

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Н. А. КРОВОТА и В. В. КАРАСЕВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ  
ПРИ РАСКАЛЫВАНИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ В ВАКУУМЕ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 25 VII 1953)

Развитие электрической теории адгезии пленок полимеров <sup>(1)</sup> привело к выводу, что основная часть работы отслаивания пленок от твердых подкладок затрачивается на раздвижение обкладок двойного электрического слоя, образованного на границе раздела пленка — подкладка; при этом оказалось необходимым допустить, что в соответствующих зазорах должны существовать поля с напряженностью порядка  $10^8$  в/см и что разность потенциалов обкладок двойного слоя при их разведении может к моменту наступления разряда повышаться от первоначального значения порядка нескольких вольт до  $10^4$  в (а в высоком вакууме и больше).

Важная задача непосредственного опытного доказательства этих выводов была разрешена в работе <sup>(2)</sup>, обнаружившей при отслаивании пленок в вакууме холодную эмиссию электронов из зоны отрыва, что подтверждает существование полей указанного порядка. Одновременно проводившиеся измерения скоростей эмитированных электронов привели к значениям порядка  $10^4$  эв и более, что указывает на значения разностей потенциалов, находящиеся в согласии с рассчитанными по величине механической работы отслаивания.

Еще при разработке теории адгезии было высказано допущение, что и при разрыве внутри однородного тела могут возникать аналогичные высокие поля в результате разделения противоположных зарядов, хотя бы и расположенных в виде знакопеременной мозаики <sup>(3)</sup>. В настоящей статье излагаются опыты, непосредственно доказавшие это допущение путем исследования холодной эмиссии электронов при раскалывании твердых тел в вакууме.

Опыты проводились в высоком вакууме ( $10^{-4}$  —  $10^{-5}$  мм рт. ст.) в приборе, изображенном на рис. 1. На металлической подставке укреплена цилиндрическая направляющая 1, внутри которой перемещается металлический груз 2 весом 300 г. Груз может быть поднят на высоту 12 см и удерживаться в таком положении при помощи пускового механизма (рычаг 3). На нижнюю площадку прибора 4 помещается кассета специальной конструкции 5 с фотопленкой или пластинкой 6, одновременно служащая держателем образца 7. На пленке помещается препятствие (для оценки скорости электронов) в виде пластинки слюды или фольги. Раскалывание производится при помощи трехгранного ножа (из победита) 8, по отношению к которому раскалываемый кристалл обычно ориентируется определенным образом. Нож движется по направляющим 9. Прибор помещался под вакуумный колокол, откачивался до  $10^{-4}$  —  $10^{-5}$  мм рт. ст., после чего при помощи электромагнита поворачивался рычаг пускового механизма, груз освобождался и, падая на нож, раскалывал кристалл. Оценка скоростей электронов (как было указано выше) производилась по толщине пробиваемого ими препятствия.

Прежде всего нами был испытан кристаллический кварц, который дает ясно заметное свечение при разбивании его в темноте. Пластинка кварца имела толщину около 3 мм. Оба снимка (рис. 2 а и б на вклейка к стр. 601) обнаруживают мощную эмиссию электронов, причем последние излучаются в местах излома. Неправильные контуры на снимке являются контурами осколков. Препятствие (имеет форму ромбика на снимке, пятно на углу — воск) просвечивается.

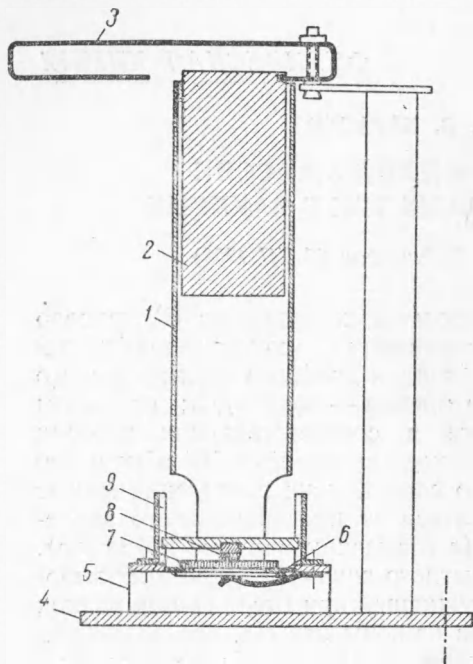


Рис. 1

Многочисленные опыты по раскалыванию ряда диэлектриков, например сахара, в высоком вакууме обнаружили ясно выраженное засвечивание фотопластинки эмитируемыми при этом электронами (рис. 2 в). В случае сахара электроны обладают скоростями не менее 30 и не свыше 40 кв. Полученные данные указывают на некоторый параллелизм между эмиссией электронов и величиной пьезоэффекта. На связь между пьезоэлектрическим эффектом у кристаллов и способностью их к триболюминесценции указывал В. И. Вернадский<sup>(4)</sup>, который считал, что оба явления обусловлены общей причиной. Поэтому мы дополнительно исследовали еще кварцевые пьезоэлементы (срезы *x* и *y*, толщиной 0,5 мм) и для сравнения — плавленный кварц. Для пьезоэлементов (срез *y*) получился весьма характерный снимок (рис. 2 г). Совершенно отчетливо видно изображение плоских осколков, по форме и размерам точно совпадающих с осколками разбившейся пластинки. Видно, что на определенных участках края осколков излучают электроны. На снимке видны также светящиеся пятна, прерываемые черными точками. Это изображение осколков, направленных к фотопластинке ребром. Электроны при этом двигаются в направлении, перпендикулярном пластинке. Наблюдаемое явление говорит о том, что поверхности кварца, по которым происходило разрушение, имеют мозаичное расположение плюс- и минус-зарядов.

Плавленный кварц не обнаруживает электронной эмиссии.

Электронную эмиссию обнаруживает также турмалин (розовый) (рис. 2 д) и цинковая обманка (рис. 2 е). На последнем снимке видно изображение излома, соответствующее линии излома образца. Совершенно четкий эффект эмиссии при раскалывании был обнаружен у сегнетовой соли. На образце имелись два препятствия, задерживающие электроны: до 120 кв и до 20 кв. Просветилось только последнее препятствие. Виннокаменная кислота дает значительно более слабый, но все же совершенно отчетливый эффект.

Были испытаны также и другие группы веществ: 1) металлы (висмут, сурьма); 2) ионные кристаллы (каменная соль); 3) гомеополлярные соединения (кремний); 4) минералы со слоистой структурой (гипс, селенит, слюда); 5) стекло силикатное и органическое.

Как и следовало ожидать, висмут и сурьма не дают эмиссии электронов, так как вследствие электронной проводимости происходит утечка поверхностных зарядов, предупреждающая образование высоких разностей потенциалов.

Каменная соль раскалывается по плоскостям спайности (100). Эти плоскости образваны, как известно, чередующимися ионами  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ . Раскалывание по плоскостям спайностей не дало почернения фотопластинки. При раскалывании образцов по направлению плоскостей (111) в некоторых удачных случаях получалось слабое засвечивание фотопластинки.

Многочисленные опыты с кремнием дали отрицательный результат в отношении эмиссии, что вполне понятно.

Затем мы испытали различные минералы слоистой и волокнистой структуры (гипс, слюда, селенит), раскалывая образцы по плоскостям с прочным и слабым взаимным сцеплением с целью выявить различия в характере эмиссии.

Слюда разъединялась по плоскостям спайности на приборе, описанном в нашей предыдущей работе (1). При этом фотопластинка засвечивается равномерно. На темном фоне обрисовывается препятствие (слюдяная пластинка неправильной формы, наложенная на фотопластинку). Частично препятствие просвечивается. Соответствующая скорость электронов порядка 15 кв \* (рис. 3 а на вклейке к стр. 601). Кроме этого, слюда расщеплялась в приборе (см. рис. 1) при помощи ножа, что дало слабое засвечивание ее, а также прорезалась острым ножом в направлении, перпендикулярном плоскостям спайности. Специальное приспособление предохраняло фотопластинку от повреждения. Соответствующая скорость электронов 30—40 кв (рис. 3 б).

Следует заметить, что структура слюды (мусковита) такова, что в ней можно предположить существование противоположных плоскостей, несущих плюс- и минус-заряды.

Засвечивание фотопластинки наблюдается и при раскалывании гипса.

Тела аморфные (силикатное и органическое стекло) не обнаружили при раскалывании электронной эмиссии. Только в одном из многих опытов (покровное стекло толщиной 0,165 мм) фотопластинка оказалась засвеченной. Стеклышко раскололось пополам, причем образовалось несколько удлиненных осколков, изображения которых видны на снимке (рис. 3 в). Контуры осколков (как и в случае пластинки кварца) окружены свечением, что указывает на продолжительность эффекта во времени. Можно предположить, что наблюдающееся явление аналогично аномальной вторичной электронной эмиссии (5).

Таким образом, поверхности трещин, возникающие при разрушении твердых тел, оказываются покрытыми зарядами с большой поверхностной плотностью. При раскалывании тел в среднем вакууме и на воздухе эти заряды разряжаются через газовый промежуток, разряд же за счет электронной эмиссии отступает на задний план. Свечение газа, заполняющего трещины, объясняет известное явление люминесценции при раскалывании твердых тел \*\*

Впервые явление свечения при разрушении наблюдалось у кварца и каменной соли (6), а впоследствии у целого ряда минералов и органических веществ. Подавляющее число веществ обнаруживает этот эффект.

\* По величине работы отрыва и скорости эмитируемых электронов можно оценить плотность заряда на внутренней поверхности разъединяемых листочков слюды по уравнению:  $A = \sigma v/2$ . Принимая величину  $A = 2 \cdot 10^4$  эрг/см<sup>2</sup> (данные И. В. Обренова (9) для случая расщепления слюды в вакууме) и  $v = 15$  кв, получаем:  $\sim 1 \cdot 10^3$  CGSE/см<sup>2</sup>.

\*\* Триболюминесценция — термин, неправильно применяемый к явлениям свечения при раскалывании и других видах механического разрушения твердых тел. Правильнее было бы название «люминесценция механического разрушения».

Тщательные исследования в этом направлении проводились В. И. Вернадским<sup>(4)</sup> и его сотрудниками, а также Н. Гезехусом<sup>(7)</sup>, Л. А. Чугаевым<sup>(8)</sup>, С. И. Вавиловым<sup>(9)</sup> и рядом других русских ученых.

Люминесценция может наблюдаться при кавитации (т. е. разрывах) жидкостей под действием ультразвука. По Я. И. Френкелю<sup>(10)</sup>, это обуславливается электрическими разрядами в возникающем пузырьке. Крамером<sup>(11)</sup> было обнаружено, что если в непосредственной близости от острия ионизационного счетчика поместить свежеразмельченный кристаллический порошок, то счетчик начинает регистрировать импульсы, продолжающиеся иногда свыше часа. Опыты проводились на воздухе при обычном давлении, что привело автора к ошибочным результатам (отсутствие эмиссии у ряда кристаллов, как, например, сегнетова соль, сахар, слюда и др.).

Обнаруженная нами эмиссия при раскалывании кристаллов в вакууме указывает на то, что этот эффект связан с строением кристалла; он может иметь значение для исследования характера связи между молекулами твердого тела. Кроме того, он дает возможность с новой точки зрения подойти к рассмотрению механических и электрических свойств кристаллов.

Одновременно разъясняется механизм возникновения зарядов у частиц аэрозолей, полученных при диспергировании твердых тел. В вопросе борьбы с силикозом следует учитывать как возможно дополнительный фактор вредности излучение пылью некоторых веществ электронов, обладающих большими скоростями.

Авторы считают своим долгом выразить благодарность чл.-корр. АН СССР Б. В. Дерягину за общее руководство работой.

Институт физической химии  
Академии наук СССР

Поступило  
17 VII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, Адгезия, М.—Л., 1949. <sup>2</sup> В. В. Карасев, Н. А. Кротова, Б. В. Дерягин, ДАН, 88, № 5 (1953); 89, № 1 (1953). <sup>3</sup> Б. В. Дерягин, Что такое трение, изд. АН СССР, 1952, стр. 240. <sup>4</sup> В. И. Вернадский, Изв. Имп. Акад. наук, 24, 69 (1906); 4, 1037 (1910); Б. Линденер, там же, 4, 999 (1910). <sup>5</sup> Л. Н. Добрецов, Электронная и ионная эмиссия, 1952, стр. 234. <sup>6</sup> Boyle, Opera Varia, 1680, стр. 164—168; Разумовский, Hist. et Mém. de la Soc. de Sc. Physique de Lausanne, 13, 2 (1789); Б. Севергин, Nova Acta Acad. Petropolitanae, 12, 11 (1793). <sup>7</sup> Н. Гезехус, ЖРФХО, отд. физ., 13 (1902). <sup>8</sup> Л. А. Чугаев, ЖРФХО, 32, 837 (1900); 36 (1904). <sup>9</sup> С. И. Вавилов, Люминесценция, ст. в Больш. сов. энцикл. (1932); P. Lenard, F. Schmidt, R. Tomaschek, Handb. d. exper. Phys., 23, Т. 2 (1928); И. В. Обреимов, Proc. Roy. Soc., 127, 280 (1930). <sup>10</sup> Я. И. Френкель, ЖФХ, 14, 305 (1940); J. Phys., 10, 151 (1946). <sup>11</sup> Проблемы современной физики, 1, Электронная и ионная эмиссия, 1953, стр. 193; J. Kamer, Z. f. Phys., 129, № 1, 34 (1951).