

*Письма в ЖЭТФ, том 13, стр. 546 – 549*

*20 мая 1971 г.*

**ВОЗБУЖДЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН  
ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ЧЕРЕЗ МЕТАЛЛ**

*И. А. Боршковский, В. Д. Воловик, И. А. Гришаев,  
Г. П. Дубовик, И. И. Залюбовский, В. В. Петренко*

Аскарьян предсказал [1] излучение ультразвуковых волн при прохождении заряженных частиц через жидкости, отметив, что подобное излучение должно иметь место в твердых телах и сжатых газах, но его интенсивность будет значительно меньше, чем в жидкостях.

Каганов и др. [2] указали, что взаимодействие между электронами и решеткой для электронов, имеющих скорость, большую скорости распространения звука в среде, приводит к "чиренковскому" излучению фононов.

Бирон и Хоффстадтер [3] экспериментально обнаружили механические колебания, возникающие в керамических пьезодатчиках при прохождении сквозь них релятивистских электронов с  $E_0 = 1 \text{ Гэв}$ .

На электронном ускорителе ФТИ АН УССР с  $E_0 = 300 \text{ Мэв}$  были поставлены опыты с целью обнаружения ультразвуковых колебаний в твердых телах, возбуждаемых проходящими электронами. Пучок электронов падал нормально в центр пластины, выполненной из исследуемого материала и имеющей размеры  $50 \times 10 \times h \text{ см}^3$ , где толщина  $h$  изменялась в процессе эксперимента. На одном конце пластины был укреплен детектор ультразвуковых колебаний, выполненный из пластин сегнетовой соли и работающий на частоте  $65 \text{ кц}$ . Пластина вместе с детектором и предусилителем помещалась в акустический и электрический экраны. С каскадного эмиттерного повторителя предусилителя сигнал передавался по коаксиальному кабелю на согласованный аттенюатор и оконечный резонансный усилитель. Амплитуда сигнала регистрировалась на экране осциллографа ИО-4, ждущая развертка которого запускалась синхроимпульсом ускорителя. Полоса пропускания всего детектирующего тракта составляла  $\Delta f = 4 \text{ кц}$ . Чувствительность детектирующего тракта позволяла измерять смещения  $\Delta \lambda \approx 10^{-12} \text{ см}$  при двухкратном удалении амплитуды сигнала от уровня шумов предусилителя.

В эксперименте регистрировалась амплитуда  $U$  электрического сигнала с детектора ультразвука и величина среднего тока усилителя. Величина силы звука подсчитывалась по формуле

$$J = \frac{U^2}{R_s S}, \quad (1),$$

где  $R_s = 1,88 \cdot 10^1 \Omega$  – "акустическое" сопротивление детектора и пластины из исследуемого материала,  $S$  – площадь детектора ультразвука.

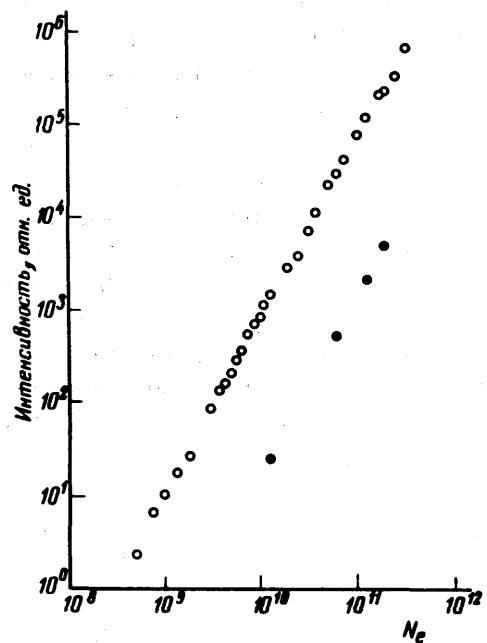
На рисунке показана зависимость силы ультразвука в пластинах дюралюминия толщиной  $h = 1 \text{ см}$  и  $h = 0,2 \text{ см}$  от полного числа электронов, проходящих в токовой посылке ускорителя (на уровне  $0,1$  длительность посылки  $t \approx 1,75 \text{ мксек}$ ) через исследуемые пластины. Амплитуда сигнала прямо пропорциональна числу частиц в посылке, поэтому сила звука (или энергия ультразвука) пропорциональна квадрату числа частиц (см. формулу (1)) в посылке, т. е.  $J \sim N^2$ .

Эксперименты, проведенные с разными толщинами одного и того же материала (дюралюминия), показали, что амплитуда сигнала примерно пропорциональна толщине материала  $h$ . Амплитуда сигнала  $U$  была одинаковой в опытах с электронами с энергией  $80$  и  $225 \text{ Мэв}$ . При изменении плотности тока в  $20$  раз (за счет изменения диаметра пучка) не бы-

ло замечено изменения амплитуды сигнала  $U$  при одном и том же числе электронов в импульсе.

В наших опытах соблюдалось условие  $h \ll t$  (где  $t$  – радиационная единица длины), поэтому основным процессом, приводящим к передаче энергии электронов пучка металлу, вероятно, являются ионизационные потери.

Таким образом, амплитуда возбужденных ультразвуковых волн в металле зависит от числа частиц в импульсе, толщины образца и не зависит от энергии частиц и плотности тока. Доля энергии, переданная ультразвуковой волне в наших условиях изменяется от  $\sim 3 \cdot 10^{-15}$  при  $N_e = 5 \cdot 10^8$  частиц до  $\sim 1,6 \cdot 10^{-12}$  при  $N_e = 2,5 \cdot 10^{11}$  частиц, что отличается от данных, приведенных в работе Бирона и Хоффштадтера [3]. У них эта величина равна  $2 \cdot 10^{-10}$ .



Зависимость интенсивности ультразвуковых колебаний ( $J$ ), возникающих при прохождении электронов через пластину дюралюминия, от полного числа электронов ( $N_e$ ). Светлые точки – данные эксперимента на пластине толщиной  $h = 1 \text{ см}$ , темные –  $0,2 \text{ см}$

Полученные данные могут быть использованы для оценок уровня сигнала, возбуждаемого  $\mu$ -ливнями в опытах Вебера [4]. Для этого экстраполируем данные рисунка в область малого числа  $\mu$ -мезонов, заметив при этом, что ионизационные потери  $\mu$ -мезонов вдвое меньше, чем электронов

$$J \approx 8,1 \cdot 10^{-31} N_\mu^2 (h)^2. \quad (2)$$

Наиболее чувствительный гравитационный детектор Вебера [4], имеющий пороговую чувствительность  $J \approx 10^{-21} \text{ атт/см}^2$ , может запускаться ствольной частью космических ливней, возникающих от первичных космических частиц с энергией  $E_0 \gtrsim 5 \cdot 10^{14} \text{ эв}$ , интенсивность которых  $\sim 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{стер}^{-1}$  [5]. Изолированные детекторы

Вебера должны регистрировать сигналы от ливней космических лучей. Однако, учитя разрешающее время детекторов  $\sim 0,3$  сек [4] и полагая, что детекторы могли бы регистрировать лишь случайно совпавшие ливни, мы приходим к выводу, что случайные совпадения импульсов от двух детекторов Вебера от  $\mu$ -мезонов широких атмосферных ливней с  $E_e \geq 5 \cdot 10^{14}$  эв происходят с частотой не более  $10^{-3}$  лет $^{-1}$ .

Таким образом, в опыте Вебера, вероятно, практически не регистрируются ливни космических лучей.

В заключение мы благодарны Г.А.Аскарьяну, Е.С.Шматко за ценные дискуссии, В.И.Кобизскому, Г.Л.Фурсову, Н.И.Мочешникову, Г.Н.Стрелкову за постоянную помощь. Авторы признательны персоналу ускорителя ФТИ АН УССР, проявившему заботу и гостеприимство.

Харьковский  
государственный университет  
им. А.М.Горького

Поступила в редакцию  
15 апреля 1971 г.

#### Литература

- [1] Г.А.Аскарьян. Атомная энергия, 8, 152, 1957.
  - [2] М.И.Каганов, И.М.Лифшиц, Л.В.Танатаров. ЖЭТФ, 31, 232, 1956.
  - [3] B.L.Bergen, R.Hofstadter. Phys. Rev. Lett., 23, 184, 1969.
  - [4] J.Weber. Phys. Rev. Lett., 20, 1307, 1968.
  - [5] Ю.Н.Вавилов, О.И.Довженко и др. Труды ФИАН, 17, 26, 1964.
-