

УДК 539.89+535-34

ФИЗИКА

Л. И. СЛАБКИЙ, Л. А. ОДНОВОЛ, В. П. КОЗЕНКО

О РЕНТГЕНОВСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ, ВОЗНИКАЮЩЕМ ПРИ СОУДАРЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ

(Представлено академиком А. А. Благовраховым 22 VI 1972)

Известно, что разрушение твердых тел в некоторых случаях сопровождается возникновением свечения ⁽¹⁾, излучением в радиодиапазоне ⁽²⁾ и другими эффектами ⁽³⁾. В работе ⁽⁴⁾ обнаружен и описан эффект радиации, возникающей при взрыве статически нагруженных твердых кристаллических диэлектриков. В частности, было обнаружено локальное потемнение фотопленки в виде отдельных, хаотически расположенных пятен, появление которых обусловлено, по мнению автора, воздействием жесткого ($E \geq 25$ кэв) рентгеновского излучения.

Нами наблюдалось возникновение мягкого рентгеновского излучения, сопровождающего процесс высокоскоростного соударения двух металлических тел в вакууме с начальным давлением $p_0 \approx 10^{-1}$ мм рт.ст. при скоростях относительного сближения $\sim 5-5,5$ км/сек. Схема проведения экспериментов представлена на рис. 1.

Рентгеновское излучение наблюдалось при ударе никелевого цилиндра 1, масса которого равнялась $\sim 3,5-4$ г, о неподвижную цинковую мишень 2 и регистрировалось дозиметрами 3 и рентгеновской фотопленкой 4, 7 с усиливающими экранами 8. Для того чтобы исключить воздействие на дозиметры и фотопленку вторичных осколков, появляющихся на первой стадии взаимодействия тела с мишенью, была предусмотрена их защита слоем текстолита, бумаги, фольги и стеклоткани. Применялись дозиметры ДП-02 с пределом измерений до 200 мр и рентгеновская фотопленка типа РФ-3. Ниже приводятся показания дозиметров, полученные в одном из опытов:

N	1	2	3	4	5	6	7	1к	2к
D^0 , мр	4	0	18	11	9	0	5	10	7
D' , мр	4	—	20	14	16	3	10	10,5	7
ΔD , мр	0	—	2	3	7	3	5	1	0

Здесь N — порядковый номер дозиметра, D^0 — показание дозиметра перед опытом, D' — показания дозиметра после опыта, ΔD — интегральная доза рентгеновского излучения, 1к, 2к — контрольные дозиметры.

Согласно оценкам, жесткость излучения соответствует средней энергии рентгеновских квантов $\approx 5-15$ кэв. Перпидическая структура засвеченных участков на пленке (см. рис. 2), по-видимому, вызвана дифракцией рентгеновских лучей на кристаллической решетке цинка и соответствует типичной лауэграмме. Засветка фотопленки в виде полос, показанная на рис. 2б, обусловлена наличием поглощающих экранов в виде полосок из свинца, которые были установлены между источником излучения и фотопленкой.

Возникновение рентгеновского излучения при высокоскоростном соударении металлических тел может быть обусловлено возбуждением внутренних электронных оболочек атомов при ударном разрушении кристаллической решетки. В этом случае оценку интенсивности излучения можно провести по теории возмущений, поскольку энергия соударения, отнесенная

к одному атому, при скоростях ~ 5 км/сек существенно менее 1 эв, в то время как энергия излучения составляет $\sim 10^4$ эв.

Вероятность возбуждения атома при «ударном» возбуждении равна ⁽⁵⁾

$$w_k = |a_k^{(1)}(t)|^2, \quad a_k^{(1)}(t) = -\frac{H'_{km}}{\hbar} \frac{\exp(i\omega_{km}t) - 1}{\omega_{km}};$$

здесь H'_{km} — возмущение гамильтониана основного состояния для атома, ω_{km} — собственная частота возбуждаемого уровня атома.

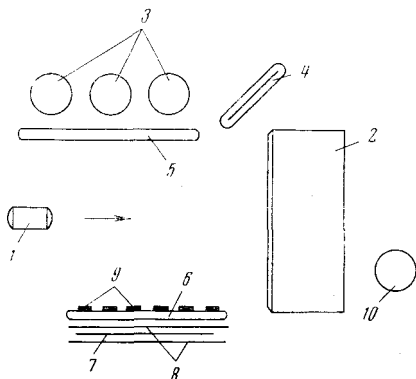


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — никелевый снаряд, 2 — цинковая мишень, 3 — дозиметры ДП-02, 4, 7 — фотопленка, 5 — экран из стекловолкна толщиной 12 мм, 6 — текстолитовый экран толщиной 1 мм, 8 — светопредающие люминесцентные экраны, 9 — полоски свинца толщиной 0,5 мм, 10 — контрольный дозиметр ДП-02

Усреднение по времени соударения $t \gg 2\pi / \omega_{km}$ дает

$$\bar{w}_k^t = 4 \frac{H_{km}^{\prime 2}}{\hbar^2 \omega_{km}^2} \overline{\sin^2} \frac{\omega_{km} t}{2} = 2 \left(\frac{\omega_{\text{возб}}}{\omega_{km}} \right)^2,$$

где $\omega_{\text{возб}} = 2\pi(V/d)$, V — скорость соударения, d — постоянная решетки для соударяющихся тел. Для цинка ($d = 2,7$ Å) и $V \approx 5 \cdot 10^5$ см/сек $E \approx 10$ кэв и величина $\bar{w}_k^t \approx 1,2 \cdot 10^{-10}$. Число возбужденных атомов $N_{\text{возб}} = N_0 l_{\text{пр}} s$, где N_0 — число атомов в 1 см³ мишени (цинк), $l_{\text{пр}}^{(r)}$ — длина пробега излучения с энергией ~ 10 кэв в цинке, s — эффективная излучающая площадь поверхности мишени. Для $N_0 = 8,45 \cdot 10^{22}$, $l_{\text{пр}} = 6,5 \cdot 10^{-3}$ см и $s = 1$ см² полная энергия рентгеновского излучения составит $5,85 \cdot 10^2$ эрг, что эквивалентно дозе $D \approx 0,013$ р на расстоянии 20 см от места излучения. Полученная величина находится в удовлетворительном согласии с зарегистрированной в опытах с учетом поглощения части излучения экраном из текстолита, фольги и стеклотканей.

На основании предложенного механизма излучения можно ожидать, что в спектре оптического излучения, испускаемого при соударении, должен появиться максимум, соответствующий «резонансному» механическому возбуждению решетки на частоте $\omega_{\text{возб}} = 2\pi(V/d)$. Поскольку эта частота лежит в и.-к. диапазоне ($\lambda \approx 13,6$ м для цинка с $d = 2,7$ Å), то для экспериментального наблюдения указанного эффекта необходимо в качестве мишени брать вещество, молекулы которого имеют уровни энергии, соответствующие указанной частоте.

В заключение авторы выражают благодарность В. В. Дыбцину за помощь, оказанную при проведении экспериментов.

Поступило
19 VI 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ф. Боуден, А. Иоффе, Быстрые реакции в твердых веществах, Москва, 1962. ² Л. А. Тюрикова и др., ДАН, 201, № 4, 883 (1971). ³ Г. И. Покровский, Взрыв, изд. 2, М., 1967. ⁴ Т. Я. Гораздовский, Письма ЖЭТФ, 5, вып. 3 (1967). ⁵ Л. Шифф, Квантовая механика, Москва, 1957.

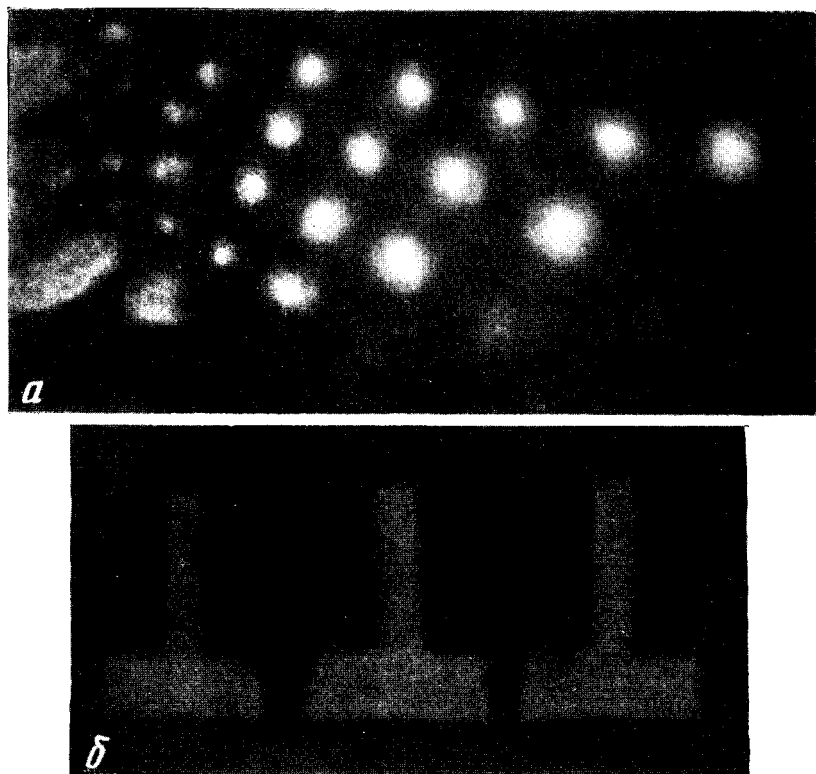


Рис. 2. Фотопленька, засвеченная рентгеновским излучением (позитив):
a — лауэграмма на кристаллах цинка, *б* — теневое изображение экрани-
рующих полосок свинца

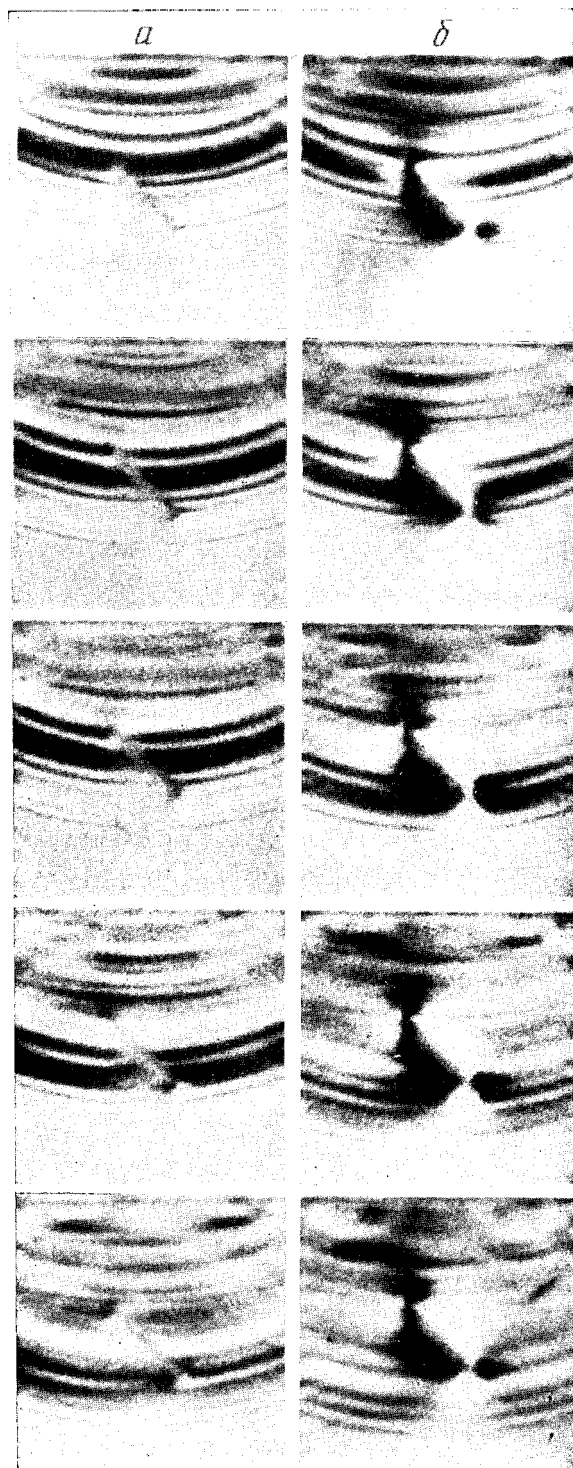


Рис. 4. Развертка во времени картины распространения продольных упругих волн в ненагруженной (а) и нагруженной $P = 70 \text{ кг/см}^2$ (б) модели среды с дефектом