Ф. Трей.

Новые опыты въ области свѣточувствительности селена.

Отд. отт. изъ Ж. Р. Ф.-Х. О. Физич. Отд.
томъ XLVII, вып. 4. 1915 года.

ПЕТРОГРАДЪ.
Типографія „Печатный Трудъ", Прачешный пер., № 4, уголъ Мойки.
1915

Новые опыты въ области свѣточувствительности селена.

Для выясненія, въ чемъ кроется причина свѣточувствительности селена, были предложены различныя гипотезы, но общепринятой теоріи и до сихъ поръ еще нѣтъ [1]), хотя въ послѣднее время сдѣланы опять нѣкоторыя попытки раскрыть внутренній механизмъ этого явленія. Эти работы [2]) выдвигаютъ на первый планъ экспериментальную сторону. Полученные результаты вызываютъ къ новымъ опытамъ и даютъ нѣкоторыя указанія для теоретическаго разбора явленія.

До сихъ поръ стремленіе физиковъ было направлено къ тому, чтобы разобраться въ тончайшемъ слоѣ селена, непосредственно подвергающемся вліянію свѣта. Добивались дѣлать все болѣе и болѣе тонкіе препараты изъ кристаллическаго се-

---

[1]) Такое положеніе вопроса отмѣчаетъ еще С. Боровикъ въ Ж. Р. Ф. О. **42**, p. 181. 1910.

[2]) White. Phil. Mag. **27**, p. 370. 1914.

Brown and Sieg. Phil. Mag. **28**, p. 497. 1914.

лена; Гриппенбергъ [1]) получалъ при помощи катоднаго распыленія селеневые элементы толщиною въ 50 микроновъ. Такіе элементы мѣняли при освѣщеніи свое сопротивленіе съ 1000 милліоновъ на 1 милліонъ омовъ. Въ цѣпи съ гальванометромъ большой чувствительности *Se* элементы превышаютъ чувствительность глаза, обнаруживая присутствіе меньше 300 свѣтовыхъ квантъ [2]). По сравненію съ этими результатами практики развитіе теоріи явленія шло менѣе успѣшно. Стремились опредѣлить эффективную толщину слоя, въ которую проникаетъ свѣтъ и находили все различныя величины отъ 5 10^{-5} мм. до 1.4 10^{-2} мм. Разсматривая, согласно Пфунду [3]), явленіе свѣточувствительности, какъ внутренній фотоэлектрическій эффектъ, Никольсонъ [4]) вычислилъ число іоновъ, освобождаемыхъ свѣтомъ, и нашелъ подтвержденіе зависимости эффекта (E) отъ силы свѣта (I): $E = k . \sqrt{I}$. Однако эта іонная теорія не въ состояніи согласовать нѣкоторыя другія данныя опыта. Въ особенности работы Уайта, Броуна и Зига, приведенныя выше, содержатъ рядъ фактовъ, не предвидѣнныхъ означенною теоріею.

Уайтъ первоначально задался цѣлью опредѣлить экспериментально тоже толщину дѣйствующаго слоя. Онъ приготовилъ кусокъ кристаллическаго селена $8 \times 10 \times 10$ мм.^{3}, и освѣщалъ его какъ перпендикулярно къ направленію тока, такъ и параллельно направленію тока черезъ полупрозрачную платинированную пластинку или мѣдную сѣтку, служившія электродами. Предполагая, что освѣщенный слой селена превращается въ хорошій проводникъ, получаемъ какъ бы два различныхъ проводника: *освѣщенный слой малаго сопротивленія и темная* часть большого сопротивленія. При перпендикулярномъ эффектѣ эти „два" проводника включены параллельно, при параллельномъ эффектѣ—послѣдовательно. Ясно, что въ такомъ случаѣ свѣтъ долженъ былъ бы вызвать гораздо большее измѣненіе общаго сопротивленія куска селена, если освѣщать перпендикулярно направленію тока. Кромѣ этого вывода, который

---

[1]) Grippenberg. Phys. Ztschr. **13**, p. 161; p. 686. 1912.
[2]) Fournier d'Albe. Phys. Ztschr. **14**, p. 1307. 1913.
[3]) Pfund. Phys. Ztschr. **10**, p. 340. 1909 и **13**, p. 507. 1912.
[4]) Nicholsson. Phys. Ztschr. **14**, p. 1210, 1213. 1913.

Уайтъ предполагалъ оправдать на опытѣ, можно было бы вычислить толщину дѣйствующаго слоя, наблюдая величину перпендикулярнаго и параллельнаго эффекта на одномъ и томъ же кускѣ селена. Придерживаясь предположенія о „двухъ" проводникахъ, мы получили бы для эффекта 2 уравненія типа $R = f(k, k', \delta, v)$, гдѣ k и k'—удѣльныя проводимости селена въ темной и освѣщенной части, δ—эффективная толщина активнаго слоя и v—размѣры куска селена. Такъ какъ k и v извѣстны, можно было бы опредѣлить k' и δ.

Такова формулировка вопроса у Уайта. Приступивъ къ опыту, онъ измѣрялъ сопротивленіе означеннаго куска селена $8 \times 10 \times 10$ мм.^{3}, сплошь кристаллическаго, при напряженіи отъ 4—20 вольтъ, освѣщая селенъ осрамовой лампой на разстояніи 20—30 см. въ теченіе 90 сек. и притомъ перпендикулярно и параллельно направленію тока. Оказалось, что параллельный эффектъ всегда почти втрое больше перпендикулярнаго. Для провѣрки этого неожиданнаго результата Уайтъ сдѣлалъ рядъ опытовъ при другихъ обстоятельствахъ, но все съ тѣмъ же результатомъ. Найденная зависимость не мѣнялась при замѣнѣ платинированнаго электрода мѣдной сѣткой. Она оставалась такой же и при перемѣнѣ направленія тока, хотя при этомъ абсолютная величина сопротивленія значительно мѣняется. А именно, при перпендикулярномъ эффектѣ сопротивленіе при освѣщеніи уменьшалось на 9%, при параллельномъ—на 23% до 45%, при чемъ абсолютная величина сопротивленія вслѣдствіе измѣненія направленія тока увеличилась съ 173.000 омовъ до 210.000 омовъ.

Чтобы согласовать между собой эти данныя опыта, Уайтъ дѣлаетъ предположеніе, что эффектъ передается въ слой селена гораздо болѣе толстый, чѣмъ тотъ тонкій поверхностный слой, въ который можетъ проникать свѣтъ. Для провѣрки онъ помѣщаетъ одинъ электродъ, мѣдную сѣтку, не на поверхности селена, а на глубинѣ 1 мм. отъ поверхности. Оказалось однако, что при освѣщеніи слоя селена, покрывающаго сѣтку, внутрь селеневаго куска не передается ни малѣйшаго измѣненія. Итакъ Уайтъ исключаетъ это предположеніе и выставляетъ двѣ другія гипотезы: не имѣется ли на поверхности селена слой (*crust*) сравнительно большого, мѣняющагося при освѣщеніи сопротивленія; не обусловливаетъ ли, можетъ быть, плохой

контактъ большое и притомъ мѣняющееся сопротивленіе. Чтобы рѣшить этотъ вопросъ, Уайтъ снималъ при помощи напилка поверхностный слой и находилъ, что сопротивленіе отъ этого возростало отъ 520.000 омовъ до нѣкотораго постояннаго значенія 1.300.000 омовъ. Во время этого процесса, однако, самый эффектъ не мѣнялся. Остается только предположить, что свѣтъ измѣняетъ сопротивленіе контакта. Можно думать о *контактныхъ детекторахъ*. И, дѣйствительно, оказалось, что сопротивленіе зависитъ отъ вещества электродъ. Оказалось, что даже вещество того сосуда, въ которомъ происходила кристаллизація селеневаго куска, имѣетъ вліяніе на величину эффекта.

ТАБЛИЦА 1.

Вещество стѣнки сосуда.	Измѣненіе сопротивленія.
Латунь	25%
Стекло	15%
Воздухъ	11%.

Эти опыты доказываютъ существованіе контактнаго эффекта и цѣнны тѣмъ, что указываютъ, на какія побочныя обстоятельства слѣдуетъ обращать вниманіе при дальнѣйшихъ изслѣдованіяхъ. Для пониманія свѣточувствительности селена, какъ таковой, они однако даютъ мало указаній. Вліяніе контакта въ опытахъ Уайта, повидимому, превышаетъ свѣточувствительность селена. Напримѣръ, когда Уайтъ освѣщалъ кусокъ селена въ 144.000 омовъ на мѣстѣ контакта, сопротивленіе уменьшилось до 134.000 омовъ; если же освѣщать середину—попрежнему перпендикулярно направленію тока—сопротивленіе получается 140.000 омовъ. Вслѣдствіе этого нельзя считать его опыты рѣшающими относительно вопроса, какой эффектъ больше—перпендикулярный или параллельный. Надлежало бы поставить опыты такъ, чтобы это побочное явленіе контакта было сведено къ минимуму. Менѣе всего удачный опытъ представляетъ попытка съ мѣдной сѣткой въ серединѣ селеневаго куска. Одинъ неудавшійся опытъ не отрицаетъ еще существованія того явленія, котораго ищутъ.

Дѣйствительно, Броунъ и Зигъ, измѣнивъ постановку пыта, получили оправданіе сдѣланнаго Уайтомъ предположенія. Чтобы имѣть совершенно однородную среду Броунъ и Зигъ изучаютъ заразъ только одинъ кристаллъ селена.

Размѣры кристалловъ напр. 8×0.2×0.2 мм. Для контакта они употребляютъ серебряныя пластинки *а*, *б* (рис. 1), кото-

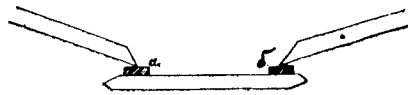

Рис. 1.

рыя крѣпко прижимаются къ кристаллу. Сопротивленіе контакта сводится этимъ къ нулю, и сопротивленіе кристалла мѣняется пропорціонально промежутку между электродами.

Главный результатъ своихъ наблюденій Браунъ и Зигъ формулируютъ такъ: измѣненіе сопротивленія происходитъ не только на поверхности, а во всемъ кристаллѣ. Освѣщали не весь кристаллъ, а лишь небольшіе отрѣзки шириною въ 0,25 мм. сверху и снизу. Получился рядъ чиселъ, характеризующихъ свѣточувствительность на всемъ протяженіи кристалла.

ТАБЛИЦА 2.

Сверху.	Снизу.
61	61
69	75
94	94
98	102
99	100
96	94
89	86
86	52
86	84
78	86
64	77.

Числа 61, 61, 64, 77 относятся къ мѣстамъ, покрытымъ отчасти серебряными пластинками *а* и *б*. Освѣщеніе этихъ мѣстъ, значитъ, невыгодно, электроды мѣшаютъ. Отъ этого эффектъ меньше, и во всякомъ случаѣ не наблюдается эффектъ Уайта. Другія числа Броунъ и Зигъ считаютъ настолько совпадающими, что они признаютъ эффектъ одинаковымъ при освѣщеніи различныхъ мѣстъ кристалла. Собственно говоря, замѣчается нѣкоторый максимумъ при освѣщеніи середины кри-

сталла.—Сравненіе обоихъ рядовъ чиселъ показываетъ, что крупнаго различія между освѣщеніемъ снизу и сверху нѣтъ. Этимъ опровергается прежнее предположеніе, что мѣняется *лишь сопротивленіе поверхностнаго слоя.*

Путь отъ одного электрода *а* до другого *б* по верхней поверхности меньше, чѣмъ черезъ кристаллъ и по нижней поверхности, и измѣненіе одного только поверхностнаго сопротивленія должно было бы дать различные результаты въ томъ и другомъ случаѣ. Еще убѣдительнѣе этотъ опытъ, если приблизить электроды до 1 мм. Тогда путь черезъ кристаллъ и по нижней поверхности въ 3 раза больше пути по верхней поверхности между электродами *а б*; тѣмъ не менѣе получается въ обоихъ случаяхъ тотъ же эффектъ. Если освѣтить сверху, сопротивленіе уменьшается на 29.2 ома, снизу—на 30.4 ома,

Итакъ, можно было бы считать доказаннымъ, что *весь* кристаллъ мѣняетъ свое сопротивленіе. Однако, вслѣдствіе рѣшающаго значенія этого обстоятельства для пониманія эффекта свѣточувствительности, Браунъ и Зигъ предприняли еще рядъ другихъ опытовъ. Они взяли два источника свѣта I' и I''. По закону Пфунда соотвѣтствующія измѣненія сопротивленія выражаются такъ: $\Delta C' = k\sqrt{I'}$; $\Delta C'' = k\sqrt{I''}$. Если освѣщать двумя источниками одновременно, должно имѣть мѣсто слѣдующее соотношеніе:

$$\Delta C = \sqrt{\Delta^2 C' + \Delta^2 C''}.$$

Если активнымъ является *весь* кристаллъ, то эта зависимость должна удовлетворяться, освѣщаемъ-ли мы обѣими лампами одно и тоже мѣсто или различныя мѣста на одной или обѣихъ сторонахъ.

ТАБЛИЦА 3.

Освѣщены двумя лампами:	$\Delta C'$	$\Delta C''$	ΔC набл.	ΔC вычисл.
одно мѣсто сверху	31.1	32.1	42.7	44.7
мѣста на обѣихъ сторонахъ .	29.9	30.2	41.7	42.4
разныя мѣста на одной сторонѣ [1])	5.4	4.6	7.6	7.2.

[1]) Другой кристаллъ

Рѣшивъ на основаніи всего приведеннаго, что дѣйствіе свѣта распространяется черезъ весь кристаллъ, Браунъ и Зигъ сдѣлали еще одинъ интересный опытъ. Они зажимали (см. рис. 2) кристаллъ $10 \times 0.12 \times 0.13$, мм³. однимъ кон-

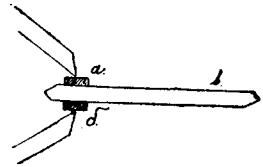

Рис. 2.

цомъ между серебряными электродами *а*, *б* и освѣщали отдаленныя мѣста *в*. Оказалось, что и тогда мѣняется сопротивленіе между электродами и притомъ почти настолько же, какъ если освѣтить мѣсто между самыми электродами.

Выяснивъ такимъ образомъ болѣе опредѣленно вліяніе свѣта на селенъ, Браунъ и Зигъ выставили однако новую загадку, новое actio in distans.

Свѣтъ въ самый кристаллъ не проникаетъ, такъ какъ уже слой въ 0.1 мм. оказывается совершенно непрозрачнымъ. Неизбѣжно приходится думать о какомъ-то вторичномъ дѣйствіи (*sympathetic mechanism*), передающемъ вліяніе свѣта въ другіе слои. Но каковъ механизмъ этого дѣйствія, Браунъ и Зигъ не въ состояніи сказать.

Хотя и приходится сознаться, что лишь одна загадка замѣнена другой, все-таки эти опыты подвинули дѣло нѣсколько впередъ. То, что до сихъ поръ наблюдали въ селеновыхъ пріемникахъ, на основаніи этихъ двухъ работъ распадается на *три* явленія: измѣненіе сопротивленія контакта металлическаго электрода съ кристалломъ, измѣненіе сопротивленія контактовъ между отдѣльными кристаллами и свѣточувствительность самаго кристалла. Второе явленіе вовсе еще не изслѣдовано и выставляется авторами въ качествѣ новой темы. Предлагается также дѣлать наблюденія надъ скоростью распространенія этого новаго эффекта свѣточувствительности на разстояніи.

Рига. *Ф. Трей.*
Политехническій Институтъ
Январь 1915 г.