

ДИСКУССИЯ ОБ ИОНОСФЕРЕ

22 июня в Лондонском королевском обществе состоялась дискуссия об ионосфере при участии Е. Эпплтона, Чепмэна и др. В нижеследующем мы даем полный перевод отчета о дискуссии, помещенный в Proc. Roy. Soc. A 141, 1933. Перевод выполнен под редакцией Д. И. Еропкина.

Е. В. Эпплтон. Открывая собрание, интересно вспомнить, что семь лет тому назад такое же собрание, посвященное дискуссии по тому же вопросу, было открыто Резерфордом. Для меня было чрезвычайно поучительно перечитать отчет об этом собрании. Мне, например, стал вполне ясным тот существенный успех, который достигнут за последние семь лет и который дает нам возможность более точно и с большей уверенностью ответить на некоторые, поднятые дискуссией вопросы. С большим удовлетворением можно также установить, что многие высказанные тогда предположения оказались чрезвычайно плодотворными и особенно полезными для опытных исследований в этой области. Прежде всего следует отметить, что наш вопрос имеет теперь свое имя; последняя дискуссия была посвящена «Электрическим явлениям в верхних слоях атмосферы», тогда как объектом настоящей дискуссии является «ионосфера». Термин этот впервые предложен Уаттом (W. Watt). Открывая дискуссию, я ставлю себе главной задачей очертить успехи, достигнутые в различных, затронутых Резерфордом направлениях. Вопросы в целом я коснусь только в общих чертах, предоставляя следующим докладчикам дополнить пробелы. Я предполагаю также уделить исключительное внимание сведениям, приобретенным при помощи того метода, который меня специально интересовал, а именно радиоисследованиям.

За отсутствием данных, получаемых из измерений *in situ*, возможных для нижних слоев атмосферы, — сведения, касающиеся природы ионосферы, получаются из наблюдений: 1) над земным магнетизмом, 2) над световыми явлениями, как, например, электрические разряды, полярные сияния, метеориты и т. д. и 3) из исследований распространения радиоволн; хотя первое указание на резко выраженную электризацию верхних слоев атмосферы исходило из магнитных наблюдений, применение радиоволн в общем оказалось наиболее плодотворным. Радиометоды обладают тем большим преимуществом, что исследование может быть произведено во всякое время, и нет необходимости выжидать тех или иных естественных явлений природы.

Радиоисследование состоит в том, что посылаются радиосигналы (обыкновенно вертикально вверх) и отмечаются характеристики волн, отраженных ионосферой. Измеряются следующие величины: а) все время прохождения пути вверх и вниз группой волн, б) поляризация, и в) интенсивность отраженных волн. Умножив групповое время на скорость света, мы получим эквивалентный путь P^1 , больший, чем действительный пройденный волнами путь. С другой стороны, оптический путь P меньше действительного пути, так что там, где может быть произведена оценка P (это возможно в некоторых случаях при помощи экстраполяции), могут быть даны высший и низший пределы действительной высоты отражения. При измерениях отправляемой волне должна быть сообщена отличительная характеристика, как, на-

пример, перемена частоты или перемена амплитуды. Из двух указанных методов модуляции амплитуды дают легче всего интерпретируемые данные. Промежутки времени, подлежащие измерениям, имеют порядок миллисекунд и потому не возбуждают серьезных экспериментальных трудностей. Измерения поляризации и интенсивности являются для обычных длин волн (от 20—2000 м) измерениями переменной электрической энергии в незначительном по сравнению с длиной волны пространстве.

Измерения а), б) и в) дали сведения о природе ионосферы, могущие быть суммированными следующим образом:

А. Структура. Наиболее непосредственный указатель ионосферических условий получается измерением эквивалентного пути P^1 для ряда частот f . Для известных значений f найдено непрерывное увеличение P^1 , которое интерпретируется как указание на существование максимума ионизации. Обычно имеется один перерыв в кривой (P^1, f), указывающий на проникновение в нижнюю (область E) из

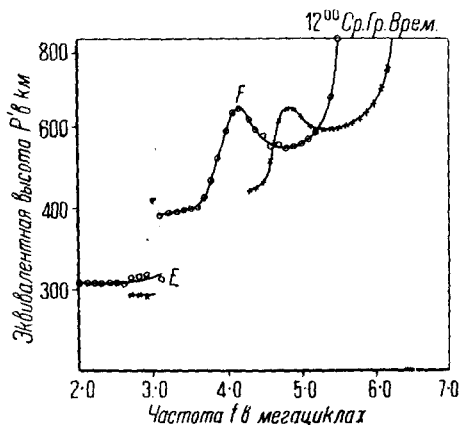


Рис. 1.

двух главных областей, на которые делится ионосфера. На рис. 1 показан пример такой кривой для спокойного дня, где ясно видна прерывность в обычной кривой при частоте 3,1 мегацикла в секунду. При этой частоте не замечается отражения от нижней области E и начинается отражение от области F. Полуденная ионизация в верхней области F обычно в $3\frac{1}{2}$ —4 раза больше ионизации в области E, причем средние значения ионизации составляют соответственно $6,1 \cdot 10^5$ и $1,8 \cdot 10^6$ электронов на кубический сантиметр*. Изменения (дневное и по временам года) в области F не так заметны, как в области E; эту разницу надо, вероятно, отнести за счет различия давления в обоих слоях. Не может быть сомнения в том, что максимум ионизации области E достигается на высоте приблизительно 100 км над поверхностью Земли. Высота соответствующей области F (максимум) гораздо труднее поддается оценке, но величина около 180 км, по всей вероятности, будет довольно точной.

Опыты, произведенные за последние двадцать месяцев в Слефе в Англии, выяснили дальнейшие подробности относительно того, что может быть названо тонкой структурой ионосферы. Промежуточная

* Эти значения были вычислены из применения теории рассеяния со включением члена «поляризации» Лоренца-Гартри. Если пренебречь этим членом, так как его включение подлежит еще обсуждению, то данные значения должны быть помножены на $2/3$.

область между областями E и F оказалась не лишённой ионизации, и даже в относительно редких случаях было доказано существование в этой области ещё одного максимума ионизации. Но обычно для Англии эта промежуточная область в полдень не должна быть так сильно ионизирована, как области E .

Доказанным также является существование выпуклости или выступа на нижней стороне области F , где максимум ионизации возрастает с высотой Солнца. Не лишним будет указать, что всякая область расположения выше области F , но имеющая более низкую ионизацию, не могла бы быть обнаружена обычными радиометодами.

В. Изменения суточные, по временам года и другие регулярные. Все области ионосферы показывают резкое суточное изменение, что доказывает, что они нормально находятся под влиянием непосредственной солнечной радиации; ионизация пополняется за день со скоростью, зависящей от высоты Солнца, а в течение ночи она постепенно убывает благодаря упомянутому ниже процессу в области F . Максимум ионизации в области E находим в местный полдень, тогда как максимум в области F происходит вероятнее всего на час или два позже (хотя последнее мало понятно). Простые суточные кривые изменений в спокойные дни имеют большое сходство с теоретическими результатами, полученными Чепменом (Chapman) для ионизирующего влияния монохроматической радиации на вращающуюся атмосферу. Найденное на опыте отношение ионизации в летний полдень к ионизации в зимний полдень равно приблизительно 2,2 для области E и (с меньшей достоверностью) от 1,5 до 1,8 для области F .

Недельные измерения максимума полуденной ионизации в области E , сделанные в 1931 г. и позже вместе с другими наблюдениями, менее точными, но простирающимися на более длительный период времени, дают возможность предполагать непосредственное соотношение между невозмущёнными значениями полуденной ионизации и циклом солнечных пятен. Ионизация при максимуме солнечных пятен, видимо, на 50—60% больше, чем при минимуме солнечных пятен. Предстоит ещё решить вопрос, можно ли это изменение приписать одиннадцатилетнему циклу в интенсивности ультрафиолетового излучения Солнца.

С. Периодические тенденции и неправильности. Измерения плотности ионизации с убедительностью доказали, что ионизация обоих слоёв E и F может время от времени возрастать в течение ночи, когда непосредственно солнечная радиация не может оказывать действия. Были также отмечены аномальные значения для области E , в особенности летом, сильно превышающие ожидаемые от сезонных изменений значения. Кривая P^1 , f для такого ненормального летнего дня показана на рис. 2, который следует сравнить с рис. 1.

Рис. 2 показывает, что ионизация в области E настолько интенсивна, что даже волны такой высокой частоты, как 7,0 мегациклов в секунду не проникают через неё. Кроме того, очень незначительные изменения P^1 с f указывают на чрезвычайно резкий градиент ионизации с высотой; эти условия не имеют местного характера, на что указывает тот факт, что однородные данные были получены в один и тот же день в Слефе и в лаборатории Галлей-Стюарт в Хемпстедде. Возможными причинами ненормально высокой ионизации области E предполагают и грозы, и заряженные солнечные корпускулы высокой скорости. Возможно, что грозы, как указывал лет десять тому назад Вильсон (C. T. R. Wilson), влияют на ионизацию верхних слоёв атмосферы или посредством свободных электронов, или посредством ионизации через столкновения, происходящей на высоких уровнях благодаря повышенной интенсивности электрических полей.

Известные типы аномальных ночных возрастных ионизации становятся тем более заметными, чем больше удаляться от экватора по широте, что указывает на влияние земных магнитных полей на пути заряженных корпускул. Кроме того соотношение радиоданных с солнечными пятнами и магнитными возмущениями и наличие тенденции к периодичности еще больше подтверждают прочно установившийся взгляд о резко выраженном солнечном влиянии. В пользу обычного объяснения, что заряженные корпускулы исходят из Солнца, говорит многое, но необходимы дальнейшие более детальные исследования возможных влияний гроз в геофизических явлениях. Не вполне достоверно, что мировые возмущения не действуют до известной степени в качестве промежуточного механизма, заготавливая заряженные корпускулы, которые являются причиной явлений, обнаруживающих тенденцию к 27-дневной периодичности; большой интерес представило бы рассмотрение грозных данных для этой тенденции, а также для

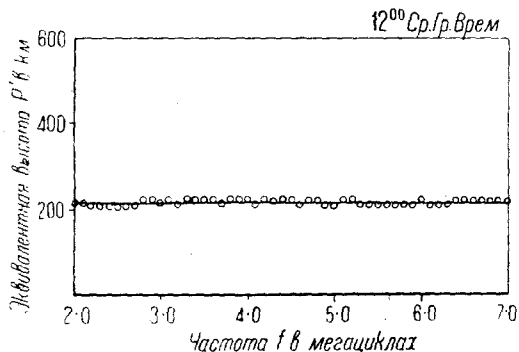


Рис. 2.

11-летнего периода. Первый намек в этом отношении есть в измерениях Нэйсмита (Naismith) и моих, касающихся годовых вариаций ионизации области E в полдень. При содействии Луткина (M. Lütkin) было выяснено, что эти данные, указывающие на соотношение между аномально высокой летней ионизацией и деятельностью гроз, также приводят к предположению 26—27-дневного периода. В дальнейшей разработке вопроса я очень обязан Бруксу (C. E. P. Brooks) из Метеорологического бюро, который любезно дал мне ценные указания относительно литературы вопроса. Самая тесная связь между частотой гроз и солнечной деятельностью была установлена Септером¹, рассмотревшим данные, полученные на 229 сибирских станциях за период 1888—1924 г. Три максимума и четыре минимума солнечных пятен точно воспроизведены на кривой пятнообразовательной деятельности Солнца, за исключением того, что двойной максимум пятен 1905—1907 представлен одним грозным максимумом в 1906. Брукс нашел, что коэффициент соотношения для этих данных есть 0,88 и установил уравнение:

$$\text{Число гроз} = 10,4 + 0,11 \times \text{число пятен.}$$

Относительно 27-дневного периода Септер пишет: «Уже открыты периоды в 25—27 дней Д. О. Святским, а также период в 25,8 Бекольдом (V. Bezold) и 27,5 Риддером (Ridder), сильно приближающиеся к 27-дневному синодическому обращению Солнца; можно утверждать, что максимумы гроз на земном шаре, наступающие с 27-дневной периодичностью, вызываются какими-то центрами деятельности, лежащими

внутри Солнца. Много раз пытались сопоставить число солнечных пятен с количеством осадков, большинство этих сопоставлений было неудачно, но Клейтон суммирует их в том смысле, что они доказывают наибольшее количество выпадения осадков во время или как раз после максимума солнечных пятен на большинстве тропических станций в северном Атлантическом и северном Тихом океанах, южном Чили, южном побережье Африки и Австралии и на континентальных станциях, где преобладают летние дожди.

Д. Природа ионизации. Интерпретируя данные, полученные при помощи радио, следует помнить, что эффект ионизации, производимой отражение, преломление и поглощение волн, измеряется не числом ионов N , а отношением N/m , где m есть масса одной из заряженных корпускул. На этом основании мы можем оценивать ионизацию величиной $\frac{N_e}{m_e} \pm \frac{N_i}{m_i}$, где индекс e относится к электронам,

а индекс i относится к ионам. Измерения поляризации отраженных волн доказывают, что N_e/m_e больше, чем N_i/m_i . Влияние земного магнитного поля делает ионосферу аллотропической средой и, благодаря разнице в групповой скорости двух компонентов, единичный радиопульс может быть превращен в двойной. Подобного эффекта, имеющего место в областях E и F , можно ожидать, когда преломляющий процесс вызван, главным образом, электронами. Отношение между наблюдаемой поляризацией и направлением распространения в отношении к земному магнитному полю показывает, что эффективные электрические заряды имеют отрицательный знак.

Е. Ионизирующие агенты. Опыты, поставленные в связи с прошлогодним затмением в Канаде, показали, что нормальной причиной ионизации ионосферы является ультрафиолетовая радиация Солнца. Мы рисуем себе структуру ионосферы так, что существуют две основных области, из которых каждая, вероятно, образуется из двух элементов в течение суток. Вероятно, четыре компонента ассоциированы с ионизационными потенциалами различных атмосферических составляющих, атомных и молекулярных.

В. С указывались возможные аномальные агенты. Каковы заряженные корпускулы и их падение, соответственно измерениям Нэйсмита и моим они соответствуют магнитным возмущениям и грозам. Они обычно являются причиной ионизации в нормальной области E или непосредственно ниже нее, но градиент ионизации, который они дают, круче градиента, получаемого на том же уровне от ультрафиолетового света.

Г. Процессы захвата электрона. В течение ночи наблюдается постоянное уменьшение ионизации ионосферы, которое при отсутствии аномальных влияний может быть использовано для изучения процесса захвата электрона. Легче производить измерения для верхней области, чем для нижней, но даже и для верхней области данные противоречивы. Эккерслеи (Eckersley), основываясь на изучении беспроводной передачи изображений Маркони, заключает, что обычный закон рекомбинации для электронов и положительных ионов описывает процесс; однако я нахожу, что этот закон не пригоден для некоторых моих измерений и что закон присоединения электронов к незаряженным атомам больше согласуется с опытами.

Для окончательного вывода необходимы дальнейшие работы.

Чепмэн. Мне бы хотелось выразить мое восхищение предыдущим изложением вопроса, сделанным Эпплтоном. Я смотрю на озон и ионизацию верхней атмосферы как на факторы, представляющие собою в известном смысле спектр поглощения солнечной радиации. Солнечная радиация, очевидно, имеет различные составные части, поглощаемые на различных уровнях и образующие известного рода спектр, для которого поглощающая атмосфера сама есть спектроскоп.

Наша задача состоит в том, чтобы выяснить, что такое радиация, из которой образован спектр, и какова природа того начала, которое дает нам его.

Поглощающую среду — воздух — можно для данной цели рассматривать как состоящую только из кислорода и азота, но различные состояния этих двух, имеющих важное значение для поглощения веществ могут быть в известном отношении многочисленными. Оба газа встречаются несомненно в атомном, так же как и в молекулярном состоянии, и некоторые из этих четырех форм (атомный и молекулярный кислород и атомный и молекулярный азот), вероятно, имеют другие вариации с различным и значительным поглощением. Это происходит вследствие того, что атомы и молекулы могут находиться в состоянии возбуждения, причем некоторые из этих состояний метастабильны; солнечная радиация должна непрерывно производить возбуждение; хотя продолжительность состояния возбуждения для каждой отдельной корпускулы может быть краткой, тем не менее во всякое время некоторое количество корпускул будет находиться в том или ином состоянии возбуждения. Что касается ионизации, то каждая из этих вариаций является самостоятельной частью атмосферы со своим собственным коэффициентом поглощения и своим собственным потенциалом ионизации, меньшим, чем для нормальной корпускулы того же рода.

Тогда как солнечная радиация с частотой, достаточной для того, чтобы ионизировать нормальный атом или молекулу, вероятно, поглощается высоко в атмосфере, имеется полоса солнечной радиации большей длины волн, которая не может возбуждать атомы и молекулы или не может ионизировать возбужденных атомов и молекул. Эта вторая полоса обладает в общем гораздо большей энергией, чем первая, хотя отдельные фотоны имеют меньше энергии. Нижняя часть ионизированной области может быть ионизирована двойным процессом; впрочем коэффициенты поглощения, определяющие уровень каждого рода поглощения, еще не установлены ни теоретически ни лабораторно-опытным путем.

Отметим интересный пункт, а именно, что содержание ионов, обусловливаемое единичным процессом ионизации, т. е. при очень коротких длинах волн, должно быть пропорционально интенсивности ионизирующей радиации I , тогда как если имеется двойной процесс ионизации, то его интенсивность должна быть пропорциональна произведению двух ионизирующих радиаций I_1 и I_2 . Поэтому, если солнечная радиация изменяется в течение цикла солнечных пятен, что совершенно ясно обнаруживается из магнитных данных и в такой же мере из радиоизмерений (вероятность последнего была указана Эпплтоном), то все же нельзя заключить из вариации содержания ионов о том, что представляет собой солнечная радиация, пока мы не узнаем, является ли ионизация в данном слое единичным или двойным процессом ионизации. В числе частиц, могущих быть легче ионизированными, чем атомы и молекулы в нормальных состояниях, я могу также указать на отрицательные кислородные ионы, образованные присоединением электронов к кислородным частицам. Потенциал ионизации этих отрицательных ионов, вероятно, 5—6 V, и поэтому они могут быть ионизированы довольно легко и образовывать добавочный источник свободных электронов. Отрицательная кислородная ионизация может быть вызвана или солнечной радиацией, или непосредственным притоком энергии из того же источника при помощи столкновений с возбужденными частицами. Цвет ночного неба указывает на то, что возбужденные частицы существуют в течение всей ночи и образуются по всей вероятности, непрерывно; возможно, что это обстоятельство замедляет уменьшение содержания электронов в течение ночи.

Природа уменьшения электронного содержания представляет со-

бой большой интерес. Рекомбинируются ли электроны с положительными ионами или они прикрепляются к нейтральным частицам? Близко связано с этим вопросом отношение числа имеющихся электронов к числу ионов; если присоединение электронов значительно, то ионов должно быть больше, чем электронов. Наша осведомленность по этим вопросам должна, мне кажется, опираться частично на кривые дневных изменений содержания ионов на различных уровнях, а частью на изменения по временам года. Я занимаюсь подробным теоретическим изучением этих вопросов и считаю, что положение в отношении суточных изменений довольно сложное; но изменения ионов в зависимости от времен года дают более ясные указания. Если преобладает рекомбинация, то содержание электронов летом (n_s) по сравнению с содержанием зимою (n_w) дается в формуле

$$\frac{n_s}{n_w} = \sqrt{\frac{J_s}{J_w}} = \sqrt{\frac{T_w \sin(\theta + \delta)}{T_s \sin(\theta - \delta)}},$$

где θ обозначает широту, δ — максимум солнечного склонения (23°) и T_s и T_w — летние и зимние значения абсолютной температуры в ионизированном слое. Для нашей широты получим:

$$\frac{n_s}{n_w} = 1,84 \sqrt{\frac{T_w}{T_s}}.$$

Соответствующая пропорция, когда преобладают присоединения, будет:

$$\frac{n_s}{n_w} = \frac{T_w \sin(\theta + \delta)}{T_s \sin(\theta - \delta)},$$

или $3,4 \left(\frac{T_w}{T_s} \right)$ для нашей широты *.

Эпплтон указал на это различие, и значения, приведенные им в предисловии, около 2,2 для слоя E и 1,5—1,8 (с меньшей достоверностью) для слоя F . В обоих случаях эти значения как будто указывают на то, что рекомбинация значительнее присоединения. Прибавим еще, что если присоединение по величине одинаково с рекомбинацией в слое F , в слое E оно может преобладать благодаря большей плотности кислородных частиц, к которым могут присоединяться электроны. Поэтому весьма возможно, что когда будут продолжены дневные наблюдения над ионизацией и когда будет взято достаточное число кривых, то выяснится, что этот закон есть также закон рекомбинации в F слое.

В заключение упомяну о ценных наблюдениях Гендерсона² во время затмения в Канаде 31 августа 1932 г. Они показали, что n упало приблизительно на 60% в течение оптической лунной фазы, таким образом, подтверждая мнение Эпплтона, что этот слой ионизирован главным образом ультрафиолетовым светом, а не, как я предполагал, корпускулами.

Возможность корпускулярного затмения в каком-нибудь другом слое все же, как мне кажется, подлежит дальнейшему исследованию. Но при содействии Миллера (Miller) я определил, каково должно было бы быть ожидаемое изменение n во время канадского затмения, предполагая единственным ионизирующим агентом ультрафиолетовый свет и предполагая степень рекомбинации совместимой с кривыми

* Значение $\frac{T_w}{T_s}$ неизвестно, но, повидимому, оно близко к единице.

дневного изменения для слоя E^* . Результат вполне согласуется с диаграммой Гендерсона для затмения и показывает, что нет необходимости приписывать какую-либо часть остальных 40% содержания электронов во время полной фазы другому ионизирующему источнику. Подобные вычисления для слоя** указывают, что здесь*** следует ожидать гораздо меньшего эффекта затмения; это не было исследовано во время данного затмения и должно быть выяснено наблюдениями во время следующих затмений.

Эккерслеи. Эплтон ясно сформулировал три способа, какими могут быть произведены измерения отраженных ионосферой волн. Я предлагаю обсудить последние два способа, т. е. измерения характеристик поляризации и интенсивность отраженных волн.

При наших измерениях сигналы принимались двумя рамочными антеннами, поставленными под прямым углом одна к другой, и передавались через вращающуюся катушку к приемнику, а оттуда на пластины катодного осциллографа.

Циркулярно-поляризованный входящий луч будет индуцировать равные EDC в каждой из двух рамок, причем эти EDC будут смещены по фазе на 90° .

Если обе антенны правильно настроены на входящую волну, то в ионометре образуется вращающееся поле. Если же антенны настроены так, что один ток опережает EDC на 45° , а другой отстает на 45° , и если EDC в антеннах сдвинуты на 90° по фазе, то токи в обеих антеннах по фазе совпадут.

Отсюда следует, что для циркулярно поляризованной волны искательная катушка ионометра может быть приведена в такое положение, что EDC не будет индуцироваться. Нулевое положение может быть таким, что для поляризации справа мы имеем -45° и для поляризации слева $+45^\circ$. Линейно-поляризованный сигнал обладает равномерной силой, когда угол падения луча делит пополам угол между плоскостями обеих антенн.

С помощью этого метода мы получаем средство определения поляризации приходящих волн. Вспомогательный источник высокочастотных колебаний применяется в соединении с приемником для облегчения получения правильной настройки обеих рамок и для дальнейшего измерения интенсивности отраженных импульсов.

Были произведены чисто визуальные наблюдения над длинами волн между 45 и 90 м и только днем. 200-ваттный передатчик был установлен в Чельмсфорде, а приемник на расстоянии 1,5 км в Брукфильде.

Одна из наиболее характерных черт полученных результатов — это необыкновенная изменчивость так называемой ионосферической погоды. Каждый день приносит новую серию условий; необходимо большое число систематических измерений, чтобы выяснить основные.

Во многих случаях наблюдались раздвоения. Это соответствует магнитно-ионной теории, которая предсказывает раздвоения плоскополяризованной волны на две составные части с противоположными круговыми поляризациями, когда большая часть электрических носителей суть электроны. Нормальные раздвоения определению противоположно поляризованы. Обыкновенно правая замедлена меньше, а левая больше, хотя в некоторых случаях наблюдалось противоположное явление. В редких случаях наблюдались очень определенные три-

* Параметр ω_p , от которого зависит дневное изменение (Proc. Phys. Soc. 43, 36, 1930) был принят равным $1\frac{1}{2}$.

** Принимая ω_p равным 1 или $1\frac{1}{2}$.

*** Показаны были диапозитивы, чтобы иллюстрировать эффекты на слоях E и F . Диаграммы будут помещены в следующей работе по этому вопросу.

плеты с одной правой и двумя следующими за ней левыми поляризациями, настолько близкие друг к другу, что их можно считать принадлежащими к одной системе.

Триплеты наблюдались в пяти случаях в течение последних пяти месяцев, на длинах волн между 55 и 60 м. Следует отметить, что иногда E и F -отражения принимались одновременно. Это определенно указывает на частичное проникновение и частичное отражение; так как в некоторых случаях и правые и левые E -отражения наблюдаются одновременно с F -отражениями, то и этот факт определенно противоречит теории лучей, которая требует, чтобы луч или полностью проникал или был полностью отражен.

Следующей наблюдаемой особенностью является происходящее иногда расщепление эхо, обычно как раз перед моментом, когда данный сигнал исчезает, проникая через слой.

Это многократное расщепление, наблюдавшееся во многих случаях, соответствует лишь одной поляризации; обыкновенно она не расщеплена и расщепляется вновь попеременно то на правую, то на левую составляющую.

Этот эффект распространения, как мне кажется, обусловлен главным образом дисперсией (как это предполагает Плендль (Plendl³) и происходит, когда имеется быстрое изменение групповой и фазовой скоростей с частотой.

Быстрое изменение особенно велико для частот, близких к предельным частотам. Это обстоятельство свидетельствует, что расщепление обыкновенно наблюдается непосредственно перед тем, когда данный луч проникает в ионосферу.

Характеристики поляризации значительно колеблются изо дня в день. Результаты большого числа наблюдений указывают, однако, на известную регулярность их изменений.

Таким образом на 60 м левая и правая поляризации наблюдаются одинаково часто, как показывает ряд наблюдений в течение декабря, января и части февраля этого года. На более коротких длинах волн преобладает правая поляризация, на более длинных преобладает левая.

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ЗАТУХАНИЕ ПРАВОЙ И ЛЕВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ВОЛН

Это изображается кривыми затухания, которые показывают, что.

1. На 60 м в течение дня правый и левый лучи ослабевают приблизительно одинаково.

2. Наблюдается прогрессивное ослабление затухания по мере приближения к закату, где коэффициент отражения приближается к 0,5.

3. Почти стационарное значение коэффициента затухания правой составной части для частот, превышающих 4—6 мегациклов.

4. Отсутствие левых составных частей на частотах выше 5 мегациклов вследствие недостатка электронов или чрезмерного затухания правого луча.

На основании этих измерений мы можем получить измерение коэффициента дневного отражения этих волн. Таким образом при известных характеристиках передаточной антенны и передаточного тока переданная волна, если она распространяется равномерно и отражается на высоте 250 км без потерь, должна дать интенсивность поля около $350 \mu V/m$. Следует заметить, что измеренные поля дают приблизительно половину этого значения после заката Солнца, когда коэффициент отражения должен быть приблизительно $\frac{1}{2}$. Для полдня зимнего приема на 60 м получается коэффициент отражения $\frac{1}{100}$. Потеря энергии при отражении если не вполне, то в большей части определяется столкновениями электронов или положительных ионов, движимых волною с нейтральными частицами в атмосфере (не считая частичного отражения и проникновения, которые происходят в очень

узкой полосе частот). Из этого явствует, что по этой причине имеется довольно значительная потеря энергии в слое F и что эта потеря больше для левой компоненты.

Ход рассуждения таков:

И левые и правые лучи проходят через E -слой снова к Земле. И те и другие лучи должны пройти через весь слой E дважды. Для каждого элемента пути в слое E специфическое затухание правого луча (предполагая преобладание электронов) примерно в три раза больше (для λ 60 м), чем затухание левого луча. Так как оба луча следуют по одному пути, общее затухание лучей в слое E должно происходить в пропорции 3 к 1 в пользу левого компонента. Тот факт, что, тем не менее затухание левого компонента равно затуханию правого указывает на то, что отражение левого компонента в слое F гораздо слабее, чем отражение правого компонента.

Такое уменьшение отражения для левого компонента может быть приписано недостатку электронов, но частичное проникновение, связанное с недостатком электронов, происходит в очень узкой полосе частот, а это явление слабого отражения левого компонента распространяется на обширную полосу частот.

В этих условиях коэффициент полного затухания левого луча в слое F , по крайней мере, равен $2/3$ полного измеренного затухания, т. е. приблизительно 36 или 40 децибеллам в полдень. Следовательно, затухание левого луча слоя F равно по крайней мере 24—27 децибеллам, т. е. коэффициент отражения левого луча в слое F равен от $1/10$ до $1/22$ (для вертикальной передачи) в полдень.

Кроме того, если бы потеря отражения в слое F обуславливалась частичным проникновением, мы бы могли ожидать возрастания затухания в F -слое при закате Солнца, когда плотность меньше и имеется большая возможность проникновения частот для левого луча, но на деле факт этот встречает противоречие.

Обойти заключение, что левый луч сильно затухает в слое, можно, предположив, например, что электрические носители действуют так, что они изменяют показатель преломления нижнего слоя E ; это могут быть положительные ионы, однократно ионизированные кислородные молекулы.

В таком случае мы имели бы не подлежащее оценке дифференциальное поглощение между левыми и правыми компонентами в E -слое (поскольку критическая частота вращения чрезвычайно мала), и все затухание на 60 м, где правые и левые компоненты почти равны, может быть приписано поглощающему слою E . Если это было так, правое и левое затухание должны были бы быть равны при всех длинах волн от 45 до 90 м, а наблюдение показывает совершенно иное: левый компонент преобладает на волнах длиннее 60 м (частот 5 мегациклов), а правый компонент преобладает на меньшей длине волн. И, таким образом, мы опять-таки должны были бы приписать разницу в преломлении правого и левого компонентов дифференциальному поглощению в F -слое.

Тот факт, что левый компонент может быть поглощен в слое F , нуждается в объяснении. Несмотря на то, что специфическое затухание правого луча больше затухания левого луча, более глубокое проникновение и более длинный путь прохождения могут легко компенсировать этот эффект. Обычно затухание, хотя и не вполне пропорциональное групповому времени прохождения импульса, изменяется до известной степени пропорционально, а несомненный факт существования более продолжительного группового времени левого луча определенно подтверждает предположение или возможность большого поглощения этого луча. Эти результаты затухания трудно объяснить без какого-либо предвзятого представления о плотности воздуха выше 100 км.

Если предположить, что процесс диссоциации для O_2 почти полный на высоте 120 км, так что кислородный атом является на этой высоте преобладающим, и что высота однородной атмосферы для этого случая 23 км, то возможно вычислить частоту столкновения выше этой точки. Такое распределение согласовалось бы тогда со взглядом Чепмена на плотность на высоте 200 км⁴.

При любом приемлемом распределении ионной плотности затухание в этой области практически свелось бы к нулю. Имея в виду затухание, потребовалась бы в этих областях частота столкновений в 50 и 100 раз большая той, которая произошла бы, если бы диссоциация на высоте 100 км была полной и N над этой областью была бы 20. Частота столкновений колебалась бы от $3,5 \cdot 10^9$ на высоте 100 км до приблизительно $2 \cdot 10^8$ на 200 км. Гораздо более веские доказательства качественного типа дают результаты передач на большие расстояния, подтверждающие существование заметного затухания в слое F. Этот вопрос уже обсуждался в другом месте⁵.

ПЛОТНОСТИ СЛОЯ

Вопрос о максимальных плотностях слоя и их определении наблюдением критического проникновения был подробно рассмотрен другими ораторами. Результаты индивидуальных измерений весьма различны. Необходимо большое количество статистического материала, чтобы показать обычное течение изменения суточного и изменения по временам года.

Я пытался получить в короткий срок большое количество материала способом, который, будучи, может быть, недостаточно точным, дает быстро большое количество результатов, которые могут быть риализированы статистически. Метод этот основан на наблюдениях местных посылающих станций и определении по методу углов, исчезают ли сигналы данной станции или нет.

Явление исчезновения (skip) хорошо известно. При данном расстоянии между передатчиком и приемником и допущении некоторой высоты слоя возможно вычисление плотности электронов, которая как раз достаточна, чтобы повернуть луч к Земле на приемник. Если в момент наблюдения станция находится на расстоянии скипа, т. е. получает мало энергии, отраженной от слоя, плотность должна быть меньше, чем это критическое количество; за скипом плотность больше этого количества.

Результаты этих наблюдений показали, что плотность ионизации в течение суток не остается постоянной. В 80% случаев плотность оказалась больше, чем то требуется для исчезновения сигнала, в 20% — меньше. Способ этот хотя основан на предположениях, которые могут вызвать сомнения, но можно с удовлетворением отметить, что результаты контролируются более прямым методом определения предельных частот для нормально направленного импульса. Этим методом были получены результаты для зимы, весны, равноденствия и лета 1932 г.; они относятся к суточному изменению плотности, а также и к изменению по временам года. Отношение наблюдаемых максимумов плотности летнего полдня к максимуму плотности зимнего полдня равно 1,9 : 1.

Далее, было вычислено максимальное значение плотности, ионизации при допущении, сделанном Чепменом, что ионизацию производит монохроматическая ионизирующая радиация, приходящая непосредственно от Солнца, и что существует постоянное количество рекомбинаций.

Если предположить, что главным фактором является рекомбинация, то средний коэффициент рекомбинаций может быть определен

по исчезновению правых и левых лучей в опытах и наблюдениях сделанных в январе и феврале этого года

Полученные значения немногим отличаются от приведенных раньше значений

Без сомнения плотность не всегда падает равномерно ночью, но я склоняюсь признать правильным падение ночью после того как прекратится ультрафиолетовая радиация, наряду с внезапными возрастаниями, вызванными солнечной эмиссией заряженных корпускул Средний коэффициент рекомбинаций, определенный выше и равный $1,3 - 1,5 \cdot 10^{-10}$, вероятно, несколько ниже, чем следует

Теоретические плотности согласно теории Чепмена были вычислены по цифровому методу Миллингтона (Millington) Полученные нами данные подтверждены многими наблюдениями и измерениями коротковолновой передачи на большие расстояния

Эти результаты имеют некоторое отношение к вопросу о том, каким путем происходит уменьшение электронной плотности в течение ночи, когда устранен ионизирующий агент

Существуют два предположения первое, что число электронов уменьшается благодаря их комбинации с положительными ионами, второе, что оно уменьшается благодаря соединению электронов с нейтральными ионами. Чепмен показал, что отношение летнего максимума ионной плотности к зимнему максимуму, согласно первой теории, должно быть 1,84 для 50° широты и согласно последней теории — $(1,84)^2 = 3,4$ Наблюдения согласуются с первой теорией Дальнейшее согласие диаграмм плотности ионов с интерпретацией результатов коротковолновой передачи на большие расстояния подтверждает то предположение, что рекомбинация является главным фактором, определяющим уменьшение электронной плотности ночью

Ватсон Ватт Постараюсь быть как можно более кратким, так как опасаясь, что за недостатком времени в дискуссии смогут принять участие только лица, которых я назвал бы профессиональными ионосферистами, что было бы крайне нежелательным Эпплтон остановился, главным образом, на тонкой структуре ионосферы по вертикальному разрезу, я бы хотел сказать несколько слов о структуре по горизонтальному разрезу. Эпплтон остановился на слоистом строении и бы хотел остановиться на «пятнистой» структуре

Имея в виду исследования действия гроз на ионосферу, мои коллеги и я произвели в Слефе сравнение данных, относящихся к ионосферическим условиям, с подробными наблюдениями гроз Эпплтон и Нэйсмит уже сообщили результаты произведенных в Слефе исследований, но мне представляется интересным указать на один или два примера изучения местных гроз в связи с мгновенным состоянием ионосферы

Первое очень определенное наблюдение было сделано Луткиным в октябре 1932 г., вот в чем оно состояло Наблюдения велись во время грозы со слышимым в месте наблюдения громом, после того как была достигнута предельная частота, при которой не наблюдалось отражения даже от верхней области, на еще более высокой частоте вновь появлялось отражение от низшей области Это значит, что имелось временно состояние, в котором плотность ионизации в низшей E области возросла до приблизительно $8 \cdot 10^6$ электронов (на куб. сантиметр), тогда как плотность в области F составляла от 3 до $4 \cdot 10^6$ электронов (на куб. сантиметр) Статистическая работа, о которой сообщили Эпплтон и Нэйсмит, появилась очень скоро после этого наблюдения; второй пример относительно непродолжительного изменения плотности ионизации имел место в апреле этого года

Непрерывная запись отражений в течение второй половины дня при частоте 6 мегациклов в секунду обнаружила несколько периодов

продолжительностью только от 3—5 сек., во время которых волны этой частоты отражались от *E*-области. Критическая частота в полдень равнялась 3,1 мегациклам в секунду; если принять, что эта частота определяет нормальную ионизацию для данного дня, то эти кратковременные отражения свидетельствуют о мгновенных возрастаниях ионизации по крайней мере в три раза. Эти возрастания были настолько кратковременны, что за отсутствием необходимого времени невозможно было работать с приготовленной для этой цели ручной камерой.

Это явление наблюдается довольно часто летом. Чтобы иллюстрировать другие числовые измерения скорости возрастания ионизации в этих аномальных, вероятно, грозовых условиях, можно привести примеры: 1) возрастание в отношении трех к одному, имевшее место в течение одного часа в майском наблюдении; 2) возрастание в отношении два к одному в течение получаса, когда грозы определенно наблюдались на расстоянии 25 км; 3) серию наблюдений результатов работы текущего июня месяца. В этой серии было установлено путем регистрации атмосферных помех и отражения радиосигналов, что непосредственно перед возникновением грозы на расстоянии 50 км от регистрирующей станции наблюдалось аномальное возрастание плотности ионизации, достигавшей значений $8,5 \cdot 10^5$ и $12 \cdot 10^5$ электронов (на куб. сантиметр измерения при двух различных частотах).

Самый способ удаления этих аномальных плотностей от зенита приемной станции должен быть внимательно рассмотрен. Вильсону принадлежит весьма ценное замечание, что вторичные свободные электроны удерживаются в одной однородной группе; основываясь на этом, мы можем предположить, что это могут быть ионные облака, возникающие подобным образом, а одновременные наблюдения станций, находящихся не очень далеко друг от друга, могут установить ход рассеяния или изменения этих аномальных концентраций.

В этом взгляде на действие грозы на ионосферу заключается указание необходимости гораздо более точного исследования соотношений между магнитной бурей и деятельностью грозы. Поэтому следует ожидать аномальной проводимости в этих аномальных разрывах, производимых еще неустановленными земными источниками, отражающимися в магнитных наблюдениях.

Мне представляется рискованным большое количество имеющихся в нашем распоряжении объяснений содержания ионов в ионосфере. Повидимому, один ультрафиолетовый свет является уже достаточным источником для всех электронов ионосферы, а в тропических и других грозах мы имеем в равной степени достаточное объяснение всего содержания электронов.

Позвольте мне упомянуть, основываясь на вступительной части доклада Эпплтона, об одном незаконченном, только что произведенном исследовании 27-дневного периода повторяемости гроз. Нами был применен метод Бартельса изображения на чертеже вертикально один под другим 27-дневных периодов повторяемости различных явлений. Мы построили число атмосфериков, принятых в Слефе, в особых определенных условиях и интенсивности этих атмосфериков. Данные, как я уже говорил, не окончательные, так как ни интегральная интенсивность, ни даже число атмосфериков за данный период не являются единственным указанием влияния грозы в сфере данного радиуса. Это влияние позволяет связать изменения интенсивности принятых атмосфериков с изменением коэффициента эффективного отражения, которое в свою очередь происходит от того самого изменения содержания ионов, которое мы обсуждаем. Но этот вероятный вторичный эффект возможного 27-дневного периода в ионном содержании не должен по моему мнению умалать изложенных дан-

ных, основанных на записях сравнительно мало чувствительного прибора, т. е. такого прибора, который, по всей вероятности, не учитывает более отдаленных источников, подвергающих сильному изменению коэффициент отражения, но тем не менее, изложенный материал дает достаточное основание для дальнейшего изучения 27-дневной тенденции к повторяемости грозовой активности.

Дальнейшее изучение потребовало бы более подробного исследования распределения проз, такое исследование, как мне кажется, может быть лучше осуществимо каким-либо другим методом, чем методом, зависящим от радиотелеграфной локализации источников атмосфериков. Но этот метод должен сначала получить развитие по отношению к интерпретации наблюдаемых интенсивностей атмосфериков.

Возвращаясь к вопросам тонкой структуры по вертикали, обсужденным Эпплтоном, мне бы хотелось сказать, что, по моему убеждению, в области *E* существует не один только резко определенный максимум плотности. Во многих случаях кратковременного возрастания плотности мы видим, что возрастания имеют место (очень часто по очереди) на двух или трех хорошо определенных эквивалентных уровнях, из которых каждый отличается от соседнего на 10—15 км. Так 20 июня 1932 г. между 8 и 10 час. ср. гринвичского времени эквивалентная высота отражения для импульсов с частотой 4 мегацикла в секунду была 110 км. Но при быстрых изменениях плотности ионизации, о которой я говорил выше, наблюдалось а) 10 первичных отражений (без вторичных) от высоты в 97 км, б) 4 первичных, сопровождаемых 7 вторичными, от высоты 112 км, в) 7 первичных отражений, сопровождаемых одним вторичным, от высоты 122 км. Вторичные отражения дают значения высот 117 и 127 км. Максимальное отклонение от этих средних чисел было 3 км, что представляет собою порядок точности измерений. Хотя можно было бы найти частичное объяснение в условиях магнитно-ионного распределения, но условия не благоприятствуют такому объяснению, которое потребовало бы смены полного поглощения одной составной части полным поглощением другой, и *vice versa*, на повторяющихся пятиминутных промежутках. Для проверки этого маловероятного объяснения пока еще не было сделано соответствующей установки, хотя изготовление такового не встретило бы препятствий. К моему удовлетворению я полагаю, что эти данные указывают на добавочную тонкую структуру по вертикальному разрезу.

Ретклифф. В течение последних двенадцати месяцев в Кембридже при помощи прибора, сконструированного Вайтом, были получены автоматические записи радиосигналов, отраженных от ионосферы. В этих записях эффективная высота нанесена на чертеже в зависимости от времени дня, причем длина волн остается постоянной, кроме того, подготовлена регистрация поляризации нисходящих волн. Предварительный просмотр этих записей обнаружил несколько интересных для данного обсуждения вопросов.

Наиболее выдающейся чертой, предельно отмеченной несколькими работниками, является ночное возрастание ионизации в области *E*. Оно обычно происходит без соответствующего возрастания ионизации в области *F* и было отмечено даже в тех случаях, когда в слое *F* ионизация аномально слаба. Имеется непосредственное соотношение между случаем возрастания ионизации в слое *E* и нарушением магнитных условий. Аномальное магнитное поведение случайно ассоциируется также с необычно низкой ионизацией в области *F*. Наличие интенсивной ионизации в области *E* в течение необычно длительного времени после заката связано с явлением грозы.

Записи изобилуют указаниями на существование промежуточной области. В зимние месяцы эта область часто более интенсивно иони-

зируется днем, чем область F . Таким образом в ноябре и марте отражения появляются ($h' = 150$ м) за час или два до восхода Солнца, до того как возникает отражение от области E и после солнечного заката между исчезновением отражения от области E и появлением отражения от слоя F . В декабре, январе и феврале вполне обычно для промежуточной области ионизации оставаться более интенсивной, чем область E в течение всего дня, так что ($h' = 150$ м) весь день наблюдается отражение из промежуточной области, со случайными единичными отражениями от области E . Эффективные высоты, записанные для области E , необыкновенно постоянны, они не отклоняются от среднего значения (для длины волны в 150 м высота равна 105 км) больше чем на 5%, что лишь незначительно превосходит предел точности измерения. Эффективные высоты приема для промежуточной области более разнообразны; они колеблются в пределах от 120 до 180 км в различные часы дня ($h' = 150$ м).

Эффективная высота области E в ночное время равна высоте области E , измеренной днем (105 км).

В результате отражение от уровня E (105 км) зимой является вполне общим явлением для ночи, днем же отражение происходит от более высокой промежуточной области (приблизительно 140 км).

Зарегистрирован один случай, когда в декабре 1932 г. вместо ожидаемого днем отражения от промежуточной области в течение всего дня имело место отражение от области F , что указывало на ослабление ионизации в промежуточной области. Ослабление F -ионизации наблюдалось также и в предшествующую ночь; отсюда можно с известной вероятностью предположить, что один и тот же источник ионизации образует как F область, так и промежуточную область. При описанном случае, ночное E -эхо проявлялось весьма интенсивно, что заставляет предположить об ионном происхождении ионизации области E .

Ночные и дневные области E , наблюдаемые на высоте 105 км в течение зимних месяцев, имеют, очевидно, общие причины, тогда как значительно большее дневное поглощение эхо может быть приписано распространению ионизации промежуточной области на меньшие высоты, т. е. ниже 105 км. Поляризационные измерения указывают что в областях: F , промежуточной и E проявляются свободные электроны, как и в области поглощения, во всяком случае до предела, где частота столкновений электронов с молекулами равна приблизительно $5 \cdot 10^6$ в сек.

Суточное колебание плотности ионизации области F представляется более сложным. Рукоп и Пауль обнаружили «вечернюю концентрацию» ионизации приблизительно между 20 и 23 часами в августе 1932 г.; мы проверили эти данные и нашли, что в мае 1933 г. она наблюдалась между 19 и 22 часами. Есть основание предположить, что существует возрастание ионизации около полуночи, которое при критической длине волны часто обуславливает возникновение эхо в течение ночных часов. Произведенные нами приемы не подтвердили гипотезы Элиаса о том, что это возвращающееся эхо определяется наличием еще более высокого слоя («слой II» в его терминологии).

Имеются указания на ослабление ионизации области E сравнительно с прошлым годом, чего нельзя сказать про область F . Этот факт лишний раз подтверждает приведенное выше предположение о разнородности причин ионизации области F и области E .

Лит. д. м. а. н. В течение всего обсуждения мы имели дело с эквивалентными высотами, определяемыми как высоты, вычисленные на базе того предположения, что импульс распространяется со скоростью света. Для установления корреляции между нашими сведениями об ионосфере с нашими геофизическими познаниями, необ-

ходимо определить действительные высоты, на которых имеет место отражение радиоволн, так как все наши наблюдения и вычисления касательно температуры, плотности строения и т. п. верхних слоев атмосферы относятся к действительным высотам. В связи с этим важно отметить отсутствие каких-либо данных о связи эквивалентных высот с действительными.

Хорошо известно, что явление так называемого радиоэхо сигналов наблюдалось через десятки секунд, а иногда и минут после отправки этих сигналов. До настоящего времени дано всего лишь два объяснения этого факта. Согласно первому волны отражаются облаком заряженных частиц, исходящих от Солнца и собранных в облако соответствующей формы магнитным полем Земли. Это объяснение вряд ли выдерживает критику. Прежде всего оно заставляет предположить скопление от 10^5 до 10^6 частиц в одном куб. сантиметре объема. Обладая они все одноименным зарядом, их взаимное отталкивание было бы достаточно сильным, чтобы воспрепятствовать образованию облака. Если же они распределялись бы на равные количества противоположного заряда, то вычисление, исходящее из предположения о существовании упомянутого облака, перестает быть верным. Независимо от этого возражения, теория облака разрушается следующими соображениями. Если бы радиосигналы должны были действительно проходить расстояния, измеряемые миллионами километров соответственно времени возвращения эхо, то они бы ослаблялись до неслышимости. Этот довод обычно отводится предположением о том, что облако частиц принимает форму, пригодную для фокусирования радиоволн обратно на Землю, благодаря чему закон квадрата расстояния теряет силу. В ответ на это укажем, что такое обратное фокусирующее действие может иметь место только в том случае, если кривая поверхности облака частиц построена с точностью, соответствующей длине волн данных сигналов. Вряд ли можно утверждать, что эти частицы, прилетающие от Солнца с самыми различными скоростями, размещаются по кривой поверхности с радиусом, измеряемым миллионами километров, и построенной с точностью до нескольких метров. С другой стороны, вспомним, что время возвращения эхо колеблется в течение нескольких минут в пределах многих секунд. Тогда защитник теории облака должен был бы отстаивать то мнение, что поверхность облака перемещается в течение нескольких минут на много миллионов километров, сохраняя, конечно, все время свою резко, с точностью до нескольких метров, выраженную поверхность. Это возражение столь существенно, что объяснение явления эхо посредством электронного облака должно быть решительно отвергнуто.

Таким образом, если не верить в деятельность неких обитателей Луны, посылающих нам собственные сигналы, приходится обратиться ко второму объяснению: согласно ему скорость сигналов иногда ненормально искажается в ионосфере благодаря особому распределению плотности ионов, вызывающей аномалии в дисперсии, достаточные для уменьшения скорости распространения волн на время, исчисляемое секундами. Эта теория имеет свои недостатки, но другого объяснения до настоящего времени не создано. Как бы то ни было, во всяком случае несомненно, что опоздания могут происходить и действительно происходят. Было бы разумно остерегаться того предположения, что аналогичные, но бесконечно меньшие (порядка тысячных секунд) аномалии в дисперсии являются причиной замедлений, наблюдаемых при обычных измерениях высоты различных ионизированных слоев. Если бы это было так, то вполне вероятно, что на самом деле оба главных слоя не удалены друг от друга на расстояние около 100 км, как это принято предполагать на основании какого-то молчаливого соглашения а тесно соприкасаются и представляют собой только более или менее резкие колебания градиента ионной плот-

ности Вопросы этого порядка должны быть тщательно изучены и выяснены, прежде чем затрачивать время и усилия на установление связи между существованием этих слоев и какими-либо другими физическими явлениями.

Конечно, совершенно правильно, что высота этих слоев всегда определяется как эквивалентная высота и что никто никогда не считал ее действительной высотой. Однако в условиях дискуссионного обмена мнений, подобного настоящему, этот факт легко может быть смазан, и возникает тенденция отождествления эквивалентных высот с высотами действительными. Весьма вероятно, что если постоянно иметь в виду возможность такой ошибки, некоторые затруднения и кажущееся противоречие, встречающееся при попытках объяснения этих явлений, были бы облегчены, а может быть, и совершенно устранены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Se p t e r, Met. Ztshr. **43**, 229, 1926.
 2. H e n d e r s o n, Canad. J. Res. **8**, 1, 1933.
 3. P l e n d l, Z. N. T. **10**, 75—94, 1933.
 4. C h a p m a n, Proc. Roy. Soc. A **132**, 353, 1931.
 5. J. Inst. Elect. Eng. London **71**, 405, 1932.
-