины h имеют соответственно вид:

$$\frac{dE}{dz} + \Gamma E = \frac{i\pi Q N E_{10} \omega h}{c\sqrt{\epsilon}}; \quad h = \frac{E c\sqrt{\epsilon}}{\pi Q N E_{10} \omega \Gamma} \cdot e^{-\Gamma \ell}.$$

Из приведенных результатов видно, что двухволновой параметрический процесс в планарном электрооптически модулированном волноводе может обеспечить достаточно высокую чувствительность детектирования гравитационной волны в СВЧ-диапазоне. Разумеется, для строгой численной оценки чувствительности данного детектора следует проанализировать уровень шумов во всех узлах приемника и уточнить допустимое значение поля модуляции E_0 и величину добротности Q .

ЛИТЕРАТУРА

1. Акишин П.Г. и др. ОИЯИ, 13-85-968, Дубна, 1985.
2. Ярив А. Квантовая электроника. "Сов.радио", М., 1980, с.422.

3. Нелинейные акустоэлектронные устройства и их применение.
"Радио и связь" (под ред. В.С. Бондаренко), М., 1985.

Писарева С.А.

P13-86-517

Об одном способе приема гравитационной волны
с использованием электрооптически модулированного
планарного волновода

Рассматривается метод приема гравитационной волны путем трансформации ее в электромагнитную волну с помощью планарного волновода, "гофрированного" внешним периодическим постоянным электрическим полем. Показано, что этим методом можно надежно зарегистрировать гармоническую гравитационную волну в СВЧ-диапазоне малой мощности.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С. Виноградовой

Pisareva S.A.

P13-86-517

On a Gravitational Wave Reception Technique
Using a Planar Waveguide with Electro-Optical
Modulation

Reception of a gravitational wave by transforming it into an electromagnetic wave with the help of a planar waveguide, "crimped" by the external periodic constant electric field is analysed. The technique is shown to allow reliable detection of a harmonic gravitational wave in the low-power VHF range.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986

Рукопись поступила в издательский отдел
23 июля 1986 года.