

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЫСШИХ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ ПРИ ПОМОЩИ РАДИОВОЛН ¹

Г. Рукоп, Кельн

Техника высокой частоты позволяет изучать свойства верхних слоев атмосферы различными методами. Здесь существуют следующие возможности: измерения напряженности поля, исследования радиоприема, статистика трансокеанской радиотелеграфии, опыты по телевидению, специальные методы измерения и пеленгирование.

Ниже приводятся данные из всех этих областей; целью настоящей сводки является создание по возможности полной картины наших современных знаний по этому вопросу.

1. Преходящие гипотезы и исследования

Уже в самом начале развития радиопередачи были наблюдаемы неожиданно большие напряженности поля и соответственно большие радиусы действия беспроволочной телеграфии, которые позволили Кеннели (1902) и Хевисайду (1902) высказать предположение о существовании на больших высотах (около 100 км) проводящего слоя, созданного солнечным излучением. Эта же гипотеза была высказана еще Стюартом (1882) и Шустером (1886) на основании исследований явлений земного магнетизма. Но только значительно позже удалось дать большое количество экспериментальных подтверждений этой гипотезы.

В настоящее время отражающее образование в верхних слоях атмосферы, имеющее более сложный характер, чем это предполагалось раньше, называют „слоем Кеннели-Хевисайда“.

Во времена длинноволновой телеграфии нельзя было создать достаточно ясного представления о слое Кеннели-Хевисайда. Ему приписывались колебания силы приема и аномальные напряженности поля, наблюдавшиеся на больших расстояниях. Подробные литературные данные по этому вопросу приводятся в обзоре Сакловского. В разделе 12 мы еще вернемся к этому вопросу.

Открытие коротких волн и их применение для трансокеанской связи дало большой опытный материал. Наиболее важными результатами, полученными при этих исследованиях, являются следующие:

¹ Elektrische Nachrichten-Technik (E. N. T.) 100, № 2, 1933, перевод Н. Н. Малова.

значительная дальность действия, часто охватывающая по несколько раз всю окружность Земли, мертвые зоны (зоны молчания), оптимальные длины волн, меняющиеся в течение суток, причем днем оптимальная волна самая короткая (от 14 до 18 м), в сумерки несколько более длинная (от 18 до 25 м) и ночью наиболее длинная (от 25 до 40 м).

Далее, были сделаны попытки точного расчета ионизации траектории луча, отражения, преломления и поглощения в верхних слоях атмосферы. Они смогут дать удовлетворительные результаты лишь после того, как для теории будет создана достаточная база на основании экспериментального изучения замечательных процессов, происходящих в верхних слоях атмосферы. Об этих экспериментальных результатах, которые в настоящее время нельзя еще считать исчерпывающими, мы и будем говорить в дальнейшем.

2. ТРАЕКТОРИИ ЛУЧЕЙ

Для установления основных точек зрения, на основании которых производится экспериментальное изучение верхних слоев атмосферы, необходимо сделать некоторые предположения об основных законах распространения луча в ионизированной среде (воздухе). Даже простейшие предположения о создании слоя Кеннели-Хевисайда под действием солнечного излучения позволяют уже сделать ряд важных заключений. Несомненно, на некоторой, достаточно большой высоте, где плотность воздуха очень мала, ионизация должна отсутствовать. Кроме того, из измерений известно, что на земной поверхности и в прилегающих слоях атмосферы ионизация также очень незначительна. Поэтому плотность зарядов должна на некоторой высоте иметь максимум, и ход ее в общем должен соответствовать кривой H , изображенной на рис. 1. (Лассен², Бекер и Райс³, Педерсен⁴, Ферстерлинг и Лассен⁵; в последних статьях приводятся обширные списки литературы). Даже не имея точных сведений о зависимости распределения плотности зарядов от высоты, исходя только из соображений о наличии максимума и асимптотического уменьшения ионизации, можно сделать ряд важных заключений о распространении лучей от некоторого источника, находящегося на земной поверхности. Экспериментальные данные показывают, что в действительности приходится иметь дело с двумя максимумами действующей плотности зарядов (распределение плотности определяется кривой, напоминающей кривые H и T на рис. 9). Можно также сказать, что существуют два слоя, находящиеся на различных высотах. Благодаря этому полу-

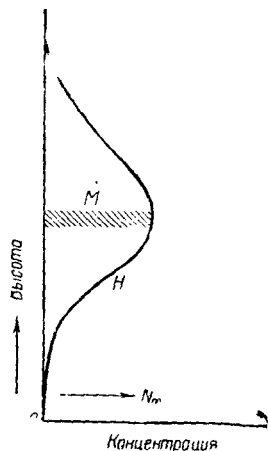


Рис. 1. Простейшая схема слоя Кеннели-Хивисайда.

чается взаимное наложение результатов отражения лучей от обоих слоев, которое, однако, легко может быть разделено на соответствующие части.

Ход лучей в случае существования одного слоя изображен на рис. 2, предложенном Ферстерлингом и Лассеном. Предполагая, что выбрана подходящая длина волны, мы получаем следующую картину: наиболее вертикально идущие лучи (слева на рис. 2) проникают сквозь слой, некоторый пучок лучей (9 на рис. 2) проходит большой путь в слое Кеннели-Хевисайда и отражается обратно, более близкие к горизонтали лучи (1—8 на рис. 2) отражаются от этого слоя более быстро. Последние лучи снова могут отразиться вверх от земной поверхности, затем снова отразиться от слоя Кеннели-Хевисайда и т. д. (многократное отражение). Вначале предполагали, что при трансокеанской радиотелеграфии на коротких волнах действующими лучами являются лучи типа 9. В настоящее время приходится думать, что это суть много-

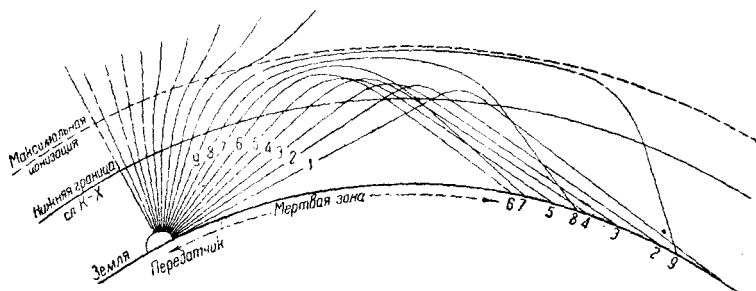


Рис. 2. Ход лучей в простейшем слое Кеннели-Хивисайда.

кратно отраженные лучи (Ферстерлинг и Лассен⁵⁾). В пользу этого последнего предположения говорят как вычисления напряженности поля, так и повышенные интенсивности приема передатчиков, имеющих горизонтально расположенный электрический вектор (Телефункен-трансрадио) по сравнению с передатчиками, имеющими вертикальный электрический вектор (благодаря лучшим условиям отражения от земной поверхности); другим подтверждением является регулярное расщепление короткого сигнала, подробнее описанное в разделе 4. Пучок лучей типа 9 определяет также предельный угол отражения при заданной длине волны и некоторой неизменной концентрации зарядов в слое. Величиной, определяющей предельный угол, является область максимально действующей плотности зарядов, т. е. область M на рис. 1. Действующая плотность зарядов N_m представляет истинную плотность N , разделенную на отношение массы ионов m_i на массу электрона m_o , т. е.

$$N_m = N \frac{m_o}{m_i},$$

при более концентрированных слоях или более длинных волнах получаются более острые предельные углы.

3. СТАТИСТИКА ТРАНСОКЕАНСКОЙ СВЯЗИ НА КОРОТКИХ ВОЛНАХ

Для трансокеанской связи на коротких волнах наиболее благоприятными являются антенны, дающие излучение, направленное по касательной к земной поверхности, что объясняется более коротким путем лучей и меньшими потерями при отражении. Однако при каждой концентрации слоя может применяться волна, наиболее короткая из способных еще отражаться, которая оказывается более благоприятной благодаря меньшему поглощению. Благодаря этому предельные волны оказываются переменными, а именно ночью наиболее длинными, в сумерки более короткими и днем наиболее

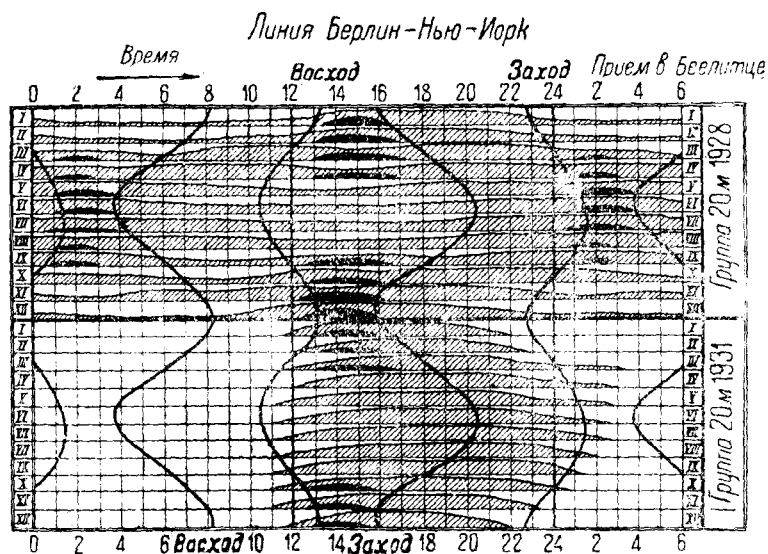


Рис. 3. Интенсивности приема на участке Нью-Йорк — Берлин в 1928 и 1931 гг. (длина волны 20 м).

короткими; этот результат соответствует как теоретическим предположениям, так и практическим данным. Применяющиеся при связи волны для большей надежности выбираются приблизительно на половину октавы более длинными, чем предельная волна. Очень подробный и интересный материал приведен в статье Квека и Мегеля⁶ (пример изображен на рис. 3), которые исследовали связь на участках Берлин — Рио-де-Жанейро, Буэнос-Айрес, Нью-Йорк, Мукден, Манила, Сидней, Бангкок, Банденг в течение двадцати месяцев при неизменной длине волны. При этом на некоторых участках применялись три разных волны (дневная, сумеречная и ночная), на других же только две волны. В вышеуказанной работе приводятся также данные о наиболее благоприятных отрезках времени, во время которых лучше всего получается многократный прием сигналов,

обегаящих вокруг Земли (зачерненные поверхности на рис. 3), причем, как оказывается, существует различие для обоих противоположно направленных участков большого круга (прямое и косвенное многократное эхо). Этот материал противоречит вышеуказанной гипотезе многократного отражения, создающего эхо, так как наблюдалось существование многократного обегания сигналов вокруг Земли на дневной волне. Однако только точное исследование пути луча может доказать, что сигналы действительно проходили через область, где господствовала ночь, но не через область с достаточно большой концентрацией зарядов. Другая работа Мегеля⁷ указывает на наличие интересного параллелизма между помехами при коротковолновой связи и колебаниями земного магнетизма (числа Дебильта). Здесь под помехами подразумеваются не обычные атмосферные помехи, но и другие нарушения приема (ослабление или исчезновение). Недавно Мегель⁸ сообщил, что в последние годы все предельные волны стали более длинными (рис. 3) и что для устранения исчезновения приема в дневное время на некоторых участках приходится пользоваться шестью-восемью волнами. Здесь наблюдается параллелизм с уменьшающейся деятельностью

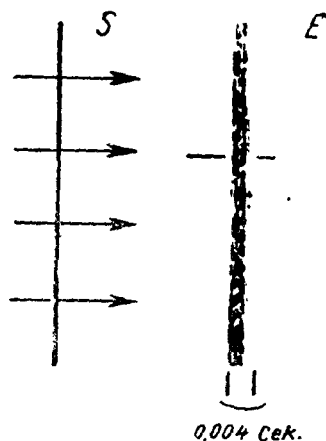


Рис. 4. Многократное расщепление простого сигнала.

Солнца (см. также Плендль⁹). Опубликованные Прискотом¹⁰ измерения, произведенные на трансокеанских линиях, также свидетельствуют о том, что на различных расстояниях и в различных направлениях существуют различные наиболее благоприятные длины волн, зависящие от времени суток и времени года.

4. ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ТЕЛЕВИДЕНИИ

Телевидение строилось вначале на тех же закономерностях для наиболее благоприятных длин волн, которые были установлены при радиотелеграфии. Однако при исследовании телевидения обнаружилось (1926) очень важное явление (Рукоп¹¹), именно — расщепление короткого сигнала (S на рис. 4) на несколько отдельных составляющих, отстоящих друг от друга приблизительно на 0,001 сек. (E на рис. 4¹²). Это расщепление свидетельствует об одновременном существовании нескольких траекторий луча, отличающихся друг от друга по длине на 200—300 км; эти траектории можно толковать как результат отдельных зигзагообразных отражений различного порядка (рис. 5). Благодаря этому создается размытие приема, вследствие чего трансокеанское телевидение в настоящее время представляется практически невозможным.

В связи с этим упомянем также о других интересных результатах, как, например, об эффекте Допплера и о непрерывном удлинении траекторий.

5. Специальные методы измерения

Специальные приспособления для исследования свойств слоя Кеннели-Хевисайда большей частью относятся к почти перпендикулярному отражению, так как при нем возможно установить передатчик и приемник в одном и том же месте.

Целью этих исследований является выяснение вопроса, оказывается ли слой Кеннели-Хевисайда при некоторой определенной длине



Рис. 5. Зигзагообразное отражение при трансокеанской связи.

волны отражающим, на какой высоте происходит отражение, с какой интенсивностью и как все эти факторы изменяются с течением времени. На основании вышеизложенного толкования траектории луча при перпендикулярном отражении предельные волны имеют наибольшую длину.

Некоторые исследователи, пытаясь определить длину предельной волны, пользовались непрерывно изменяющейся волной; эти исследования требовали возможности одновременного изменения волны в передатчике и приемнике. Методы измерения разделяются на две основные группы.

А. Интерференционный метод

Изучается незатухающая серия волн при медленном непрерывном изменении длины волны (Эпплтон и Барнет¹³). В приемнике происходит интерференция непосредственно приходящих волн (земная волна) с отраженными. Определяются максимумы и минимумы интерференции. Отсюда при известном изменении длины волны можно определить длину пути луча и кажущуюся высоту слоя Кеннели-Хевисайда.

Б. Метод сигналов

В другой группе методов применяются короткие сигналы, продолжительность которых мала относительно различия во времени прохождения земной и отраженной волны. Так как при этом нужно иметь возможность измерять высоту около 90 км (время прохождения $6 \cdot 10^{-4}$ сек.), то длительность сигнала не должна превышать 10^{-4} сек. Приемное приспособление должно записывать разность

во времени таким образом, чтобы она могла быть оценена количественно. Для этой цели применяются различные способы.

1. Способ осциллографа. Этот метод был впервые (1926) предложен Брейтом и Тювом¹⁴. Сигнал, имеющий форму S (рис. 6), сначала достигает приемника по земной поверхности (E_0); при

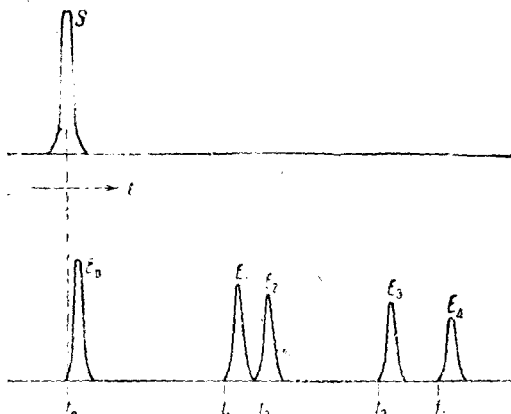


Рис. 6. Осциллограмма сигнала, сопровождаемого эхом.

наличии отражения он попадает в приемник несколько позже еще один (E_1) или даже еще несколько раз (E_2, E_3, E_4 и т. д.). Из промежутков времени $t_1 - t_0$ может быть определена кажущаяся высота.

При отдельных измерениях осциллограф определяет также и интенсивность приема. При помощи щелевой бленды запись осциллограммы может быть сделана точечной (Гиллиэнд и Кенрик¹⁵), если

в распоряжении имеются синхронизированные передатчик и приемник; это позволяет вести непрерывную регистрацию приема.

2. Способ телевидения. Рукоп¹¹ предложил в 1926 г. для измерения высоты слоя Кеннели-Хевисайда воспользоваться установкой для телевидения. Если перпендикулярно к направлению передачи (стрелки на рис. 4) передавать линию S , состоящую из очень коротких точек, то при однократном приеме также получается лишь одна линия. Но при многократных отражениях возникает несколько линий (E на рис. 4). Впоследствии этот метод был разработан также для изучения перпендикулярного отражения, причем для записей служила вращающаяся лампа тлеющего разряда с подходящей вращающейся оптикой (Рукоп и Вольф¹⁶). В этом методе, как и всегда при телевидении, управление передатчиком и приемником синхронизировано.

3. Измерения при помощи брауновской трубки. Губо и Ценнек¹⁷ воспользовались для изучения отражения от слоя Кеннели-Хевисайда фигурами Лиссажу, получаемыми на экране брауновской трубки. Отклоняющее поле было синхронизировано с передатчиком, благодаря чему световое пятно на экране описывало круг или другую замкнутую фигуру. Сигналы воспринимались, как зубцы на круге (рис. 7). Их расстояние определяло время

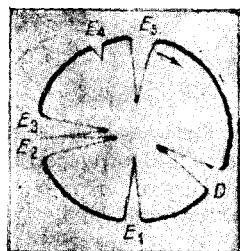


Рис. 7. Сигнал и эхо, записанные как фигура Лиссажу.

распространения, откуда можно было вычислить и кажущуюся высоту слоя Кеннели-Хевисайда.

Почти аналогичным методом пользовались Эпплтон и Бильдер¹⁸, а также Шефер и Гудол¹⁹. Губо и Ценнек недавно видоизменили свой метод, пользуясь щелевой блендой²⁰, благодаря чему стала возможна непрерывная регистрация высоты слоя Кеннели-Хевисайда.

6. Кажущаяся высота слоя Кеннели-Хевисайда

Все вышеописанные методы позволяют определить только кажущуюся, но не действительную высоту слоя. Любой из указанных методов измеряет только ту высоту, на которой происходит отражение. Так как, однако, отражение волн различной длины происходит в области различных концентраций, характерных для данной длины волны (например k на рис. 8), то при неизменной геометрической высоте слоя, но при уменьшающейся концентрации (a, b, c) измеряются различные высоты (h_a, h_b, h_c). Таким образом можно считать высоту слоя равной высоте, соответствующей максимальной концентрации. Действительно, любая предельная волна претерпевает отражение как раз в области максимальной концентрации и поэтому может быть использована для этих измерений. Однако и в этом случае мы не в состоянии определить истинную высоту слоя максимальной концентрации h_{max} . Причина этого заключается в том, что сигнал проходит довольно длинный путь в проводящем слое, где он распространяется уже не с обычной скоростью света, но с групповой скоростью (Друде и Зоммерфельд²¹). Благодаря этому время распространения удлиняется, и при измерении получается преувеличенная высота. Это различие, как показали Ферстерлинг и Лассен⁵, может достигать (при глубоком проникновении сигнала в проводящий слой) 50%. В дальнейшем мы будем рассматривать лишь измеренные кажущиеся высоты, так как подобное вычисление не имеет принципиального значения.

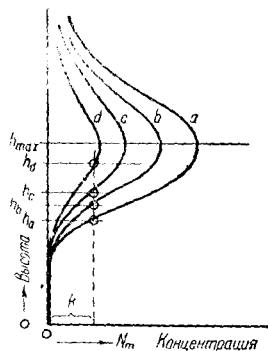


Рис. 8. Кажущиеся высоты слоя при уменьшении концентрации зарядов.

7. Существование двух слоев

Приводимые здесь результаты не расположены в хронологическом порядке, так как мы стремимся дать здесь наиболее ясную физическую картину свойств слоя Кеннели-Хевисайда, подтверждая каждое высказанное положение экспериментальными данными.

Уже при измерениях мертвых зон, а также при измерениях напряженности поля, произведенных Хейзингом, Шеллингом и Сутвортом²², было установлено, что средние и в особенности короткие волны отражаются от верхних слоев атмосферы, и, следовательно,

можно было заключить о существовании слоя Кеннели-Хевисайда. Количественные данные об отражении были впервые получены специальными измерениями по методу интерференции в 1925 г. и по методу сигналов в 1926 г. При этом были найдены высоты, начиная от 90 км до нескольких сот километров. Мы не будем останавливаться на результатах этих измерений, а перейдем к более новым данным.

Наиболее важным вновь установленным фактом является следующий: существуют два слоя, расположенные на различных высотах, составляющих приблизительно 100 и 250 км. Толщина этих слоев, а также действующая концентрация зарядов переменны и в своем нормальном состоянии в летний день определяются кривыми H и T (рис. 9).

Рис. 9. Строение обоих отражающих слоев при максимальной плотности зарядов.

Гипотеза о существовании двух слоев была высказана Элиасом²³ уже в 1925 г. По его мнению, нижний слой, расположенный на высоте 70 км, создан фотоэлектрическим действием солнечного света, более же высокий слой (около 100 км) обусловлен корпускулярным излучением. Хотя эту гипотезу и не удалось подтвердить количественно, в ней несомненно есть доля истины. Впервые суще-

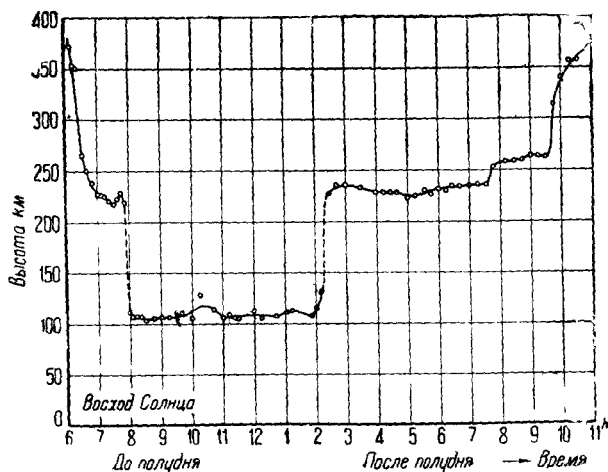


Рис. 10. Скачок отражения от одного слоя к другому.

ствование двух слоев было экспериментально установлено в 1927 г. Эпплтоном²⁴, который определил также и приблизительную высоту слоев. Было бы справедливо один из слоев называть слоем Кеннели-Хевисайда, а другой слоем Элиаса-Эпплтона.

На рис. 10, заимствованном из статьи Эпплтона и Грина²⁵, изображены результаты ряда измерений, послужившего к установлению существования двух слоев. На кривой отчетливо видно продолжающееся часами отражение от слоя, расположенного на высоте 100 км, в дневное время, и от слоя, находящегося на значительно большей высоте в другие часы суток. Отражения от высот 120—220 км совершенно отсутствуют. Вскоре после Эпплтона аналогичные результаты были получены (1927) Брейтом, Тювом и Далем²⁶. В дальнейшей своей работе Эпплтон²⁷ сообщил о многочисленных деталях измерений.

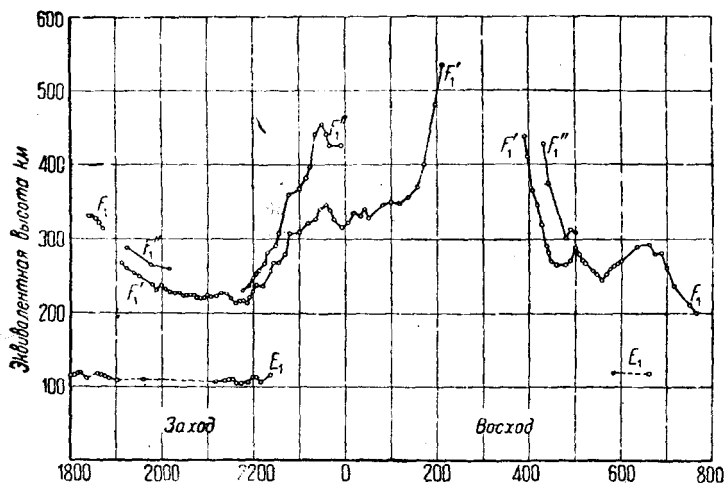


Рис. 11. Двойное преломление при волне 80 м.

Нижеприводимые результаты рассматриваются по преимуществу с точки зрения существования „верхнего слоя“ и „нижнего слоя“. Совершенно очевидно, что согласно вышеуказанному закону предельной волны более высокий слой может быть обнаружен только в том случае, если он более концентрирован, чем слой, лежащий ниже (см. также раздел 13).

8. Двойное преломление

Поскольку мы получили большое количество экспериментальных данных, можно попытаться разрешить ряд дальнейших теоретических вопросов. При значительном изменении яркости освещения, т. е. утром и вечером, концентрация верхнего слоя имеет очень большой градиент. Если вести наблюдения при неизменной длине волны, лежащей в критической области, т. е. на такой волне, которая во время наблюдения делается предельной волной, то наблюдается кажущееся изменение высоты, исчезновение или появление слоя (рис. 10); это явление было разъяснено уже на рис. 8.

Однако рис. 10 не является, как мы теперь знаем, достаточно полным. Именно, благодаря магнитному полю Земли создается двойное

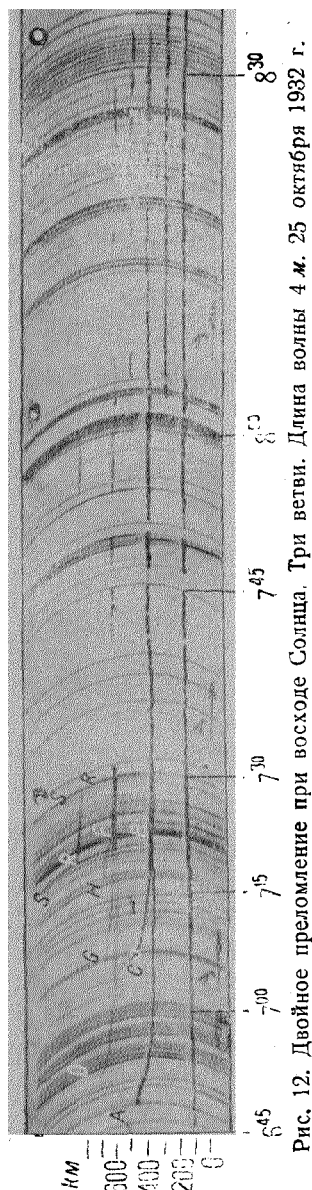


рис. 12. Двойное преломление при восходе Солнца. Три ветви. Длина волны 4 м. 25 октября 1932 г.

преломление. Это явление, предсказанное Гельбертом, а также и Брейтом²⁸, было впервые количественно подсчитано Лассеном²⁹. Лассен заключил, что заметное двойное преломление должно возникать в тех случаях, когда действующий заряд образован свободными электронами; напротив, оно должно быть неизмеримо мало, если слой образован носителями зарядов, имеющими атомную или молекулярную массу. Подробности были выражены формулами и числами. Аналогичные формулы дали несколько позже Эпплтон и Нэсмит³⁰. В 1931 г. двойное преломление было экспериментально найдено Эпплтоном и Бильдером³¹, а также Вольфом³²,¹⁶. Не вполне отчетливые намеки на существование двойного преломления нашел также Гиллиленд³³. Измерения Эпплтона и Бильдера (рис. 11) ясно доказывают существование двух кривых, вызванных двойным преломлением, обнаруживающихся между 22 и 24 час., а также между 4 и 5 час., причем преломление создается в верхнем слое. При этих измерениях длина волны составляла 80 м. На рис. 12 (измерения Вольфа) двойное преломление при восходе Солнца характеризуется ветвями *AB* и *CB* (верхний слой при длине волны 84 м). Появление аналогичных ветвей кривой на больших высотах (около 500 км) называется „эффектом солнечного восхода“. Он возникает в верхнем слое весьма закономерно при любой волне критической области, через более или менее короткое время после восхода Солнца, как это видно на рис. 18 и 19 (если только верхний слой случайно не оказывается закраинированным нижним слоем). При заходе Солнца также наблюдается аналогичное явление, но в обратной временной последовательности (рис. 11 и 13). Отражение распадается на две ветви, кажущиеся вы-

соты обеих увеличиваются, одна ветвь исчезает раньше, другая — несколько позже („эффект солнечного захода“). Нужно указать, что двойное преломление в слое Кеннели-Хевисайда, собственно

говоря, должно создавать три ветви, например ветви *DE*, *GE* и *HE* на рис. 12, полученном при двойном отражении и большой разрешающей способности аппаратуры. Шефер и Гудол¹⁹ также

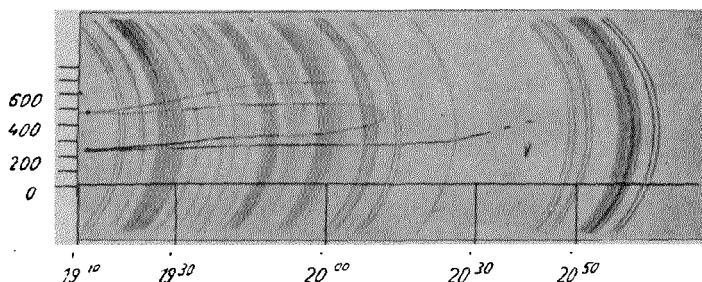


Рис. 13. Двойное преломление при заходе Солнца. Длина волны 84 м. 11 марта 1931 г.

указывают на расщепление на три ветви (рис. 17). О расщеплениях, наблюдавшихся Губо¹⁷, будет сказано в разделе 11.

9. Нормальные свойства слоев

А. Нижний слой

1. Предельные волны и зависимость от времени. Что касается действующей плотности зарядов, их кажущейся высоты и их зависимости от времени дня и года, то мы имеем как регулярные, часто закономерно повторяющиеся результаты наблюдений, так и большое количество нерегулярных данных. Вместо численных значений плотности зарядов в дальнейшем будет указываться, существование или отсутствие отражения известных волн или же предельные волны. При длинных волнах (больше 500 м) нижний слой, как показали наблюдения Губо и Ценнека (рис. 14), всегда является отражающим. Здесь нужно обратить внимание на возможность многократного отражения, способного обусловить ошибочную оценку высоты слоя, в два или три раза превосходящую действительную. То обстоятельство, что Губо и Ценнек не нашли никакого отражения среди дня, но обнаружили его только после захода Солнца, не следует рассматривать, как отсутствие отражающего слоя или приписывать его

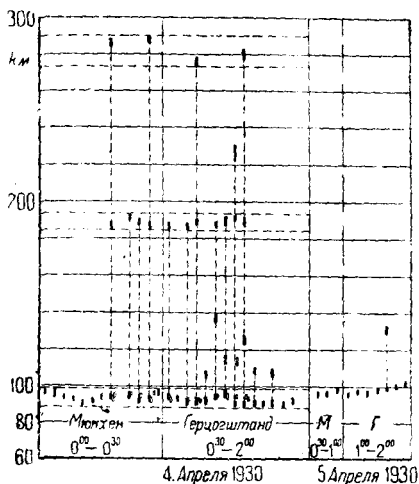


Рис. 14. Измеренные высоты слоя при длине волны, большей 500 м.

пониженной концентрации в дневное время. По всей вероятности, это отсутствие отражения было вызвано поглощением, неоднократно наблюдавшимся при различных измерениях и имеющим принципиальное значение для общего исследования распространения радиоволн (см. раздел 12).

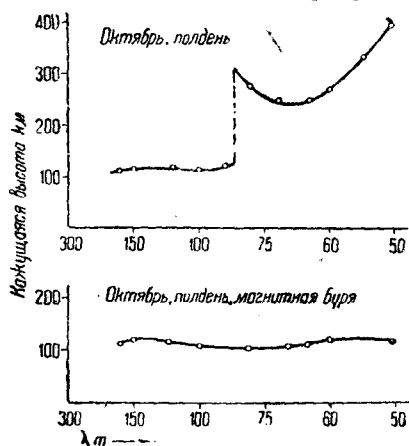


Рис. 15. Изменение кажущейся высоты при изменении длины волн.

В 1932 г. Эпплтон и Нэсмит³⁰ определили предельные волны для нижнего слоя; результат отдельной серии их измерений изображен на рис. 15, вверху. При непрерывном изменении частоты, в момент достижения предельной волны для нижнего слоя, отражение скачком переходит от одного слоя к другому. При этом наблюдается интересное явление, именно: кажущаяся высота верхнего слоя и момент скачка оказывается больше, чем при несколько более короткой волне.

Это явление следует приписать уменьшенной групповой скорости сигнала в нижнем слое при волнах, лежащих близко к предельной волне; нужно, однако, отметить, что явление это до сих пор не было подтверждено никакими другими измерениями.

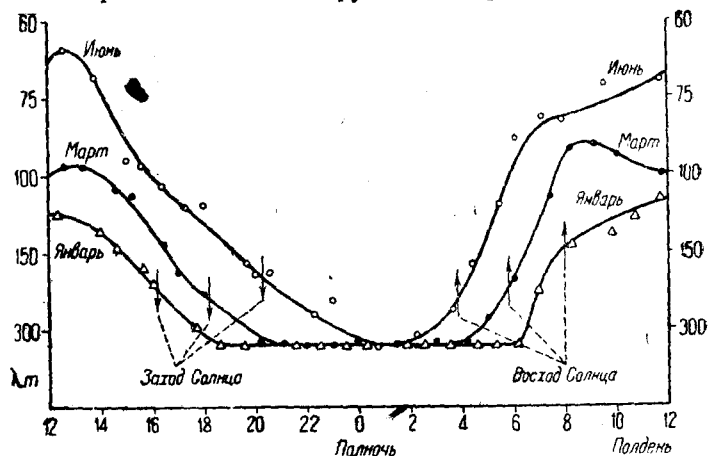


Рис. 16. Предельные волны нижнего слоя.

Величина предельной волны нижнего слоя при дневном свете для трех различных месяцев приводится на рис. 16. Эти значения можно считать нормальными значениями предельных волн нижнего слоя, от которых, однако, возможны очень большие отклонения.

2. Высоты. Что касается высоты нижнего слоя, то все наблюдения дают одну и ту же нормальную величину: от 90 до 130 км. При длинных волнах (Губо и Ценнек) найдено наиболее низкое значение (90 км), при коротких волнах высота, повидимому, превышает 110 км. Изменение высоты слоя в сумерки или ночью, а также при приближении к предельной волне, обусловлено еще неясными причинами; это изменение иногда оказывалось резко выраженным (Эпплтон²⁴, Губо и Ценнек¹⁷) иногда же его совсем не обнаруживали (Вольф³², Пауль³⁵, Шефер и Гудол¹⁹).

Б. Верхний слой

1. Предельные волны и зависимость от времени. Верхний слой еще не подвергся непрерывному изучению в отношении его предельных длин волн, как это было сделано для нижнего слоя (рис. 16); однако результаты большого количества изме-

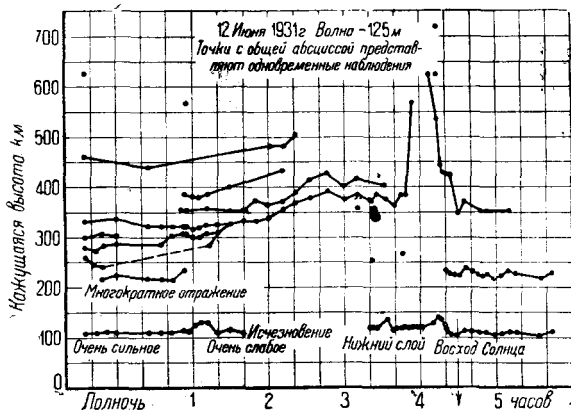


Рис. 17. Измеренные высоты слоя; длина волны 125 м; 12 июня 1931 г., Нью-Джерсей.

рений при различных неизменных длинах волн позволяют думать, что значения длин волн для различных моментов времени можно будет приблизительно определить из данных о наличии или отсутствии отражения, в частности при наблюдениях эффектов солнечного восхода и захода.

Из рис. 17, представляющего результаты измерений Шефера и Гудола¹⁹ при длине волны 125 м, видно, что эта волна в июне в течение $23\frac{1}{2}$ час. отражалась от верхнего слоя. Кратковременное исчезновение, всего на $\frac{1}{2}$ часа, непосредственно перед восходом Солнца, доказывает, что эта волна для наиболее неблагоприятного времени дня в середине лета практически является предельной. Вольф³², а также Пауль³⁴ произвели многочисленные измерения при волне, равной 84 м (рис. 12, 13, 19, 20, 22). Они показали, между прочим, что при работе с этой волной в летнее время нужно счи-

таться с исчезновением отражения в продолжении 2—3 час. после полуночи. Аналогичный результат найден для волны в 80 м (Эпплтон и Бильдер¹⁸ рис. 11). На рис. 20 изображено явление, представляющее исключение (см. раздел 10, А). Гиллиленд³³ производил измерения при волне в 74 м. Эти измерения показали, что в январе отражение отсутствует после 23 час.

Из измерений с 60-метровой волной, сделанных Паулем, следует, что эта волна летом отражается в продолжении многих часов, но высота слоя получается неожиданной. На рис. 18 стр. 492—93 приводятся некоторые из этих измерений и, между прочим, измерения во время солнечного затмения 31 августа 1932 г. Отражение 60-метровой волны регулярно обнаруживает эффект солнечного восхода и захода, сопровождающийся двойным преломлением. Кроме того Пауль установил здесь замечательный факт, что плотность зарядов впервые достигает максимума только вечером около 20 час. Кроме того из измерений с 60-метровой волной (рис. 18) следует, что в течение нескольких часов после полудня отражение выражено очень неясно; возможно, что оно существует, но маскируется поглощением (см. раздел 12). Влияние Солнца сказывается очень резко. Около 18 час. наблюдается отражение с двойным преломлением и уменьшение высоты слоя. Между 23 и 24 час. эффект солнечного захода проявляется в обычной форме. Этот максимум концентрации зарядов между 20 и 21 час. является весьма интересным, так как при этих измерениях Солнце скрылось за горизонт около 19 час. Отсюда можно заключить, что концентрация в верхних слоях увеличивается до исчезновения последних солнечных лучей. Однако подобное допущение стоит в противоречии с обычным эффектом солнечного захода. Возможно, что здесь следует использовать гипотезу, высказанную Вегардом³⁵ и использованную Штермером³⁶ для объяснения влияния солнечных лучей на полярные сияния, а именно: при прекращении солнечного освещения верхние слои атмосферы, расширившиеся в дневное время, снова сокращаются. Следствием этого является концентрация зарядов, вызывающая вечерний максимум.

В рассмотренном явлении концентрация должна меняться в отношении приблизительно 1:2, как это показал Лассен в еще неопубликованной работе; но это отношение слишком велико для вышеупомянутой гипотезы. Однако очень вероятно, что „вечерняя концентрация“ вызывается потоком заряженных корпускул, представляющим максимум обычного корпускулярного излучения и достигающим наших областей после солнечного захода. Это явление, как показывают снимки, приведенные на рис. 18, должно регулярно повторяться изо дня в день. К аналогичному заключению уже приводили в прежнее время различные метеорологические явления.

Если вышеупомянутый максимум не обусловлен световым излучением Солнца, то должен существовать еще другой, более ранний максимум, наступающий через короткое время после полудня и соответствующий максимальному равновесию между излучением и

рекомбинацией. Указания на этот максимум существуют (см. ниже обсуждение результатов, полученных при измерениях с волнами длиной 60, 45, 40 и 35,5 м). Очень интересный ход наблюдался 8 сентября (рис. 18). В этот день концентрация, повидимому, была очень близка к предельной. Вторая ветвь совершенно не обнаружилась, первая же соответствовала высоте, большей 300 км.

При солнечном затмении была выбрана волна в 60 м, так как в это время она является почти критической для верхнего слоя, что следует из снимков, изображенных на рис. 18. Повидимому, было бы менее благоприятно воспользоваться волной в 120 — 150 м, являющейся критической для нижнего слоя, как это предлагали Эпплтон и Чепмэн³⁷, так как согласно нашим измерениям нижний слой в августе 1932 г. обладал очень сильными и нерегулярными колебаниями концентрации, вследствие чего трудно было бы выделить влияние солнечного затмения, по крайней мере, если это влияние невелико. Верхний же слой благодаря своей значительно большей регулярности был более благоприятен для наблюдений. Однако, как показали наблюдения, солнечное затмение оказало лишь небольшое влияние. Возникновение эффекта захода Солнца незадолго до 17 час. не является единичным, оно наблюдалось и в другие дни, например 1 сентября (рис. 18). 31 августа эффект солнечного восхода проявился на час позже, чем его можно было ожидать на основании измерений в предшествующие дни. Однако эти незначительные отклонения нельзя с достоверностью приписать влиянию солнечного затмения. Относительно малое число помех, наблюдавшееся в день затмения между 17 и 19 час., также ничего не доказывает, так как помехи (в данном случае по преимуществу станционные и сетевые, но не атмосферные) возникали чрезвычайно нерегулярно, что было установлено измерениями в другие дни.

С вышеуказанными результатами об отражении 60-метровой волны только в вечерние часы предположение, высказанное Шефером и Гудолом¹⁹, не согласуется. Вышеуказанные авторы предполагают, что все волны, большие 60 м, начинают отражаться вскоре после восхода Солнца и отражение сохраняется в течение всего дня. Однако некоторые из измерений с волной в 63 м весьма напоминают результаты, полученные Паулем при 60-метровой волне (рис. 18) тем, что они обнаруживают максимум концентрации около 18 час.

Те же авторы при работе с 45-метровой волной нашли только короткое время отражения (численных данных нет) при кажущейся высоте слоя от 350 до 700 км. Аналогичные результаты получены де-Марсом, Гиллилендом и Кенриком³⁸ для волны в 47 м.

При волне в 42 м, несмотря на многочисленные измерения, ни Вольф³² ни Пауль³⁴ не обнаружили никакого отражения, впрочем, что, может быть, объясняется недостаточной интенсивностью (генератор в 20 W). Губо³⁹ при волне в 40 м и мощности 6 kW часто наблюдал отражения от верхнего слоя (летом, в дневное время). Гиллиленд, работавший с излучаемой мощностью в 2 kW, нашел

отражения от верхнего слоя, имеющего высоту больше 275 км, для волны в 34,5 м. При этих измерениях обнаружилась поразительная зависимость высоты слоя от времени дня, противоречащая результатам того же автора, полученным при 74-метровой волне. Интересно отметить, что отражение волны в 34,5 м было ограничено только месяцами февралем и мартом. Возможная связь с сжатием атмосферы или приливами и отливами в ней (мнение Штермера) мало вероятно, так как наблюдения производились лишь в течение полудня до и после полудня.

Указания Крюгера и Плендзля⁴⁰, что предельная волна при почти перпендикулярном отражении равна 37 м, более или менее соответствуют вышеизложенным фактам, если допустить, что отражение происходит от верхнего слоя. Напротив, указанное Клэппом⁴¹ значение предельной волны 29 м не может быть сопоставлено с предыдущими данными, так как оно относится не к перпендикулярному отражению, но было получено при расстоянии между передатчиком и приемником около 90 км. Мегель⁴² приводит интересные результаты, полученные при 15,6-метровой волне (см. разделы 10, С и В).

Из вышеуказанных данных для верхнего слоя следует, что нормальные изменения концентрации в зависимости от времени дня и времени года составляют приблизительно 1500‰ (см. раздел 11).

2. Высоты. Данные о нормальных высотах верхнего слоя у большинства авторов практически совпадают. Нижняя граница отражения для коротких волн лежит около 220 км. При пониженных концентрациях или при приближении к предельной волне измеренные высоты значительно возрастают. Многократно наблюдалась высота около 500 км, иногда даже до 700 км. При длинных волнах (400 м) Эпплтон²⁷ нашел высоту в 190 км.

10. Аномальные свойства слоев

А. Верхний слой

В обоих слоях возникают аномальные концентрации, причем, повидимому, большей частью создаются аномальные уплотнения, существующие весьма различные промежутки времени. На рис. 19 представлено кратковременное колебание в верхнем слое в момент солнечного восхода. В это „критическое“ время измеряемая высота чрезвычайно резко зависит от изменения концентрации. Аналогичные колебания часто наблюдаются также при эффекте солнечного захода. Непрерывная запись при помощи лампы тлеющего разряда позволяет очень хорошо обнаружить эти незакономерные изменения, в то время как измерения, при которых высота определяется последующим вычислением, обычно оказываются недостаточно точными, чтобы можно было отличить эти колебания от случайных ошибок измерения. На рис. 20 изображено продолжительное аномальное уплотнение верхнего слоя, проявляющееся в том, что волна длиной в 84 м отражалась в течение всей ночи (28 мая), причем одна

ветвь существовала все время, а другая исчезла около 2 час. Аналогичный ход был получен на несколько дней позже (3—4 июня) Паулем, работавшим при волне в 60 м. Гиллиленд, Кенрик и Нортон⁴³ также получили при волне в 60 м отражение в течение всей ночи, причем высота слоя достигала 260 км; эти измерения производились не непрерывно, но в отдельные моменты времени, значительно удаленные друг от друга, я не могу рассматривать их как вполне доказательные.

Из рис. 17 (12 июня) можно заключить, что в середине лета предельная волна для наиболее неблагоприятного времени (3 часа) лежит около 130 м. Так как концентрации пропорциональны квадратам предельных частот, то мы имеем здесь изменения концентрации (по отношению к рис. 20) в отношении 1:4. Ход отражения для 125-метровой волны был измерен также в Нью-Джерсее

где „полуночное солнце“ сказывается менее резко, чем в Кельне, лежащем на 1000 км севернее. Корпускулярное излучение не могло оказать влияния на эти измерения, так как в Нью-Джерсее оно никоим образом не меньше, чем в Кельне, что можно видеть на карте

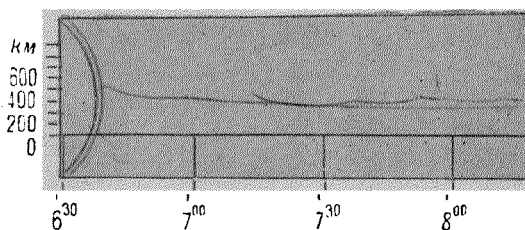


Рис. 19. Колебания высоты после солнечного восхода, длина волны 84 м.

полярных сияний, составленной Фрити. В Нью-Джерсее нормальная предельная волна лежит, повидимому, около 100 м, что было доказано измерениями Эпплтона²⁷ со 100-метровой волной. Таким образом в этом случае изменение концентрации еще меньше, и отношение концентраций составляет всего лишь 3:1. Вообще говоря, из всех имеющихся измерений можно заключить, что аномальные колебания концентрации в верхнем слое относительно незначительны и едва ли превышают вышеуказанное значение 3:1 (см. также раздел 10, С).

Об аномальных высотах верхнего слоя говорить, видимо, не приходится. В тех случаях, где наблюдались аномальные высоты, их можно объяснить, повидимому, уменьшением групповой скорости в нижележащем слое (см. рис. 15 сверху). Исключительные случаи указаны в разделе 10, С.

Б. Нижний слой

Аномальные колебания концентрации в нижнем слое очень велики. Значительные возрастания концентрации могут возникать в любое время дня. Они наблюдаются почти при каждом измерении; особенно резкие примеры видны на рис. 15 (снизу), 18, 21 и 22. Отраженные волны, видимые на рис. 21 и 22, относятся к нормаль-

ным для этого момента времени предельным волнам (рис. 15) приблизительно, как 42:150 и 84:300. Таким образом аномальные

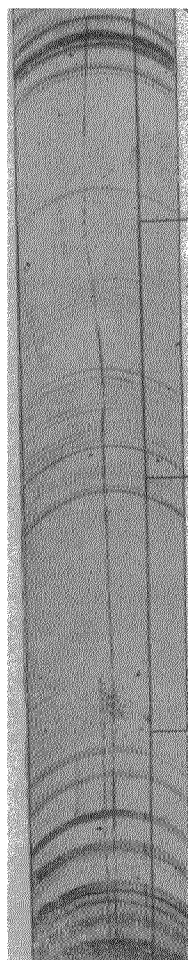


Рис. 20. Длительное отражение волны в 60 м в течение всей ночи 28 мая 1932 г.

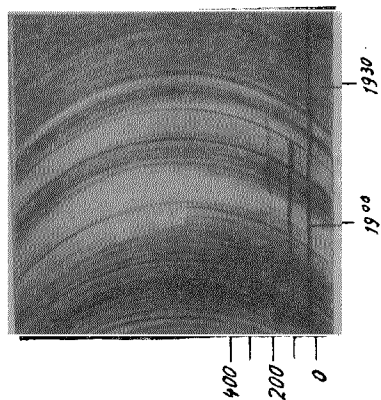


Рис. 21. Аномальное расщепление, ветви соответствуют 120—200 км высоты, длина волны 42 м.

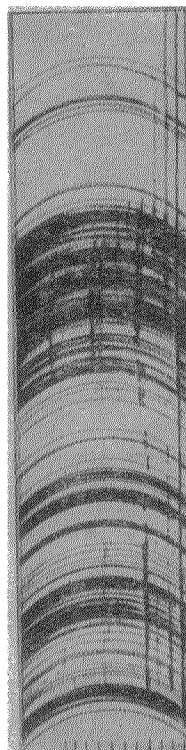


Рис. 22. Сильное многократное отражение ночью (наверху), слабое однократное отражение днем (внизу), длина волны 84 м. 10 июня 1932 г.

возрастания концентрации достигают по меньшей мере 1200% (см. также раздел 10, С).

Аномальные высоты нижнего слоя были измерены Эпплтоном²⁷ и составляли 60 км, а один раз даже 50 км; недавно их нашел также Губо³⁹ (один раз 50 км), а также Гиллиленд, Кенрик и Нортон⁴³ (одно наблюдение: 60 км при волне 150 м). В сторону увеличенных высот определение границы нижнего слоя очень затруднено. В последующем разделе, между прочим, приводятся соответствующие данные.

В. Неопределенные случаи

Чрезвычайно трудно поддаются истолкованию наблюдения почти перпендикулярного отражения 15,6-метровой волны. Мегель^{17,42} наблюдал отражения в течение нескольких часов при высоте слоя около 150 км в различные дни зимой; однажды он наблюдал отражение волны в 14,9 м от высоты в 280 км (во время магнитной бури). Значение высоты, равное 150 км, является маловероятным вследствие недостаточной разрешающей способности использованной аппаратуры. Во всех наблюдавшихся случаях отражение было весьма загадочно, так как его приходится приписать слою, имеющему концентрацию в 6—8 раз большую, чем известная концентрация; поэтому можно думать, что здесь наблюдалось частичное отражение (см. раздел 13), при котором большая часть излучения проникает сквозь отражающий слой. То же самое можно сказать и о наблюдениях перпендикулярного отражения 30-метровой волны около 20 час. в январе (Мегель⁴²). Иногда наблюдались высоты, лежащие между 150 и 200 км (Губо и Ценнек¹⁷, Шефер и Гудол¹⁹, Вольф, рис. 21). Они часто оказывались связанными с магнитными бурями. В этом случае, повидимому, правильнее говорить о нерегулярных отражающих облаках, чем об определенных слоях.

11. Плотность зарядов

Из экспериментально найденных предельных волн можно непосредственно определить для каждого случая максимальную плотность зарядов слоя, которая для случая перпендикулярного отражения равна

$$N = \frac{\pi m_e n_g^2}{e_0^2}.$$

Здесь e_0 обозначает элементарный заряд, равный $4,7 \cdot 10^{-10}$, n_g представляет частоту предельной волны, N — число элементарных зарядов одного и того же типа в кубическом сантиметре m_x — массу носителя заряда ($m_0 = 8,9 \cdot 10^{-28}$).

Если принять для летнего дня предельные волны равными для верхнего слоя 35 м и для нижнего слоя 70 м, то получаются следующие возможные концентрации:

$N = 9 \cdot 10^5$ (электроны)	} для нижнего слоя (каждая возможность допустима по отдельности, но не вместе с другими)
$N = 2,3 \cdot 10^5$ (электроны)	
$N = 7 \cdot 10^9$ (О-ионы)	
$N = 14 \cdot 10^9$ (O ₂ -ионы)	
$N = 6 \cdot 10^9$ (Ni-оны)	
$N = 12 \cdot 10^9$ (N ₂ -ионы).	

О причинах возникновения обоих слоев высказывалось много предположений, однако все они оказались недостаточными для выяснения этого вопроса. Верхний слой обладает некоторой, не вполне еще выясненной, зависимостью от солнечного освещения. Она должна иметь своей причиной фотоэлектрическое действие, причем действующими агентами, повидимому, являются электроны, что следует из регулярно возникающего сильно выраженного явления двойного преломления (Лассен²⁹). Однако мы до настоящего времени не можем сказать, из какого газа они получаются. По мнению Ферстерлинга и Лассена⁵ {здесь дело идет о водороде или, по крайней мере, очень легком газе, так как очень большие толщины слоя противоречат допущению наличия тяжелых газов, как, например, кислорода или азота. Надо, однако, заметить, что в спектре полярного сияния еще ни разу не удавалось обнаружить линий водорода или гелия, но линии кислорода и азота наблюдались вплоть до высот в 1000 км. Чепмен⁴⁴ делает предположение, что верхний слой образуется благодаря фотоэффекту в атомах одноатомного кислорода.

Двойное преломление в нижнем слое принадлежит к числу еще не разрешенных проблем. Губо и Ценнек¹⁷ неоднократно наблюдали расщепление сигналов, отражающихся от нижнего слоя, при расстоянии между приемником и передатчиком всего 20—30 км. Однако я не склонен рассматривать эти данные как доказательство существования двойного преломления, так как длина волны была очень далека от критической. Кроме того расщепление сигнала происходит незакономерно. Возможно, что его можно приписать некоторому облакоподобному образованию в слое. Другие авторы, за исключением Вольфа (рис. 21), не дают данных, свидетельствующих о наличии двойного преломления в нижнем слое. Таким образом его существование является сомнительным. Отсутствие систематического двойного преломления в нижнем слое явилось причиной предположения, что в нижнем слое действующими являются лишь заряды, связанные с атомами или молекулами. Однако окончательного решения этого вопроса мы еще не имеем. Экспериментальные данные о двойном преломлении в нижнем слое очень противоречивы. Нижний слой должен обладать толщиной не менее 30 км (под этой толщиной следует понимать расстояние от нижнего края, имеющего заметную концентрацию, до максимальной концентрации, где и происходит отражение). Поэтому обнаружить

двойное преломление в нижнем слое значительно труднее, чем в верхнем слое, имеющем толщину до 300 км. Во всяком случае имеющиеся в настоящее время экспериментальные данные нельзя считать достаточными. Однако допущение преобладающего влияния тяжелых ионов в нижнем слое также представляется мало вероятным, так как (см. предыдущую табличку) в этом случае один свободный электрон должен приходиться только на $3 \cdot 10^4$ — $6 \cdot 10^4$ атомных или молекулярных носителей. Однако такое заключение очень трудно согласовать с какой бы то ни было гипотезой о возникновении нижнего слоя. Если он возникает под действием фотоэлектрического эффекта, как это неоднократно предполагалось, то свободные электроны в нем должны исчезать с большой скоростью. Но эти предположения приводят к коэффициентам рекомбинации, порядок которых резко отличен от известных до настоящего времени коэффициентов и плохо согласуется с продолжительностью существования свободных электронов в верхнем слое. В противоположность этому можно предположить, что нижний слой создается непосредственно ионами, причем либо тяжелые носители непосредственно проникают в него, либо же проникающие нейтральные молекулы и атмосферные молекулы создают атомные носители зарядов, причем нейтральные молекулы вызывают нормальные колебания концентрации в зависимости от положения Солнца, а заряженные обуславливают аномальные колебания концентрации, аналогичные колебаниям во время полярных сияний. Несомненно, чрезвычайно замечательным является совпадение высоты нижнего слоя с областью наиболее частых полярных сияний (Штермер⁴⁵). Эпплтон и Нэсмит подчеркивают, что нормальные колебания концентрации в нижнем слое превышают колебания, которые можно было бы ожидать, исходя из изменений интенсивности солнечного освещения. Действие корпускулярного излучения в нижнем слое должно быть выражено очень отчетливо, независимо от того, будет ли оно одним единственным или же к нему прибавится влияние фотоэлектрического эффекта, либо возникающего непосредственно в нижнем слое, либо вызывающего проникновение тяжелых ионов из верхних слоев. К сожалению, исследование полярных сияний дает очень мало сведений о том, в какой степени излучение состоит из электронов (в лучах сияний?) и положительных ионов (в дугах?) (Штермер⁴⁵).

В связи с вышеуказанными вопросами было бы очень важно выяснить, какова зависимость концентрации нижнего слоя от географической широты. Можно ожидать, что нижний слой в экваториальной области развит слабо, а наибольшее его уплотнение (а также и его неравномерности) образуется в области максимальной частоты полярных сияний. Наоборот, верхний слой должен иметь максимум дневной концентрации в тропиках и постепенно убывать в направлении к полюсам. Измерения этого рода чрезвычайно желательны и должны быть произведены уже в ближайшие годы.

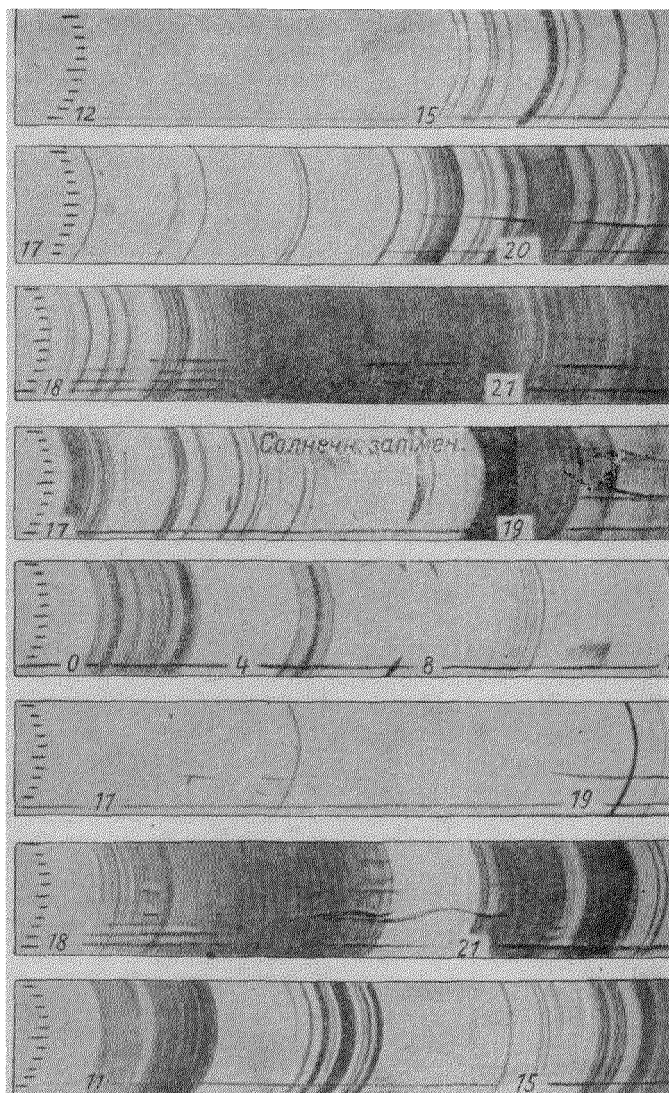
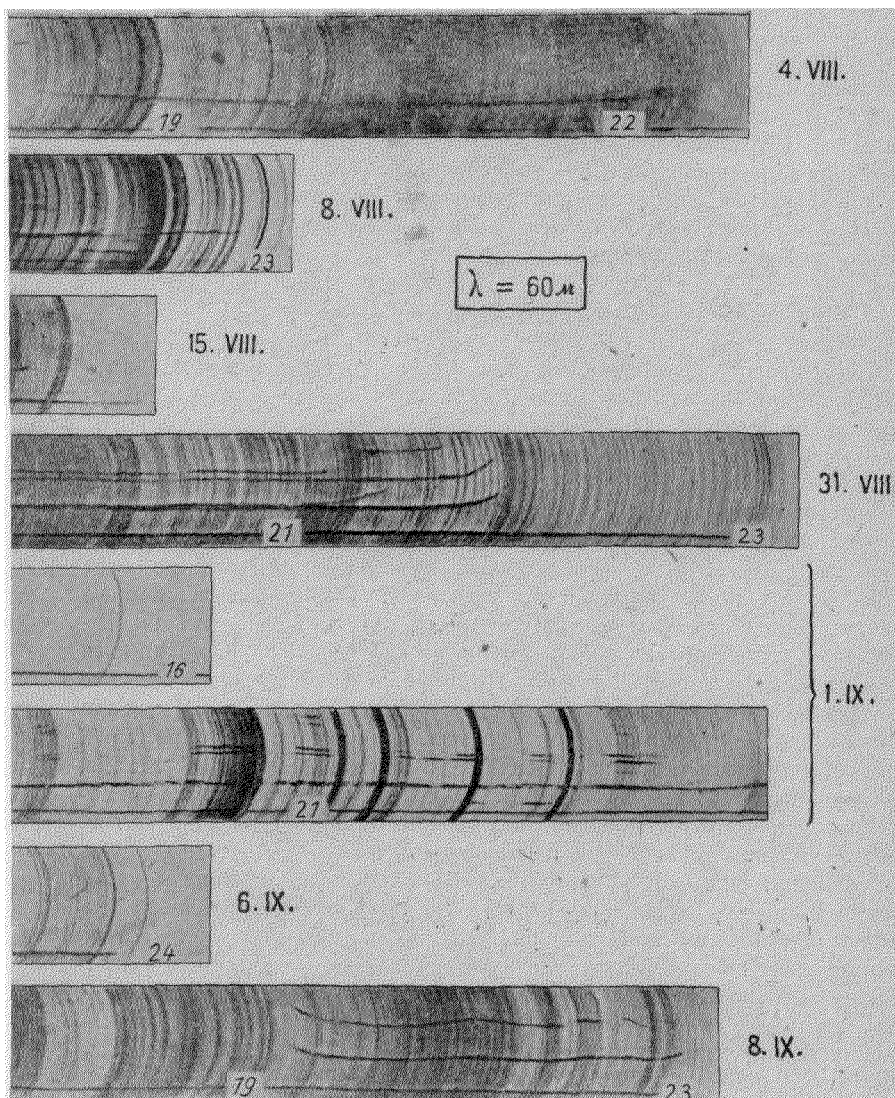


Рис. 18. Наблюдения с 60-метровой волной, произведенные
за



жду 4 августа и 8 сентября 1932 г. „Вечерняя концентрация“. Солнечное
31 августа 1932 г.

Упомянем еще раз о работе Мегеля⁷, установившего полный параллелизм между радиусом действия при коротковолновой телеграфии и возмущениями земного магнетизма.

Для разъяснения этого факта можно предположить, что магнитные возмущения совпадают по времени с усилением проникающего корпускулярного излучения. Если последнее вызывает аномальное уплотнение нижнего слоя, то радиоволна, идущая через океан, будет испытывать отражение уже от нижнего слоя вместо нормального отражения от верхнего слоя.

Благодаря значительному увеличению общего числа отражений на одном и том же расстоянии возникнет увеличение поглощения, которое повлечет за собой ослабление интенсивности поля и прерывание телеграфной связи.

12. Поглощение

При средней освещенности, т. е. весной, осенью и зимой, измерения, произведенные на различных волнах, почти всегда обнаруживали многократные отражения от поверхности Земли и некоторого слоя; аналогичное явление наблюдается и в летнюю ночь. В некоторых случаях отражение оказывалось семикратным. При большой освещенности, в частности в летний день, это явление отсутствовало. Чрезвычайно показательными в этом смысле являются рис. 22 и 23. Рис. 22 представляет отражение от нижнего слоя в различное время одних и тех же суток. Около 12 час. наблюдается лишь однократное отражение, а около 2 час. уже шестикратное. На снимках, изображенных на рис. 23, относящихся к верхнему слою, около 15 час. (при волне в 84 м) даже простые отражения отсутствуют. Около 18 час. они начинают изредка появляться, а около 20 час. возникает многократное отражение, продолжающееся до возникновения эффекта солнечного захода. Можно было бы предположить, что днем слой оказывается недостаточно концентрированным; но, может быть, эти явления объясняются только увеличением поглощения при большой освещенности, исчезающим при наступлении темноты. Это предположение доказывается тем, что отражение на рис. 23 не сопровождается эффектом солнечного восхода (ср. рис. 18), но неожиданно возникает от нормальной высоты. Едва ли также можно допустить, что поглощение происходит при проникновении волны через нижний слой, так как Губо и Ценнек¹⁷ обнаружили то же явление при отражении длинных волн от нижнего слоя. Поэтому поглощение должно было бы быть особенно сильным летом в течение всего дня. К этому заключению Эпплтон²⁴, сделавший аналогичное наблюдение, пришел еще в 1927 г. Повышение концентрации каждого слоя при увеличении освещенности оказывается недостаточным для объяснения этого вопроса, так как одна и та же волна будет при этом проникать в слой на меньшую глубину; возможно, что образуется некоторое движение зарядов из нижнего слоя в направлении к по-



4. VIII.

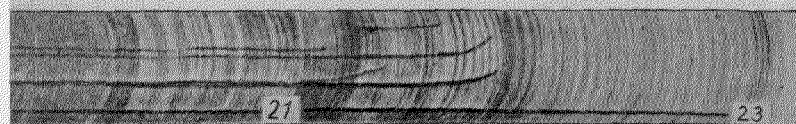


8. VIII.

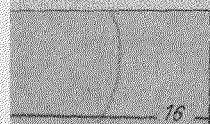
$$\lambda = 60\mu$$



15. VIII.



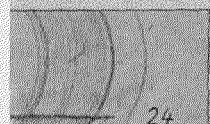
31. VIII.



26

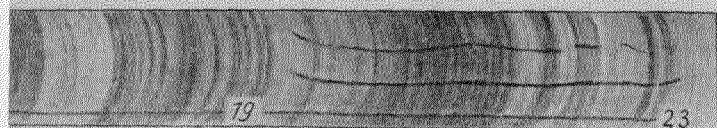


1. IX.



6. IX.

24



8. IX.

29

23

жду 4 августа и 8 сентября 1932 г. „Вечерняя концентрация“. Солнечное
31 августа 1932 г.

верхности Земли или же аналогичное самостоятельно возникающее явление на меньших высотах (озон ?); однако количественная сторона этой гипотезы еще не ясна.

Несомненно, это поглощение является основной причиной некоторых замечательных явлений, наблюдаемых при радиосвязи; им вызываются ненормальные колебания интенсивности поля при связи на больших расстояниях (на волнах средней длины), наблюдающиеся

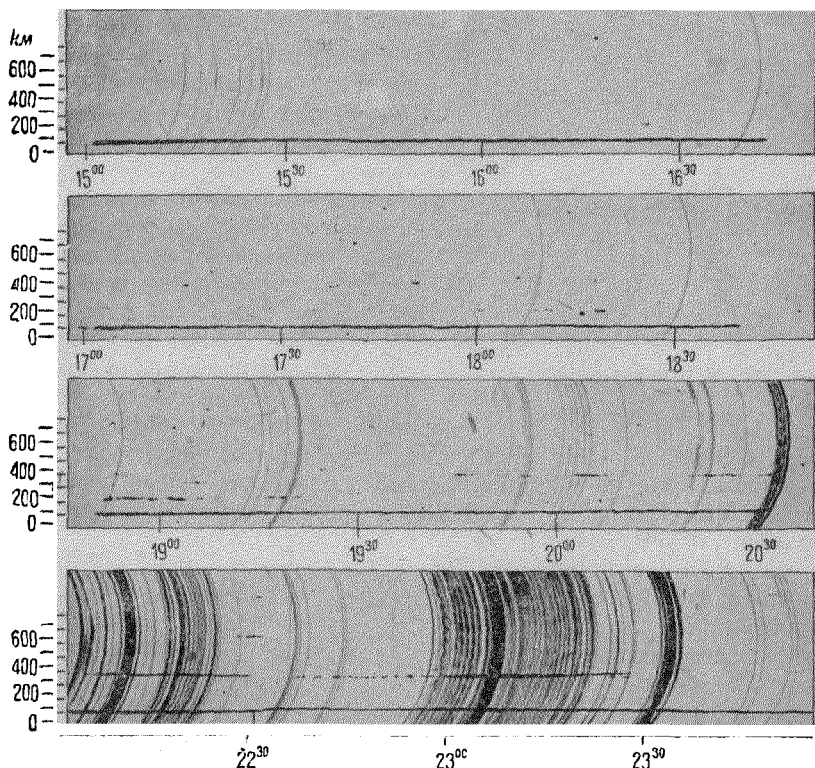


Рис. 23. Поглощение летом при дневном освещении, длина волны 84 м.

в дневное и ночное время, а также лучшая передача на коротких волнах, чем на средних. Наоборот, большой радиус действия очень длинных волн обусловлен более сильной земной волной.

Поглощение играет также очень важную роль при коротковолновой связи. Все короткие волны имеют то преимущество, что их поглощение значительно уменьшается, будучи пропорциональным квадрату длины волны. Радиус их действия определяется только отраженными лучами, земная же волна практически не имеет никакого значения. Особенными преимуществами обладают те волны, которые при горизонтальном излучении способны проникнуть через

нижний слой, но отражаются от верхнего. Таковы волны, применяемые для трансокеанской связи (от 10 до 40 м). Однако изменение длины волны вдвое сопровождается уже заметным увеличением поглощения. Поэтому всегда стараются работать с волнами, по возможности близкими к предельным (изменение длины волны в зависимости от освещенности).

13. ЧАСТИЧНЫЕ ОТРАЖЕНИЯ

Большой теоретический интерес представляет вопрос о частичном отражении. Он уже неоднократно разрабатывался, но до сих пор не удалось получить удовлетворительных результатов (Зеелигер ⁴⁶,

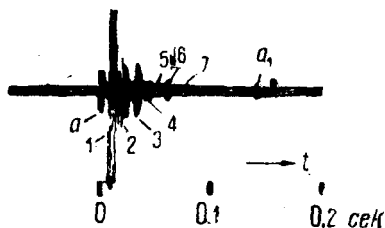


Рис. 24. Многократное эхо с продолжительностью около 0,01 сек.

Ганс ⁴⁷, Ферстерлинг ⁴⁸, Эпштейн ⁴⁹, Ферстерлинг и Лассен ⁴⁵, Гиллиланд, Кенрик и Нортон ⁴³). Измерения позволяют думать, что возможно резко выраженное частичное отражение. Удавалось наблюдать одновременные отражения от обоих слоев, имевших приблизительно равные интенсивности. Теоретические подсчеты допускают возможность такого явления только при волнах, лежа-

щих близко к предельной волне. Конечно, не исключена возможность, что во многих практических случаях имело место не оптическое частичное отражение, а процесс определялся неоднородной, облакообразной, с разрывами структурой нижнего слоя, легко проникаемого в отдельных местах. Интересную гипотезу о частичном или диффузном отражении можно найти в работе Эккерслея ⁵⁰, относящейся к открытому в 1928 г. явление эхо с продолжительностью около 0,01 сек. (Тейлор и Юнг ⁵¹, Квек и Мегель ⁵²), причем может возникать пяти-семикратное эхо (рис. 24). Пеленгируя подобное эхо при приеме сигналов, излучаемых станциями Бодмин и Дорчестер (рис. 25 — сплошные прямые), Эккерслей ч Чельмсфорде (около Лондона) нашел направления пеленгов (пунктиры на рис. 25), определившие места образования этого

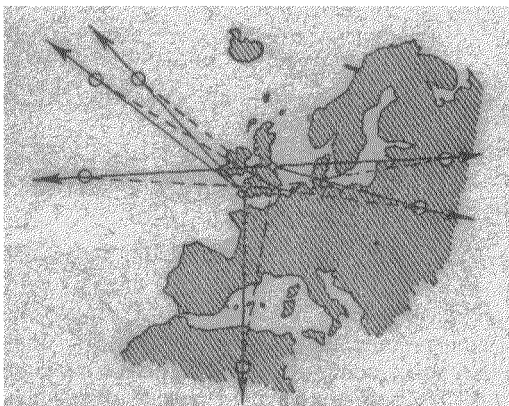


Рис. 25. Пеленгирование эхо с продолжительностью 0,01 сек.

эхо в точках, расположенных на расстоянии 1000—2000 км и отмеченных кружками на рис. 25. Но это как раз были места, в которых излучение станций попадало в слой Кеннели-Хейсайда, так что пришлось допустить, что в этих точках возникло рассеянное излучение в обратном направлении. Других объяснений эхо до настоящего времени предложено не было.

14. Мировое эхо

Гальс и Штермер⁵³ обнаружили существование эхо очень большой продолжительности — до 30 сек. (см. также ван-дер-Поль, Эпплтон, Галле⁵⁴). Ван-дер-Поль⁵⁵ пытался объяснить его уменьшением групповой скорости, Педерсен⁵⁶ возражал против этого объяснения. Штермер высказал гипотезу, заключающуюся в том, что отражение происходит на колоссальных расстояниях от тороидальных электронных облаков, сопровождающих Землю и образованных электронами, испускаемыми Солнцем. Эти же электроны по мнению Биркеланда⁵⁷ обуславливают и возникновение полярных сияний. Ряд данных говорит в пользу гипотезы Штермера. Мировое эхо удается наблюдать при волнах, которые могут пронизывать оба слоя в перпендикулярном направлении (длина волны меньше 40 м). При этом предельная концентрация зарядов в тороидальных облаках должна быть больше, чем в верхнем слое.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Sacklowski, E.N.T. **3**, 438, 1926.
2. H. Lassen, Jahrb. drahtl. Tel. **28**, 109, 1926.
3. W. G. Baker a. C. W. Rice, Journ. A. I. E. E. **45**, 535, 1926.
4. P. L. Pedersen, Dan. Nat. Samf. M. **15**, a. b., 1927.
5. K. Försterling u. H. Lassen Z. techn. Phys. **12**, 453, 502, 1930.
6. E. Quack u. H. Mögel, E.N.T. **5**, 542, 1928; Telefunken-Ztg. **52**, 58, 1929.
7. H. Mögel, Telefunken-Ztg. **56**, 14, 1930.
8. H. Mögel, Telefunken-Ztg. **60**, 32, 1932.
9. H. Plendl, Jahrb. drahtl. Tel. **38**, 89, 1931.
10. M. L. Prescott, Proc. I. R. E. **18**, 1797, 1930.
11. H. Rukop, E. N. T. **3**, 316, 1926.
12. Рис. 4 заимствован из статьи O. Böhm, Telefunken-Ztg. **53**, 1929.
13. E. V. Appleton a. M. A. F. Barnett, Proc. Roy. Soc. A. **113**, 450, 1926.
14. G. Breit a. M. A. Tuve, Phys. Rev. **28**, 554, 1926.
15. T. R. Gilliland a. G. W. Kenrick Proc. I. R. E. **20**, 540, 1932.
16. H. Rukop u. P. Wolf, Ztschr techn. Phys. **13**, 132, 1932.
17. G. Goubau, Physik. Ztschr. **31**, 333, 1930; G. Goubau u. J. Zenneck, Jahrb. drahtl. Tel. **37**, 207, 1931; G. Goubau, Ann. d. Phys. **10**, 329, 1931.
18. E. V. Appleton a. G. Builder, Proc. Phys. Soc. **1**, 44, 76, 1932.
19. J. P. Schafer a. W. M. Goodall, Proc. I. R. E. **20**, 1131, 1932.
20. G. Goubau u. J. Zenneck, еще не опубликовано.
21. P. Drude, Lehrb. d. Optik, A. Sommerfeld, Ann. d. Phys. **44**, 177, 1914.

22. R. A. Heising, J. C. Schelling a. G. C. Southworth, Proc. I. R. E. **14**, 68, 1926.
23. G. J. Elias, E. N. T. **2**, 351, 1925.
24. E. V. Appleton, Nat. **120**, 330, 1927.
25. E. V. Appleton, a. A. L. Green, Proc. Roy. Soc. A, **128**, 159, 1930.
26. G. Breit, M. Tuve a. O. Dahl, Proc. I. R. E. **16**, 1236, 1928.
27. E. V. Appleton, Proc. Phys. Soc. IV, **42**, 321, 1930.
28. E. L. Hulbert, Phys. Rev. **29**, 703, 1927; G. Breit, Proc. I. R. E. **15**, 709, 1927.
29. H. Lassen, E. N. T. **4**, 324, 1927.
30. E. V. Appleton a. R. Naismith, Proc. Roy. Soc. A **137**, 36, 1932.
31. E. V. Appleton a. G. Builder, Proc. Phys. Soc. A **44**, 76, 1932.
32. P. Wolf, рис. 12, 13, 19, 20, 21, 22 из статьи, печатающейся в Jahrb. drahtl. Tel. см. также 16.
33. T. R. Gilliland, Proc. I. R. E. **19**, 114, 1931.
34. E. Paul, рис. 18 и 23, из еще неопубликованных измерений, произведенных в Институте технической физики Кельнского университета.
35. L. Vegard, Z. Physik **16**, 367, 1923, см. также 36.
36. C. Störmer, Ergeb. d. Kosm. u. Phys. **1**, 1931, A. V. G. Leipzig.
37. E. V. Appleton a. S. Chapman, Nat. **129**, 757, 1932.
38. P. A. de Mars, T. R. Gilliland a. G. W. Kenrick, Proc. I. R. E. **19**, 106, 1931.
39. G. Goubau, E. N. T. **10**, № 2, 1932.
40. K. Krüger u. H. Plendl, Jahrb. drahtl. Tel. **33**, 85, 1929.
41. J. K. Clapp, Proc. I. R. E. **17**, 79, 1929.
42. H. Mögel, Telefunken-Ztg. **60**, 29, 1932.
43. T. R. Gilliland, G. W. Kenrick a. K. A. Norton, Proc. I. R. E. **20**, 286, 1932.
44. S. Chapman, Proc. Roy. Soc. A, **132**, 353, 1931.
45. C. Störmer, цитир. соч., 36, § 16.
46. H. Seeliger, Phys. Ztschr. **5**, 237, 1904.
47. R. Gans, Ann. d. Phys. **47**, 709, 1915.
48. K. Försterling, E. N. T. **5**, 530, 1928.
49. P. S. Epstein, Proc. Nat. Acad. Sc. **16**, 627, 1930.
50. T. L. Eckersley, Journ. A. I. E. **67**, 992, 1929.
51. A. H. Taylor a. L. C. Young, Proc. I. R. E. **16**, 561, 1928; **17**, 1491, 1929.
52. E. Quäck u. H. Mögel, E. N. T. **6**, 45, 1929.
53. См. C. Störmer, Nat. **122**, 681, 1928; Naturwiss. **17**, 643, 1929.
54. B. v. d. Pol, E. V. Appleton u. J. R. Galle, цитир. соч. 36, § 23.
55. B. v. d. Pol, Tijdschr. Ned. Rad. **4**, 13, 1928.
56. P. O. Pedersen, Proc. I. R. E. **17**, 1750, 1929.
57. E. Birkeland, см. 36.