

МОДЕЛЬНЫЕ ОПЫТЫ К ТЕОРИИ СЕВЕРНОГО СИЯНИЯ
ШТЁРМЕРА И „ЭХО МИРОВОГО ПРОСТРАНСТВА“ **Эрнст Брюхе Берлин*

В июньской тетради „Naturwissenschaften“ за 1928 г. К. Штёрмер сообщает о так называемом „эхо мирового пространства“ ¹, наблюдавшемся в 1927 г. Хальсом ², а позднее им самим и Ван-де-Полем ³, и толкует это „эхо“ в духе своей теории северного сияния ⁴.

Эта теория, берущая свое начало от великолепных опытов Биркеланда ⁵, сводит явление северного сияния к электронному излучению солнца. Все остальное вытекает из этого основного предположения с математической необходимостью, так как дело идет собственно о математической проблеме — найти движение электронов в магнитном поле земли.

* „Эхо мирового пространства“ представляют собой повторения через большие промежутки времени радиосигналов, посылавшихся коротковолновой станцией (РСJJ, длина волны 31,4 м). Промежутки эти так велики (от 8 до 25—30 сек.), что электромагнитная волна должна за это время пройти колоссальные космические расстояния. Известный вторичный сигнал, обходящий землю по длинной дуге большого круга, наблюдается через $\frac{1}{7}$ сек. после основного. „Космические эхо“ наблюдались несколько раз, различными лицами и в различных местах, так что существование их несомненно.

Если теория Штёрмера действительно верна, т. е. если эти эхо действительно космического происхождения, как это ни невероятно, то они представляют очень большой интерес. Мы имеем здесь первую по существу посланную, и полученную обратно, телеграмму в пространство.

Примечание переводчика.

Результат теоретического исследования, играющий для нас особо интересную роль, заключается в том, что земной шар окружен кольцевым тороподобным пространством, в которое не могут попасть электроны, идущие от солнца. Этот „тор“, частично в разрезе, представлен на рис. 1 и лежит симметрично относительно магнитного экватора земли. Предполагая постоянной скорость электронов, тор этот ограничивает землю снаружи кривой поверхностью наподобие вогнутого зеркала. За этой поверхностью лежит постепенно убывающий по мере удаления от земли пучок электронных путей. Таким образом перед земным эква-

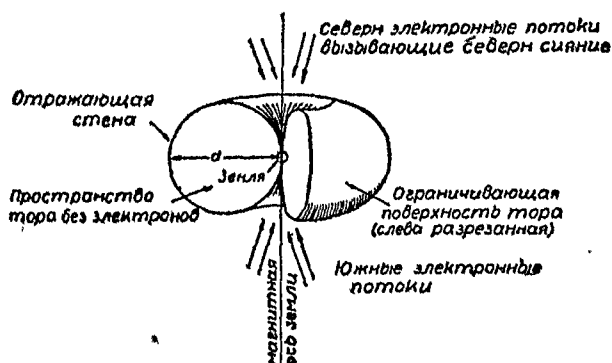


Рис. 1.

тором существует граница между электропроводящим пространством, содержащим электроны, и пространством, не содержащим электронов. Эта граница отражает электромагнитные волны подобно слою Хевисайда. Итак, мы имеем простое объяснение „эхо мирового пространства“, — объяснение, дающее величины интервалов „эхо“, хорошо согласующееся с наблюдениями. Это объяснение делает также понятной сравнительно большую (порядка $1/10$) интенсивность огражденного излучения. Материалы по этому „эхо“ был расширен Галле, Таллоном и Ферри во время солнечного затмения 9 мая 1929 г. Галле и Таллон⁶ смогли установить на экваторе — особенно благоприятном месте против электронного рефлектора — отчетливые и частично очень интенсивные эхо. Эти эхо запаздывали до 30 сек. по отношению к сигналу.

Еще до сих пор неясно, почему эти эхо, наблюдавшиеся весьма часто в день солнечного затмения, не были обнаружены во время полной фазы затмения и некоторое время до него, хотя луна и не находилась вне тора. Если принять, что ненаблюдение эхо—явление не случайное, то нужно сперва думать о каких-то вторичных процессах в нашей атмосфере при прекращении солнечного освещения. Могло ведь случиться, что слой Хёвिसайда при переходе из солнечного освещения в тень меняет свою структуру и свойства и действует совершенно иначе на электромагнитные волны во время затмения. Волны либо „отражаются“ уже в земной атмосфере, так что не проникают в пространство тора, лишенное электронов, либо они так сильно отклоняются от своего первоначального направления, что совершенно меняются условия отражения на граничной поверхности тора, т. е. условия обратного возвращения волн.

Наблюдавшиеся большие промежутки эхо, особая частота его на экваторе и выполнение определенных предсказаний из теории Штёрмера являются слишком сильными аргументами, чтобы вышеуказанные в отдельности непонятные факты могли привести к оставлению штермеровского объяснения. Сам Штёрмер⁷ поэтому с полным правом указывает по поводу опытов⁸ Ван-де-Поля⁹ и Эппльтона, давших отрицательные результаты, что прежде чем можно будет построить окончательное представление, необходимо сперва пополнить наблюдения.

Благодаря объяснению „эхо мирового пространства“ снова усилился всеобщий интерес к Штёрмеровой теории северного сияния. Было поэтому особенно соблазнительно подкрепить модельным опытом эту теорию, которая, больше чем какая-либо другая, к этому подходит по своей природе и простоте физического содержания. Не нужно оценивать подобную модельную реализацию теории, только как „иллюстрацию“. Не говоря уже о том, что эта реализация может привести к электронным траекториям или же к особенностям упорядоченных электронных лучей, не обнаруженных еще расчетом, она дает кроме того возможность сравнить космическое поведение электро-

нов с лабораторным опытом и обнаружить возможную между ними разницу. Я полагал поэтому использовать имеющуюся теперь, благодаря открытию „ниточных лучей“¹⁰, возможность для проведения модельного опыта к теории северного сияния.

По поводу этих опытов, описание которых должно появиться во всех подробностях в *Zeitschrift für Astrophysik*, я хотел бы сообщить кратко и здесь. При этом я останусь в рамках упомянутых вначале сообщений Штёрмера, где имеются главные черты его теории. Я должен ограничиться немногими опытами, в которых количественное отойдет на задний план. Я поставлю во главу угла „пространство тора“, играющее столь важную роль для объяснения „эхо мирового пространства“ — выберу и расположу эксперименты с этой точки зрения.

О п ы т ы

Модельная установка. Земной магнит представлен в модели электромагнитом, заделанным в медный шар и представленным на рис. 2. Можно показать, что поле такого магнита, соответственно теоретическому предположению, весьма хорошо совпадает с полем диполя. Некоторые опыты были произведены с другими специальными установками, на что

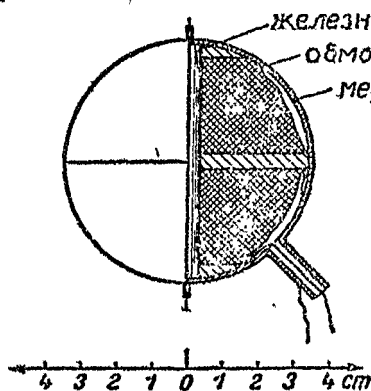


Рис. 2.

будет в дальнейшем указано в тексте. Космическое излучение воспроизводится электронным излучением от оксидного катода при помощи 200 и соответственно 250 в. Были произведены опыты как с широкими электронными пучками, так и с отдельными электронными лучами. Вследствие возбуждения остатков газа и паров, имею-

щихся в пространстве, где производится опыт, лучи электронов светятся, так что их можно фотографировать. В качестве отдельных „электронных лучей“, осуществление которых представляет необходимую предпосылку этих опытов, использовались „нштейнские лучи“, свойства которых я недавно описал.

Форма электронного тора. Недоступное для электронов пространство тора (см. рис. 1), лежащее по Штёрмеру вокруг земного экватора, воронкообразно подходит к земному шару в северном и южном полюсах. Это значит, что электроны могут достигать близ полюсов до самой земной поверхности. Вот почему известные световые атмосферные явления ограничены областью полюсов: мы говорим о северном и южном сияниях. То, что столь своеобразно сформированное пространство без электронов окружает земной шар, становится понятным, если посмотреть, как влияет силовое поле при различных направлениях электронных путей. Если электронный луч приближается в экваториальной плоскости земли, то он испытывает, вообще говоря, максимальное отклонение, так как его путь проходит перпендикулярно к силовым линиям. Если напротив луч приближается вдоль магнитной оси земли, то он совершенно не подвергается влиянию, т. е. достигает земного шара. Может достигнуть поверхности земли также и проходящий издали луч, который испытает такое отклонение в земном поле, что его направление вблизи земли „случайно“ совпадает с направлением силовой линии, спускающейся к земле. Благодаря этим соображениям пространство тора теснейшим образом связано со строением силового поля. Совсем не случайностью является то, что имеется далеко идущее сходство (рис. 3) между меридиальной кривой, вычисленной Штёрмером, и силовой линией диполя.*

* Так как мы не нашли в литературе ни картины силового поля диполя ни уравнения силовых линий, то мы обычным путем вывели ортогональные кривые из известных уравнений линий потенциала. Эти расчеты любезно произвел д-р Энгель.

Навигание электронного луча на силовой пучок. Мы видели, что электронный луч может двигаться вдоль магнитной оси вплоть до земли. Он имеет, вообще говоря, тем больше шансов достичь земли, чем тесней он будет примыкать к силовой линии, ведущей к земле. Как в частности происходит спуск к земле, показывает чертеж Штермера на рис. 4 слева. При этом электронный луч наматывается на силовую линию и так постепенно продвигается вперед. Но приближение не идет неограниченно далеко. Более того, луч в конце концов поворачивается обратно.

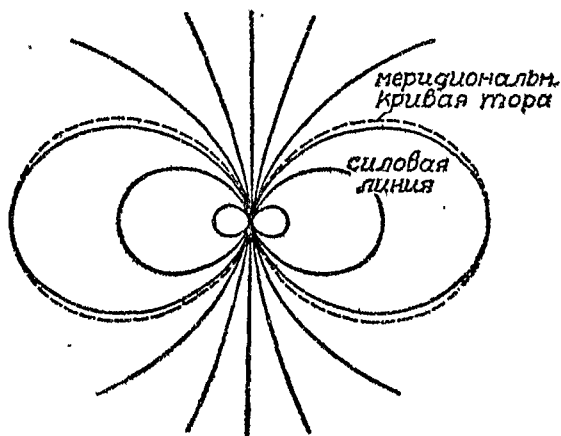


Рис. 3.

Модельный опыт во всяком случае подтверждает теорию: рис. 4, справа, показывает электронный путь, снятый в поле

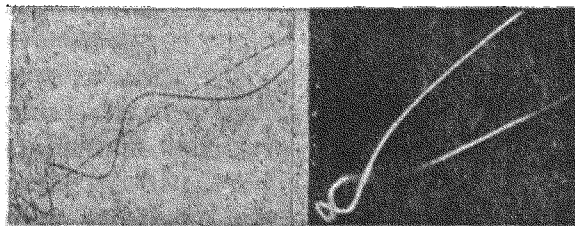


Рис. 4.

земной модели. Как этого требует теория, наступает закручивание вокруг конуса силовых линий и наконец поворот. Неполная идентичность теоретического рисунка и опытного имеет, с одной стороны, основание в том, что поле в опыте не совсем совпадает с полем диполя, а с другой стороны, — в том, что выбраны несколько другие начальные условия. Нужно заметить здесь, где имеется единственное в этой

работе прямое сопоставление теоретической и экспериментальной траекторий, что я вообще не стремился к полному совпадению траекторий с случайно выбранными начальными условиями и экспериментом. Важна только принадлежность кривых к одному семейству, потому что дело идет о количественном сравнении.

Глубина проникновения электронного луча. Чем меньше в нашем случае угол (точки вылета вблизи оси диполя) между начальным направлением и сплывой линией, проходящей через эту точку, тем дальше может при-

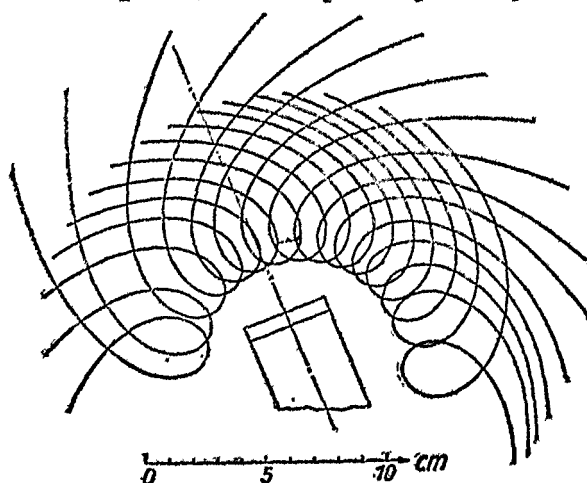


Рис. 5.

близиться луч к поверхности земли, прежде чем он возвратится. Если поворота не произойдет до того, как луч проникнет в земную атмосферу, то мы наблюдаем с земли луч „северного сияния“.

Я покажу теперь на опыте, как разворачивается возвращающаяся траектория и

как луч все больше приближается к магнитному полюсу при уменьшении „угла влета“. Две оригинальных фотографии видны на табл. I, фот. 1 и 2. Из практических соображений здесь сдвинута не точка вылета луча, а влияющий магнит повернут над опытным баллоном. Потом из 50 отдельных снимков выбраны некоторые и нарисованы против неподвижного магнита на рис. 5. Заметно, как луч при уменьшении угла влета все больше и больше накручивается и таким путем последовательно приближается к полюсу.

Траектории, идущие в направлении силовых линий и перпендикулярно к ним. Для объяснения формы электронного тора мы рассмотрели крайние

возможные типы траекторий. Это были те пути, которые проходили преимущественно в направлении силовых линий и перпендикулярно к ним. В предыдущем абзаце мы привели фотографии и чертежи для главного представителя первой группы, которая может спуститься в воронкообразную выемку до земли. Можно было бы показать еще и многие другие кривые; много также можно сказать о „зоне встречи“ на земле, о влиянии кругового потока вокруг земного экватора и т. д. Но в этом сообщении мы не будем останавливаться на опытах, предназначенных для изучения теории полярного слияния. Для „эхо мирового пространства“ имеют главным образом значение пути, идущие перпендикулярно к силовым линиям. Эти пути лежат против земного экватора по ту сторону границы тора. Между земным шаром и ними простирается свободное от электронов пространство тора, начинающееся резко выраженной граничной поверхностью.

Свободная от электронов область постоянного магнита. Не только наша земля, но и каждый другой магнит достаточной силы имеет свободные от электронов области. Это может показать следующий опыт с постоянным подковообразным магнитом, который обнаруживает существенно более резкую кривую, ограничивающую свободную область, чем это можно получить при помощи диполя. Баллон, имевший только несколько сантиметров глубины, помещался параллельно плоскости таблицы. Подковообразный магнит ставился таким образом, что один полюс был впереди сосуда, а другой позади. Пучок электронов разбрызгивался в форме веера из раскаленного катода, преимущественно в плоскости таблицы, и погружался в перпендикулярное ей магнитное поле. При различных положениях магнита возникают (показанные на фот. 3 табл. I) резко разделенные области: с электронами и пустые.

Эти опыты дают, правда, грубую, картину взаимодействия солнца и земли, так как и в этом случае дело идет о точечном источнике на конечном расстоянии. Но эти опыты между тем не раскрывают математического понятия пространства тора, потому что это пространство относится только

к лучам, которые приходят из бесконечности со всех направлений. Однако и в этом случае мы можем попытаться осветить дело с нашим постоянным магнитом. Для этого мы будем „обстреливать“ магнит не из одной точки по разным направлениям, а из разных точек всегда перпендикулярно силовым линиям и притом так, чтобы луч приблизился возможно дальше.

Из экспериментальных соображений опыт производился

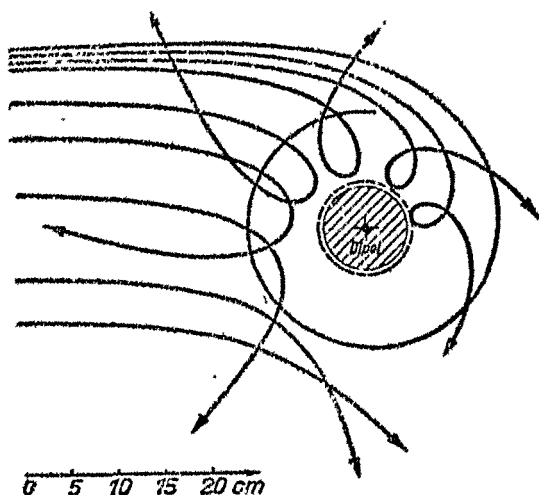


Рис. 6.

таким образом, что не источник лучей менял свое положение относительно неподвижного магнита, а магнит вращался при неподвижном источнике. Из 16 отдельных снимков (пример которых дает фот. 4 табл. I), возник таким путем рис. 6, который дает уже довольно правильную математическую

картину граничной кривой тора как по форме, так и по положению.

Свободная от электронов область в экваториальной плоскости земли. Для диполя несравненно труднее показать граничную кривую, лежащую в экваториальной плоскости, так как электроны, не совсем точно летящие к этой плоскости, отклоняются, странствуют например к полюсам и размывают таким путем контуры граничной кривой. Наилучший снимок, который я получил, воспроизведен на фот. 11 табл. 2. Он является особенно ценным постольку, поскольку видимый здесь граничный круг тора (немного вне пунктирного экватора земной модели) в любом отношении соответствует математическому понятию электронного тора.

После того как мы видели, каким образом граничный круг разделяет экваториальную плоскость на свободную от электронов область и наполненную ими, интересно также посмотреть, где лежит этот граничный круг у земли. Наблюдение над „эхo“ позволяет нам простейшим образом оценить искомое расстояние. Если мы примем к тому же, что более длинные промежутки (интервалы) „эхo“ обусловлены запутанными отражениями или другими какими-либо побочными влияниями, то мы должны будем вставить для прямого отражения один из наиболее коротких наблюдавшихся промежутков „эхo“ — около $3\frac{1}{2}$ сек. Из этого промежутка времени следует

$$d = \frac{c \cdot t}{2} = \frac{300\,000 \cdot 3.5}{2} = 5,3 \cdot 10^5 \text{ км} = 83 \text{ земных}$$

радиуса $\sim 1,5$ удаление луны.

Непериодические траектории в экваториальной плоскости. Плоские траектории, лежащие по ту сторону граничного круга в экваториальной плоскости, выделяются по сравнению с пространственными путями своей простотой и важностью для рассмотрения масштабов. Они интересны постольку, поскольку все они направлены в одну и ту же сторону, как это показано на рис. 7. На первый взгляд не вполне ясно, каким образом при непрерывном изменении направления полета (см. опять рис. 7), диполь с одной стороны траектории падает на другую сторону.

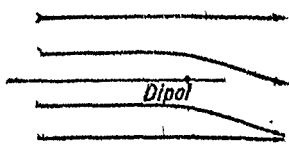


Рис. 7.

Как примеры таких траекторий, на табл. I показаны фот. 7, 8 и 9 — три кривые, полученные в поле диполя. Затем на рис. 8 показана картина, составленная из ряда таких экспериментально полученных траекторий. Здесь мы не можем останавливаться на доказательстве того, что этот рисунок находится в количественном согласии с полученным Штёрмером из теории чертежем.

Намеченный выше вопрос находит свое разрешение в наличии некоторого безукоризненного кругового пути, к кото-

рому при изменении направления вылета, асимптотически приближаются с обеих сторон электронные траектории.

Круговой путь и граничный круг. Между радиусом s этого кругового пути и радиусом d граничного круга существует по теории соотношение:

$$d = (\sqrt{2} - 1) s = 0,41 s.$$

Опыт позволяет проверить это соотношение. Из фот. 11 табл. 2, в которой оба круга выделяют область, наполнен-

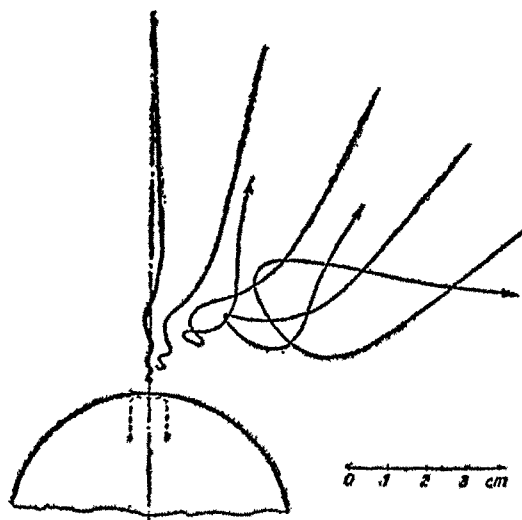


Рис. 8.

ную электронами, следует, что $d = 0,42 s$. Так как мы знаем теперь соотношение между радиусом s и радиусом граничного круга d , то можно вычислить его значение из известного уже для земли радиуса d . Отсюда следует:

$$s = \frac{5,3 \cdot 10^5}{0,41} = 1,3 \cdot 10^6 \text{ км.}$$

Круговой путь и скорость электронов. Если, как в нашем эксперименте, известна скорость электронов и магнитный момент диполя, то этим самым дано также и положение кругового пути. Этот путь появится именно тогда, когда отклоняющая сила поля настолько велика, что центр кривизны как-раз попадает в диполь, т. е. когда:

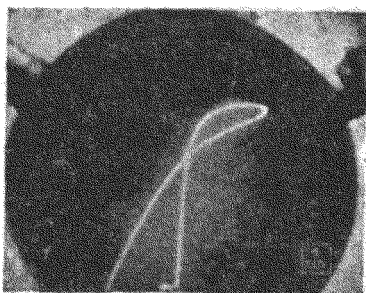
$$H = \left(\frac{m}{e} \right) \frac{v}{c} = \frac{M}{c^2}.$$

Откуда следует

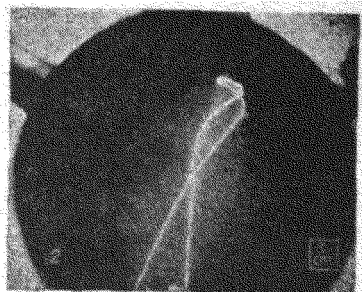
$$c = V \left(\frac{e}{m} \right) \frac{M}{v},$$

где M — магнитный момент диполя, H — напряжение поля

ТАБЛИЦА I.



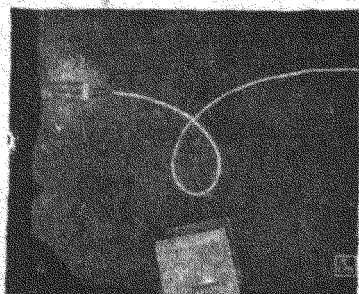
1



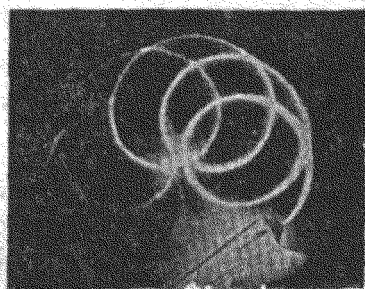
2



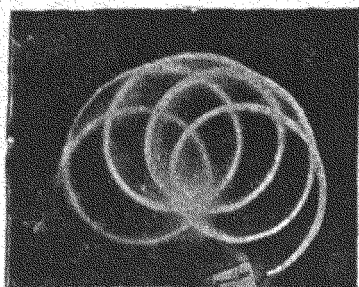
3



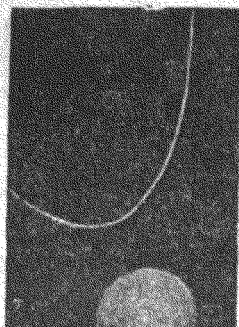
4



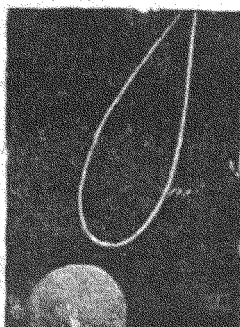
5



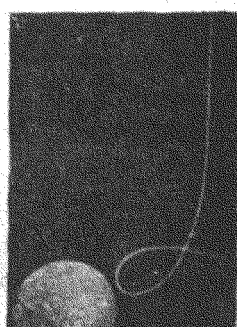
6



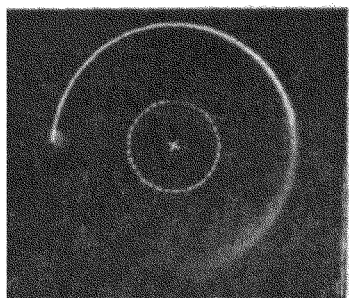
7



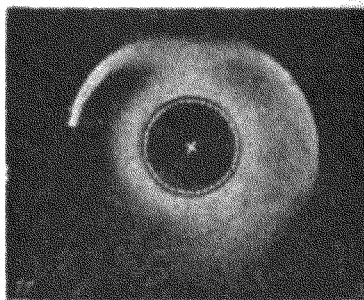
8



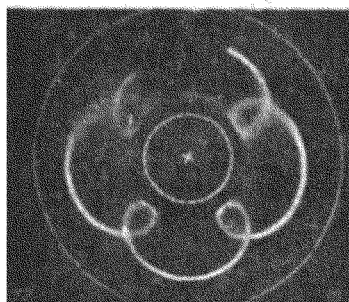
9



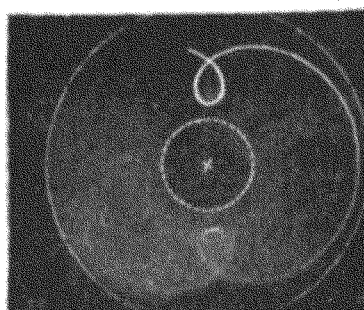
10



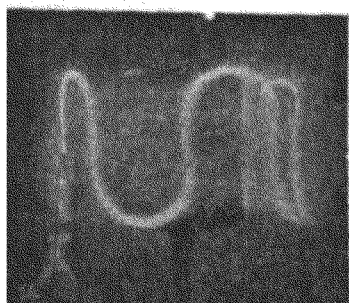
11



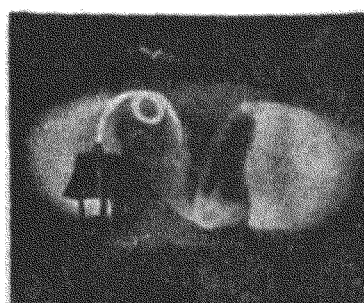
12



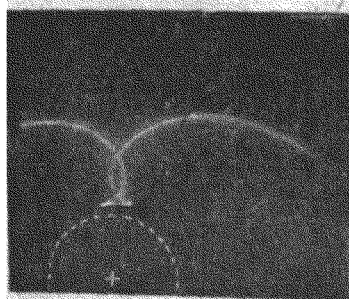
13



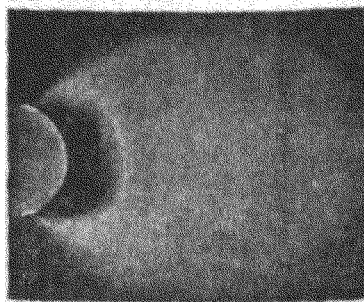
14



15



16



17

в гауссах, $\frac{e}{m}$ — отношение заряда к массе, v — скорость электронов.

Так как в фот. 10 сила тока $= 0,6$ а и отсюда магнитный момент составлял 6500 см^3 гаусс., и так как использовался луч, имеющий скорость $8,6 \cdot 10^8 \text{ см/сек.}$, соответствовавший 200 в., то $C = 11,2 \text{ см.}$, что находится в хорошем согласии с опытом, для которого $C = 10,5 \text{ см.}$ Если M и C известны, можно обратно вычислить из верхнего равенства скорость электронов.

Так как для земли $M = 8,4 \cdot 10^{25} \text{ см}^3$ гаусс., а из наблюдений над „эхо“ мы вычисляем d и соответственно s , то для скорости космических электронов следует значение $v = 0,95$ скорости света. А это значение во всяком случае сравнимо со значениями, полученными другими методами.

Рассмотрение масштабов. Наши опыты только тогда будут иметь количественно полное значение, если мы составим себе совершенно ясное представление относительно соотношения космического масштаба по сравнению с опытным. Не требует уже более подробного объяснения то, что круговой путь имеет наибольшую важность для подобных исследований. Радиус s является вместе с тем естественной единицей всей проблемы и будет поэтому положен в теории вообще равным 1. Если s для двух опытов одинаково велико, то все соответственные траектории идентичны, каковы бы ни были магнитный момент и скорости электронов. Если модельный опыт должен производиться в тысячу раз меньшим земным шаром, то нужно, соответственно выбрав M и v для этого опыта, и s уменьшить в 1000 раз.

Пользуясь точными числовыми значениями, можно нарисовать данную на рис. 9 сравнительную картину. Слева от начала 0 нанесен космический масштаб, направо — масштаб опыта. Рисунок получен фотографированием луча, отклоненного в экваториальной плоскости диполя. Если наш опыт является во всех деталях истинной картиной действительности, то мы должны мыслить шаровой магнит уменьшенным до $0,6 \text{ мм}$, как это указано на рис. 9. При

этом уменьшении нашего шарового магнита магнитный момент должен был бы сохранить свою величину. Требование это экспериментально выполнить конечно нельзя. Однако и без этого уменьшения мы до тех пор получаем правильную картину, пока лучи не вступят во взаимодействие с поверхностью чудовищно огромной земной модели.

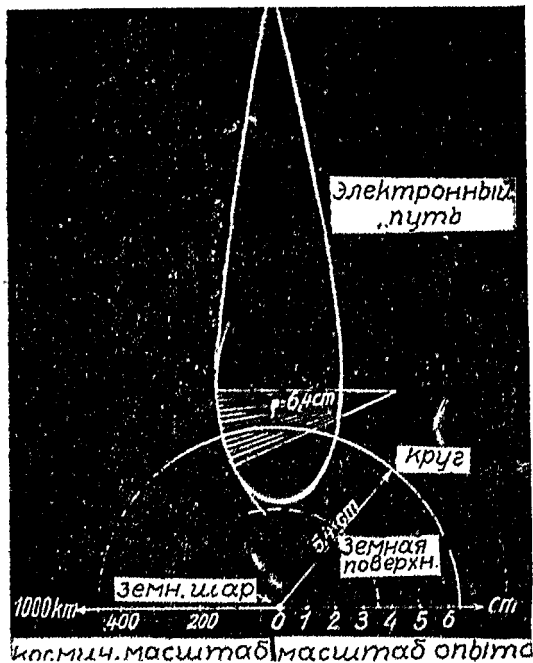


Рис. 9.

Рис. 9 дополняет исследование кроме того еще постольку, поскольку он показывает, что сфотографированный электронный луч имеет в точке пересечения с „кругом масштабов“ одинаковую кривизну. Это так и должно быть, ибо равные напряжения поля в данной точке обуславливают равную кривизну пути.

Периодические траектории в экваториальной плоскости. Мы обозначили круг радиуса $= 0,41$ см как границу прибли-

жения всех электронов и как область, свободную от них внутри. Что случится однако, если мы впустим электроны внутрь этой области? В том случае естественно опять получаются электронные траектории, которые принципиально отличаются от рассмотренных тем, что они не простираются в бесконечность. А именно это и значит, что обратно, в согласии с нашими рассуждениями, ни один электрон не может проникнуть из бесконечности во внутрь граничного круга.

Для иллюстрации „периодических путей“ нужно сперва сообщить о сравнительно легко осуществимом опыте. В поле

большой катушки, помещенной позади или спереди плоскости рисунка, высылаются перпендикулярно силовым линиям, т. е. в плоскости чертежа, электронный луч. Так как магнитное поле увеличивается вблизи оси катушки, то при подходящем выборе силы тока появляется более или менее сильно искривленные периодические траектории. Примерный вид дают фот. 5 и 6 табл. 1.

Труднее было получить периодические пути в экваториальной плоскости диполя. Фот. 12 и 13 табл. 2 показывают подобные пути в хорошем согласии с теорией ¹¹. В фотографии потом был дорисован кругов ий путь. Рисунки показывают очень характерные для периодических траекторий два граничных круга.

Пространственные траектории. Оставим, наконец, экваториальные пути, давшие уже все существенное об областях, свободных от электронов, вокруг земного экватора, и обратимся к тем пространственным путям, которые проходят вне граничного круга и совокупность которых образует отражающую стену тора.

Уже рассмотрение одних непериодических плоских путей привело нас к большому количеству различных кривых, так что для демонстрации пришлось взять только некоторые из них на выбор. Легко понять, насколько большее число путей будет иметь место в пространстве. Если в плоскости возможно бесконечное множество путей, то в пространстве — бесконечное число раз таких бесконечных множеств. Однако подобно тому, как все плоские траектории примыкают к „особой“ круговой траектории, так и группы пространственных кривых связаны с некоторым пространственным периодическим путем, к которому они асимптотически приближаются.

Непериодические пространственные пути. В качестве типичного представителя пространственных путей мы приведем только один пример. Это траектория, которая находится одновременно посередине между до сих пор рассмотренными плоскими путями экваториальной плоскости и пространственными траекториями, наклонно пересекающими эту экваториальную плоскость.

Результат эксперимента показан на фот. 16 табл. 2. Электронный луч описывает вблизи граничного круга почти непосредственно резкую фигуру, приблизительно перпендикулярную к предыдущим и последующим плоскостям орбит.

Периодические пространственные траектории. Периодический путь, полученный на опыте и принадлежащий к простейшей группе периодических траекторий, вычисленных Штёрмером, показан на фот. 14 табл. 2. Эта фотография была получена при выпуске луча перпендикулярно к экваториальной плоскости и для вполне определенной силы тока в электромагните. Возможность получения подобных кривых путей при таком первоначальном направлении луча становится совершенно ясной, если рассмотреть картину силового поля и все действующие на луч в таком поле компоненты сил. Из запутанных периодических пространств кривых, только теперь вычисленных Штёрмером, мы рассмотрим еще один сравнительно простой случай.* Это представленный на фот. 15 табл. 2 сам в себе закрученный путь.

Чем запутаннее становятся траектории, тем, вообще говоря, теснее прилегают они к наружной поверхности пространства тора. Поднимаясь с экваториальной плоскости, они достигают наивысшей точки, а затем, следуя искривлению тора, спускаются более или менее глубоко к земле. При этом они делают одну, две или еще больше петель, смотря по тому, как глубоко они проникают. Обычно эти траектории симметричны относительно плоскости экватора. Электроны описывают таким образом петли вблизи северного полюса, „странствуют“ затем к южному полюсу, где опи-

* Проф. Штёрмер любезно предоставил в мое распоряжение свои кривые еще до опубликования, за что я его сердечно благодарю. Вычисленные и полученные из эксперимента кривые согласуются между собой, поскольку они относятся к одному семейству кривых. Одна часть вычисленных путей была слишком сложна для экспериментального подражания. С другой стороны, и опыт дал пути, до сих пор еще не найденные вычислением. (В настоящее время напечатано: Z. Astrophysik I, 237, 1930.)

сывают такие же самые петли, и т. д. Имеются, однако, пути, несимметричные к плоскости экватора, и притом такие, у которых следующие друг за другом „петли“ не соответствуют.

Пространство тора. Обсуждавшиеся пути проходят вместе в большой близости от граничного круга. Если мы нарисуем бесконечное множество возможных и появляющихся в природе путей все вместе, то они заполнят вне диполя область с резкой граничной поверхностью против диполя. Мы получаем столь важную для „эхо мирового пространства“ отражающую поверхность тора. Ее меридиальную кривую можно также непосредственно показать на опыте. При этом „обстреливают“ земную модель не отдельным лучом, а целым пучком таких лучей. Уже в 1900 г. Биркеланд успешно проделал такие опыты.

Количественно верно показать меридиальную кривую во всяком случае невозможно, так как электронная „подушка“ со всех сторон охватывает экватор диполя, и меридиальная кривая пропадает среди этой „подушки“, потому что должна фотографироваться через нее. Поэтому нужно было отказаться от количественного совпадения и выбрать надлежащее положение точечного источника электронов, при помощи которого граничная кривая появляется отчетливо, хотя и слишком далеко от шара. Так был получен снимок 17 табл. 2, где электроны нужно считать приходящими справа.

У земли пространство тора безусловно не имеет такой резкой границы, так как едва ли выполняется молчаливое допущение, что дело идет об электронном излучении с одной единственной скоростью. Так же различно выражена эта граница по силе (интенсивности), практически вероятно совершенно исчезая в определенные моменты. Вместе с тем, предполагая, что солнце излучает электроны, не подлежит кажется сомнению самое существование „тора“ и отсюда возможность с полным правом привлечь его для толкования „эхо мирового пространства“.

Реферированные здесь опыты показали, что вычисленные Штёрмером вплоть до деталей удивительных по

форме траектории допускают проверку модельным опытом. Можно даже сказать, что по своеобразию и красоте природа перещеголяла вычисленные Штёрмером кривые. *

ЛИТЕРАТУРА

1. C. Störmer, *Naturwissenschaften* 17, 643, 1929; ср. также первое сообщение, 122, 681, 1928, и C. r. 187, (4), 811, 1928.
2. J. Hals, Цитировано по сообщению Штёрмера, ср. прим. 1.
3. V. d. Pol, *Nature* 122, 878, 1929.
4. Подобные, но не столь резко выраженные запаздывания эхо были известны уже раньше. Ср. A. H. Taylor и L. C. Young, *Proc. Inst Radio Eng.*, 16 Mai 1928.
5. Kr. Birkeland, *The Norwegian Aurora Polar Expedition* 1902/3, London, 1913.
6. J. B. Galle и G. Talon, g. Ferrié, C. r. 190, 48, 1930 ср J. B. Galle, *Londe Electrique* 9, 257, 1930.
7. C. Störmer, C. r. 190, 106, 1930.
8. Ср. также G. Ferrie, C. r. 190, 48, 1930.
9. V. d. Pol, *Nature*.
10. Brüche, в сотрудничестве с W. Ende. *Z. Physik* 64, 186, 1930.
- *11. Ср. C. Störmer, *Arch. Sci. Physic. natur.* [4] 24, 352, 1907 (Рис. 21.)

* Экспериментально найденные периодические пространственные траектории, со времени написания этой работы в августе 1930 г., дали новые подтверждения теории и дальнейшие, нерассчитанные еще теоретически формы путей.