Доклады Академии Наук СССР
1954. Том XCIX, № 5

ФИЗИКА

В. В. КАРАСЕВ и Н. А. КРОТОВА

СКОРОСТЬ ЭЛЕКТРОНОВ, ЭМИТТИРУЕМЫХ ПРИ ОТРЫВЕ ПЛЕНКИ ВЫСОКОПОЛИМЕРА ОТ ТВЕРДОЙ ПОДКЛАДКИ, И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭМИТТИРУЮЩИХ ЦЕНТРОВ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 19 VIII 1954)

В ряде работ описывались электрические явления, обнаруженные нами при отрыве пленок различных полимеров от твердой подкладки (стекла) ([1], [5]), а также при раскалывании твердых тел в вакууме ([2]). Эти явления заключаются в том, что в высоком вакууме (выше 10^{-4} мм рт. ст.) наблюдается эмиссия электронов, обнаруживаемая по свечению флуоресцирующего экрана и по почернению фотопластинки.

Эти опыты позволяют сделать заключение о наличии явлений электрического разряда и автоэлектронной эмиссии при отрыве полимеров от подкладки и являются непосредственным подтверждением ранее разработанной Б. В. Дерягиным и Н. А. Кротовой электрической теории адгезии пленок ([3]), согласно которой работа отрыва в основном затрачивается на раздвижение разноименных зарядов двойного электрического слоя, возникающего на поверхности раздела пленка — подкладка в период пленкообразования. Электрическая теория адгезии допускает, что при быстром отрыве разность потенциалов двойного электрического слоя может возрастать соответственно падению емкости двойного слоя от нескольких вольт (величина порядка контактных потенциалов) до нескольких десятков киловольт.

В одной из предыдущих работ были оценены также скорости эмиттируемых электронов по толщине пробиваемых ими препятствий. Согласно этим определениям, скорости электронов при отрыве имели порядок 10^3—10^4 эв. Эти величины дают представление о разностях потенциалов в зазоре между разделяемыми поверхностями.

Метод оценки скоростей электронов по пробиванию ими препятствия неудобен по следующим причинам: 1) при наблюдающихся сравнительно малых скоростях приходится употреблять препятствия весьма малой толщины (1—2μ); 2) для того чтобы найти препятствие, соответствующее исследуемой скорости электронов, надо провести несколько опытов в вакууме.

Известно, что скорость электронов может быть определена по отклонению пучка магнитным или электрическим полем. Методика отклонения пучка электрическим полем оказалась в нашем случае неудобной, так как для этого требовалось высокое напряжение и трудно было получить однородное поле. Опыты по отклонению пучка магнитным полем, проведенные нами ранее, не дали четких результатов.

Вследствие этого нами была разработана видоизмененная конструкция прибора для исследования эмиссии при отрыве ([5]), которая давала

возможность получить более четкое изображение отклоненной щели. Кроме того, была подобрана соответствующая напряженность магнитного поля. При помощи направляющего ролика излучение в зазоре между отрываемыми поверхностями направлялось на фотопленку через две диафрагмы. Между диафрагмой и фотопленкой помещен постоянный магнит, поле которого отклоняет электронный пучок. Снимок неотклоненного и отклоненного пучка получается на одной и той же фотопленке, которая не сдвигается в течение опыта. Освобождение груза производится посредством рычага, один конец которого поддерживает груз. Рычаг приводится в движение при помощи электромагнита, действующего через стенку стеклянного колокола. Давление в рабочей камере соответствует 10^{-4}—10^{-5} мм рт. ст.

Объектами исследования служили эфиры целлюлозы и синтетические каучуки при отрыве их от стекла и желатины. Продолжительность отрыва соответствовала долям секунды. На рис. 1 приведены снимки неотклоненного и отклоненного пучка при отрыве ацетилцеллюлозы от стекла. По величине отклонения производился расчет скорости эмиттируемых электронов согласно известному уравнению:

$$v_0 = \frac{e}{m}\frac{Ha}{Z}\left(l + \frac{a}{2}\right),$$

где v_0 — скорость электронов в см/сек, e — заряд и m — масса электрона, H — напряженность магнитного поля (25 эрст.), a — длина магнита (2 см), l — расстояние между магнитом и фотопластинкой (3,5 см) и Z — отклонение электронного пучка — величина, измеряемая по снимку. Средняя скорость электронов, выраженная в электронвольтах, подсчитывалась по формуле:

$$u = \frac{v_0^2}{0{,}36 \cdot 10^{16}}.$$

Различные полимеры дали следующие величины u: бензилцеллюлоза — стекло $2{,}7 \cdot 10^3$ эв, ацетилцеллюлоза — стекло $2{,}2 \cdot 10^3$ эв, синтетический бутадиеновый каучук — желатина $2{,}6 \cdot 10^3$ эв, синтетический нитрильный каучук — желатина 10^4 эв.

Таким образом, скорости электронов, эмиттируемых при отрыве полимеров, имеют порядок величины 10^3—10^4 эв. Подобные же значения были получены нами при оценке скорости электронов по прохождению ими препятствий различной толщины. Однако в последнем случае могли быть получены только весьма приблизительные значения, тогда как метод отклонения пучка дает значительно более надежные результаты. По скорости электронов могут быть вычислены теоретические значения величины адгезии по уравнению $A_0 = 2(\sigma v/2)$ для системы бензилцеллюлоза — стекло. В этом случае σ, поверхностная плотность электризации, равна 10^4 эл-ст. ед/см^2, $v = 2700$ в. Отсюда $A_0 = 9 \cdot 10^4$ эрг/см^2. Экспериментально найденные механическим путем величины A_0 соответствуют $2 \cdot 10^5$ эрг/см^2 [5]. Заниженное значение A_0, полученное на основании данных по средней скорости электронов, объясняется тем, что в действительности v надо вычислять, исходя из скорости наиболее быстрых электронов. Таким образом, согласие должно было бы получиться еще лучше.

Величины скоростей электронов, эмиттируемых при отрыве полимеров, интересно сравнить с данными по эмиссии электронов при раскалывании кристаллов [2]. Так, скорость электронов, эмиттируемых при раскалывании кристаллического кварца, дает значения свыше $1{,}2 \cdot 10^5$ эв, сегнетова соль $2 \cdot 10^4$ эв, слюда 10^3—10^4 эв. Сопоставляя эти результаты, можно заметить, что в общем механически более прочные тела и системы эмиттируют при разрушении электроны, обладающие большими максимальными скоростями.

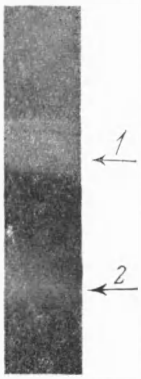


Рис. 1

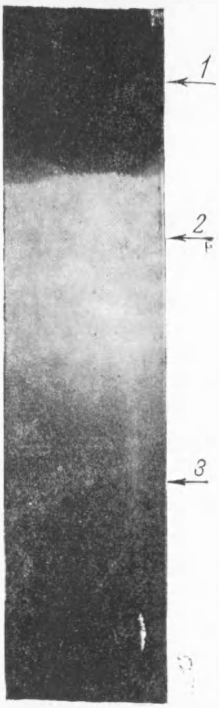


Рис. 3

Рис. 1. Отклонение пучка электронов магнитным полем. Электроны эмиттируются при отрыве ацетилцеллюлозы от стекла. *1* — неотклоненный пучок, *2* — отклоненный пучок

Рис. 3. Электронный снимок отрыва пленки натрий-бутадиенового каучука от стекла. *1* — подкладка-стекло не излучает электронов, *2* — максимум интенсивности излучения у границы отрыва, *3* — излучающая пленка СК

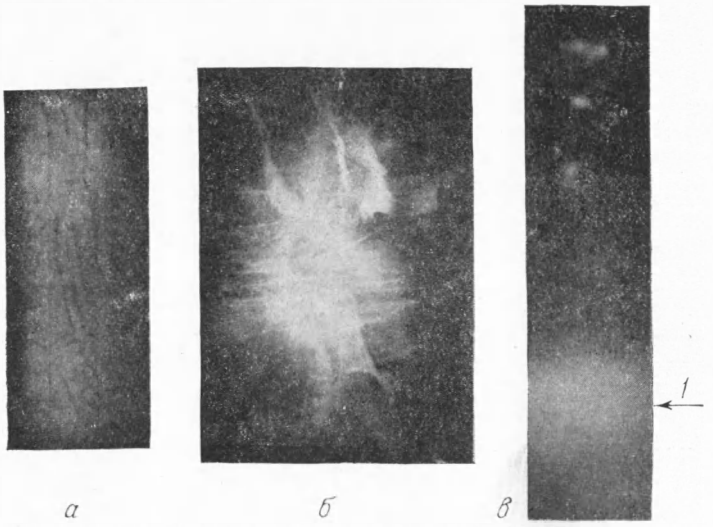


Рис. 4. Распределение эмиттирующих центров (по методу одновременного движения отрывающегося объекта и фотопленки). *а* — пленка натрий-бутадиенового каучука (отрыв от желатины), *б* — пленка нитрильного каучука (отрыв от желатины), *в* — расщепленные поверхности слюды; *1* — граница раскола

В дальнейшем нам представлялось интересным решить вопрос, в каком именно участке разрушаемой системы происходит эмиссия электронов и продолжается ли последняя в течение некоторого измеримого промежутка времени.

Прежде всего следовало решить, что излучает при отрыве — полимер или подкладка? Для этого мы несколько видоизменили конструкцию прибора (см. рис. 2). Фотопленка *1* укреплялась на выступе *2* тубуса *3* и перекидывалась через вращающийся при отрыве грузом *5* ролик с пленкой *4*. Таким образом, на фотопленке фиксировались различные участки системы. Ряд экспериментов, проведенных с различными полимерами при отрыве их от стекла и желатины, показывает, что наиболее интенсивное излучение наблюдается у границы отрыва. Подкладка (стекло и желатина) не обнаруживает никакого излучения. Наоборот, уже оторванная пленка полимера *6* продолжает излучать спустя некоторое время после отрыва. Верхняя часть снимка оторванной пленки оказывается более интенсивно засвеченной, чем нижняя (ср. рис. 3). Так как отрывающаяся пленка полимера движется с некоторой скоростью относительно фотопленки, то вышеописанное явление говорит о том, что интенсивность эмиссии убывает со временем. Согласно нашим определениям, значительная эмиссия наблюдается даже по истечении времени порядка десятых секунды. Явление электронной эмиссии обнаруживает различные полимеры: эфиры целлюлозы, неполярные и полярные синтетические каучуки, полимеры винилового ряда — полиметилметакрилат, полиизобутилен, поливинилацетат и др. У некоторых полимеров наблюдается как бы запаздывание эмиссии, что легко обнаружить по снимку. Так например, полиизобутилен дает равномерное почернение, постепенно уменьшающееся к нижнему концу фотопленки. Метилметакрилат, напротив, дает неравномерное почернение.

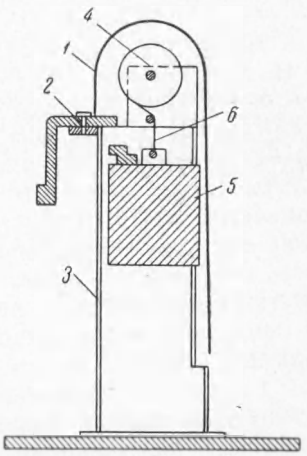


Рис. 2. Прибор для съемки эмиттирующих участков при отрыве пленки полимера

Для того чтобы фиксировать на фотопленке топографию излучающих участков, не смазывая картины, опыт был видоизменен таким образом, что нижний конец фотопленки прикреплялся к падающему грузу. Благодаря этому фотопленка двигалась одновременно с отрывающейся пленкой полимера. Полученные снимки обнаруживают неравномерное почернение фотопленки (см. рис. 4 *а* и *б*). Очевидно, центры эмиссии возникают в результате отрыва отдельных макроучастков пленки полимера от поверхности подкладки. Отсюда можно сделать два предположения: или пленка контактирует с подкладкой не сплошь, а только в отдельных участках, или же не все разделяемые участки обладают способностью испускать электроны. На ряде снимков хорошо заметно, что излучение распространяется параллельно поверхности пленки (рис. 4*б*). Остающиеся следы полимера на подкладке могут быть тотчас же обнаружены, так как в местах разрыва внутри пленки полимера также излучаются электроны.

Контрольным опытом было установлено, что даже очень высокая (на несколько сотен процентов) деформация образца не засвечивает фотопластинки и что излучение наблюдается только при разрывах полимера (например, различных синтетических каучуков в случае когезионного типа отрыва).

Опыты, подобные описанным выше, были проведены также и в от-

ношении минерала слюды. Последняя расщеплялась по плоскостям спайности. В этом случае эмиссия электронов наблюдается от обеих внутренних поверхностей расщепляемой пластинки (рис. 4*в*).

Работа проводилась под общим руководством чл.-корр. АН СССР Б. В. Дерягина и совместно с А. Я. Королевым и А. И. Шаповаловой, которыми были представлены образцы полимеров с известными характеристиками. Выражаем благодарность Ю. М. Кирилловой за систематическую помощь в работе.

Поступило
22 VI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. В. Карасев, Н. А. Кротова, Б. В. Дерягин, ДАН, **89**, 109 (1953). [2] Н. А. Кротова, В. В. Карасев, ДАН, **92**, 607 (1953). [3] Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, Адгезия, Изд. АН СССР, 1949; Б. В. Дерягин, Что такое трение, Изд. АН СССР, 1952, стр. 340. [4] Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, УФН, **36**, 387 (1948). [5] В. В. Карасев, Н. А. Кротова, Б. В. Дерягин, ДАН, **88**, 777 (1953).