

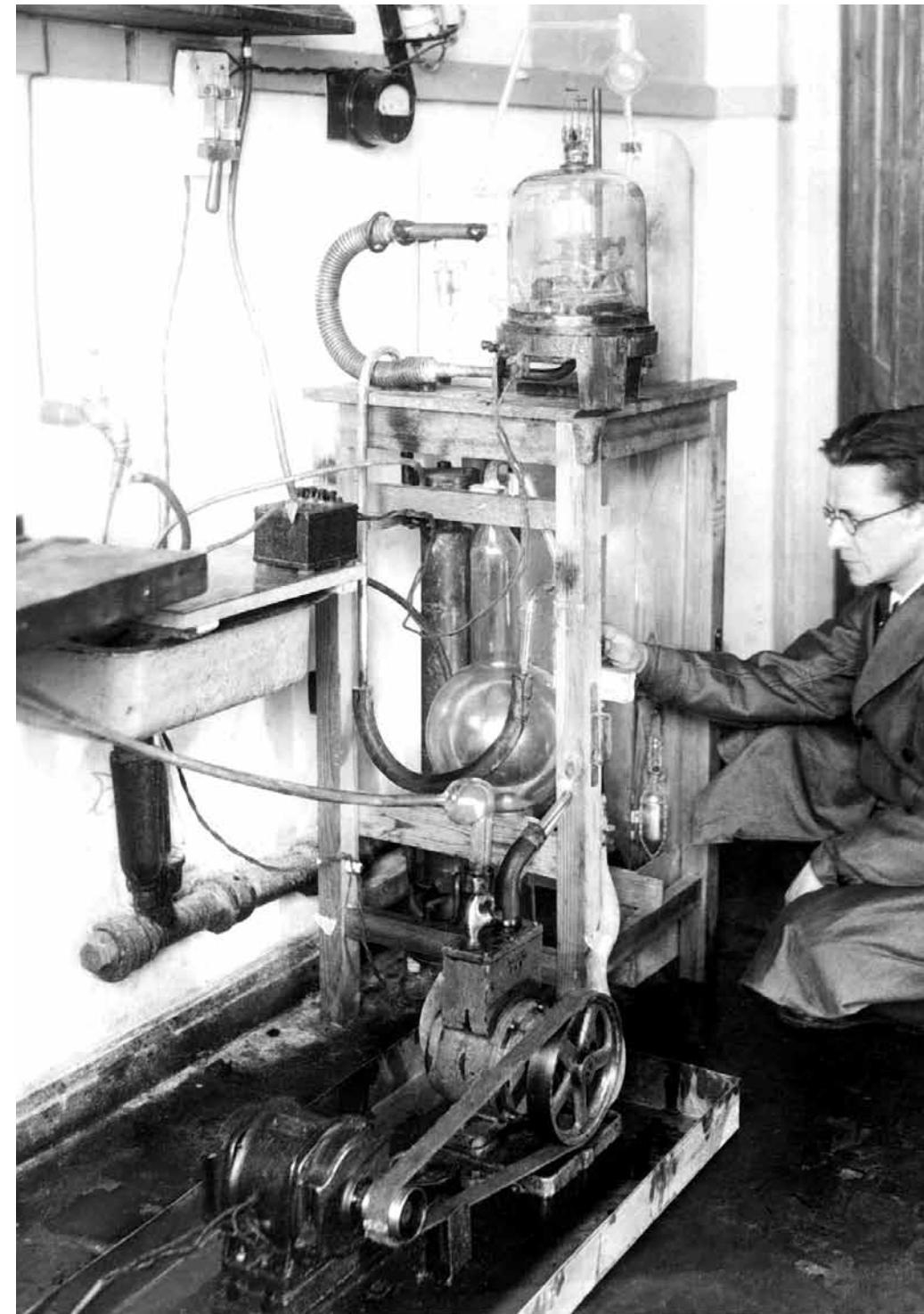
### М.М. Носков. История открытия эффекта Кикоина – Носкова

Весной 1932 г. состоялось распределение выпускников. Шестерым: А.М. Загубскому, С.В. Вонсовскому, М.М. Носкову, А.А. Смирнову, Я.С. Шуру и ... надлежало явиться по адресу: Ленинград, дорога в Сосновку, 2 ЛФТИ в качестве пополнения вновь формируемого физико-технического института – очередного детища ЛФТИ.

Физико-технический институт в Ленинграде своим рождением в 1918 г. обязан А.Ф. Иоффе и его ближайшим друзьям, петроградским молодым физикам, тяготившимся отсутствием условий для научных исследований в высших учебных заведениях царской России. Революция открыла дорогу такой инициативе, хотя на сколько-нибудь значительную финансовую помощь в то время не было возможности даже надеяться. На 15-м году существования ЛФТИ всё ещё ютился в двухэтажном приземистом особняке в стиле XVIII в., окружённом сосняком. Этот мини-дворец с белыми колоннами при входе внутри сохранил признаки аристократического происхождения: белокаменная парадная лестница с классическими перилами, танцевальный зал, ставший конференц-залом института, светлые проходы, уступившие часть своей площади лабораториям. При входе, как положено, сидел пожилой вахтёр (он или она), с которым директор института академик Иоффе неизменно здоровался, называя по имени-отчеству, так же как и любого из научных сотрудников (как он мог запомнить всех – непостижимо). Добродушие и доброжелательность постоянно излучала фигура Абрама Фёдоровича. Этому способствовал и его постоянный костюм – курточка-джермпер «заграничного» стиля. В институте пиджака он никогда не носил. Удивила нас, молодых, его способность компетентно, со знанием предмета, участвовать в обсуждении научных докладов, какова бы была их тематика. Особенно поразил его свободный разговор на английском со знаменитым Нильсом Бором, который однажды выступал в ЛФТИ на семинаре. После этого постоянными моими спутниками в долгом ежедневном пути в трамвае № 9 из центра города в ЛФТИ стали миниатюрные брошюры «Бэзик инглиш».

После довольно просторных учебных лабораторий университета в комнатах ЛФТИ было тесно, хотя никакого громоздкого оборудования не было. В большом почёте были зеркальные гальванометры голландской фирмы «Кипп унд зонен», настольные компенсаторы и магазины сопротивлений Хартмана и Брауна, электромагниты Дюбуа. Над рабочими столами нависали повешенные в комнате в несколько рядов соединительные провода. Вакуумные установки – исключительно стеклянные, с манометрами Мак-Леода, где необходимым компонентом была жидкая ртуть. Она же кипела в стеклянных диффузионных насосах. Кое-где применялись совершенно варварские переключатели слабых токов, состоявшие из шести портняжных напёрстков с жидкой ртутью, вплавленных в парафиновое основание. Здесь же неумолчно стучал форвакуумный масляный насос. Хотя в вакуумных установках были охлаждаемые жидким воздухом стеклянные ловушки, не приходится сомневаться, что ртутными парами воздух всех лабораторий был насыщен предостаточно. Прибавьте к этому поголовное увлечение исследованиями, которое удерживало сотрудников в институте до позднего вечера.

В тридцатых годах ЛФТИ уже был многопрофильным, хотя тематика большинства его лабораторий группировалась вокруг проблем физики твёрдого тела. Группа молодёжи – Алиханов, Арцимович, Н. Курчатов, Русинов, Харитон – устремилась в неведомое – физику атомного ядра. Состоялась первая в Союзе конфе-



В лаборатории металлооптики, 1945 г.



В.Ф. Плохих и М.М. Носков у самодельного газового лазера на углекислом газе, 1968 г.



М.М.Носков, С.А.Немнонов, С.В.Вонсовский на демонстрации, 1950 г.

ренция по ядру с участием иностранных учёных. А.Ф. Иоффе активно помогал развитию этих работ в Ленинграде и Харькове, но развивал и полупроводниковую тематику. В эти годы «модным» был «купрокс» – закись меди ( $\text{CuO}$ ). Существовали купроксные выпрямители тока, фотоэлементы. С той же целью изучались сульфиды металлов. О будущих «чемпионах» полупроводниковой электроники – германии и кремнии – тогда мало что было известно.

Одним из известных ещё с конца прошлого века способов изучения свойств носителей тока в металлах были измерения так называемого «эффекта Холла». Он состоит в том, что в пластинке металла, вдоль которой идёт постоянный электрический ток, при включении магнитного поля, перпендикулярного этому току, возникает электродвижущая сила в направлении, перпендикулярном току и полю.

Естественно было испытать возможности эффекта Холла на полупроводниковых материалах, в первую очередь – на закиси меди. Было известно, что при освещении этого полупроводника, охлаждённого жидким азотом, наблюдается фотопроводимость – его электросопротивление многократно уменьшается. Это явление получило название внутреннего фотоэффекта, состоящего в переходе связанных электронов в свободное состояние (зону проводимости) при поглощении световых квантов. При комнатной температуре этот эффект может быть незаметным, так как в зоне проводимости уже достаточно электронов проводимости, заброшенных туда тепловым движением. И.К. Кикоин пред-

ложил мне определить с помощью эффекта Холла знак и величину подвижности носителей тока в закиси меди при комнатной и азотной температурах, то есть для электронов проводимости разного «происхождения». Будут ли «термические» и «световые» электроны идентичны по своим характеристикам – знаку заряда и подвижности? Задача заманчива для новичка своей кажущейся простотой и ясностью ответа. Так казалось. Но простой по идее эксперимент превратился почти в настоящий детектив...

Образцы закиси меди приготавливались из медной фольги путём выдерживания её в электрической печи при температуре, не далёкой от температуры плавления меди, при ограниченном доступе кислорода – в потоке водяного пара. Электроды в виде платиновых проволочек предварительно зажимались

на краях медной пластинки. Готовый образец был определённо красив: тёмно-рубиновое кристаллическое стекло вроде броши-жучка с платиновыми лапками. Помещённый в пальцеобразный отросток стеклянного дюаровского сосуда, он располагался между полюсами электромагнита как положено при измерении Холл-эффекта – своей плоскостью перпендикулярно линиям магнитного поля. Освещался образец через сквозной канал в одном из полюсных наконечников электромагнита. Измерения при комнатной температуре прошли без неожиданностей: эдс Холла исправно меняла знак при обращении как тока в образце, так и направления магнитного поля. Интенсивный пучок белого света, направленный на образец, как и ожидалось, существенно не повлиял на показания приборов: добавочная проводимость, создаваемая светом, при комнатной температуре незаметна на фоне собственной проводимости. После заливки жидкого азота прежде всего пришлось менять всю измерительную аппаратуру – перейти на метод зарядки конденсатора со струнным электрометром в качестве вольтметра, так как электросопротивление закиси меди вместо прежней сотни тысяч Ом достигло нескольких миллиардов. Измерить Холл-эффект в таких условиях без освещения не удалось. Пришлось включить свет.

И тут началась «чертовщина»... Ожидаемая эдс Холла на поперечных электродах оказалась резко ассиметричной при обращении направления магнитного поля. И главное – не реагировала не только на переключение направления тока в образце, но даже на его полное выключение. Возникло подозрение, что мы наблюдали «термо эдс», возникшую от нагревания контактов сильным световым пучком. Поставили в качестве светофильтра кювету с раствором медного купороса, которая отсекала тепловые пучки. Всё оставалось по-прежнему... «Чудеса» прекратились, когда заметили, что тонкая пластинка эбонита, применяемая в качестве заслонки от света (случайно подвернулась, мог быть металл или картон), отсекая большую часть спектра света лампы накаливания, пропускает тёмно-красный свет: он порождал фотопроводность (внутренний фотоэффект), которую и зарегистрировали приборы. В этих условиях наконец холл-эффект на фотоэлектронах в закиси меди был измерен и привёл к значению подвижности, близкому к полученному при комнатной температуре. Как уже говорилось, измерить холл-эффект без освещения было невозможно ввиду высокого электросопротивления охлаждённой закиси меди. Результаты обработали, послали статью в журнал (ЖЭТФ). При этом совсем по-студенчески ошиблись в определении знака эдс Холла по «правилу трёх пальцев». Поэтому носители тока именуется в статье электронами, а не дырками, как бы следовало. Так или иначе, работа не принесла сенсации и у И.К. интерес к ней ослаб.

Теперь предстояло разобраться в «чудесах», от которых мы так счастливо и просто избавились с помощью эбонитовой пластинки...

Измерения облегчились, когда перешли на электростатический квадрантный электрометр, который имел чувствительность 3000 мм шкалы на вольт. Не подавая на образец внешнего напряжения, изменяли угол между плоскостью образца и магнитным полем. Когда повернули образец плоскостью вдоль поля и стали освещать перпендикулярно полю, «паразитный» эффект сильно возрос. И наконец – когда провода измерительной аппаратуры переключили на прежние «токовые электроды», эдс увеличилась до нескольких десятых долей вольта. Она исправно меняла знак при обращении направления магнитного поля, а также при освещении образ-

ца с противоположной стороны. Выяснилось, что наша «палочка-выручалочка» – эбонитовая пластинка полностью гасит эту загадочную эдс. Отсюда следовало, что она обязана своим появлением свету более высоких частот, чем красный свет, для которого образец прозрачен. Измерения сначала со светофильтрами, а потом с монохроматором показали, что эффект максимален в сине-зелёной части спектра, для которой закись меди не прозрачна. Этот свет поглощается в приповерхностном слое образца, где и локализуется его фотоэлектрическое действие. Зависимости эффекта от интенсивности света и магнитного поля оказались близкими к линейным. Только после этого в лабораторию был приглашён Абрам Фёдорович, который дотошно лично воспроизвёл все операции, из которых слагался процесс измерения, и как истый экспериментатор захотел убедиться в правильности порядка величины самым простым способом – он попросил присоединить к выходу компенсационной электросхемы стрелочный вольтметр. Ни авторы, ни сам А.Ф. не смогли тогда предложить разумное объяснение странному эффекту. Он напоминал своеобразный холл-эффект (по соображениям симметрии), но необходимый для него «первичный ток» должен был течь в направлении света, по нормали к поверхности образца, где у него не было замкнутого пути. Явными были лишь два фактора: свет и магнитное поле. Поэтому-то и появился первоначальный термин «фотомагнитный эффект». Краткая заметка о новом явлении была спешно послана в лондонский журнал «Нейчур», где и была опубликована (1933. V. 135, № 725.) в характерной для этого журнала постоянной рубрике, носящей подзаголовок, гласящий, что издатели «не отвечают за достоверность сведений, сообщаемых авторами заметок». Более развёрнутая статья вышла в советском журнале *Zeitschrift der Sowjetunion* (1934. Т. 5, № 4 (586)). В ней содержится поспешное предположение Исаака Константиновича о возможном участии в этом явлении внешнего, поверхностного фотоэффекта. Более правдоподобное теоретическое объяснение было позднее сформулировано Лифшицем.

Обычно после опубликования научной новинки уже через год-два в нескольких странах появляются сведения о новых исследованиях в том же направлении. С фотомагнитным эффектом этого не произошло. Первая публикация, видимо, вообще прошла незамеченной, хотя появилась в распространённом английском журнале. Только через 20 лет (!), в 1953 г. ФМЭ был вновь «открыт» одновременно в Англии и Франции на полупроводнике германии. После этого И.К. Кикоин (уже в Москве), С.Д. Лазарев и др. в течение ряда лет провели дальнейшие работы на германии, соединениях индия с сурьмой и мышьяком, открыли ФМЭ на электронно-дырочном переходе, осцилляции нечётного и чётного эффектов с магнитным полем, кристаллическую их анизотропию и ряд других новых явлений. Был проведён эффектный опыт, доказавший существование в образце циркулирующих токов, которые, взаимодействуя с магнитным полем, заставляли уравновешенный германиевый цилиндр вращаться при освещении.

Ныне ФМЭ изучен у нас и за рубежом, по крайней мере, в 20 полупроводниках. На основе ФМЭ созданы маломощные детекторы инфракрасного излучения и магнитометры, способные работать на очень высоких частотах. Развитие теории ФМЭ стимулировало дальнейшее совершенствование современной квантовой теории твёрдого тела.