

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНОСФЕРЫ МЕТОДОМ РАДИОЛОКАЦИИ ЛУНЫ

До сих пор свойства ионосферы изучались главным образом по отражению от неё радиоволн различной частоты (см., например^{1,7}). Однако методу отражения радиоволн свойствен ряд ограничений. Так, например, он не даёт возможности изучать области ионосферы, расположенные выше уровня максимальной ионизации. Естественным его дополнением должен явиться метод «просвечивания» ионосферы. Принципиально для этого могут служить и радиоволны, приходящие к нам из межпланетного пространства. Таково, например, радиоизлучение Солнца и Галактики. Однако радиоизлучение Солнца сильно зависит от солнечной деятельности, притом когда оно значительно (в периоды активизации солнечной деятельности), оно особенно непостоянно, а в иное время — довольно слабо. Принципиально возможно использовать и радиоизлучение отдельных космических объектов, но на этом пути возникают большие трудности вследствие незначительной интенсивности такого излучения. Для целей исследования ионосферы больше подходит «просвечивание» её радиоимпульсами путём радиолокации Луны. Уже в первых опытах по радиолокации Луны наблюдался ряд аномалий в амплитуде и направлении принятого сигнала^{2,3,4}. Одной из возможных причин этих аномалий могли быть либрации Луны — колебания Луны по отношению к линии, соединяющей её с Землёй. Другая причина — особенности распространения радиоволн в верхних слоях ионосферы. В связи с этим была предпринята работа по систематическому изучению ионосферы методом радиолокации Луны^{5,6}. В качестве передатчика использовалась радиовещательная станция в Шеппартоне (Австралия, штат Виктория) мощностью на волне 13,9 м — 70 квт и на волне 16,8 м — 50 квт.

Антенной в передачах служила стационарная антенна радиостанции. Угловые координаты максимума излучения антенны: азимут—63°, высота над горизонтом —9°.

Приёмник был расположен в 630 км от передатчика, а в последних опытах — также в 180 км. Полоса пропускания контуров промежуточной частоты приёмника — 70 гц, но при работе короткими импульсами в 1 мсек она расширялась до 1000 гц. С приёмника сигналы подавались на катодный осциллограф, имевший экран с послесвечением. На рис. 1 и 2 приведены образцы полученных развёрток. Опыты проводились в дни, когда время прохождения Луны через направление излучения антенной радиоволн совпадало с перерывом в передачах радиовещательной программы станции. На протяжении года (ноябрь 1947 г. — ноябрь 1948 г.) таких дней было всего 30. Из этого числа передач на Луну отражённые им-

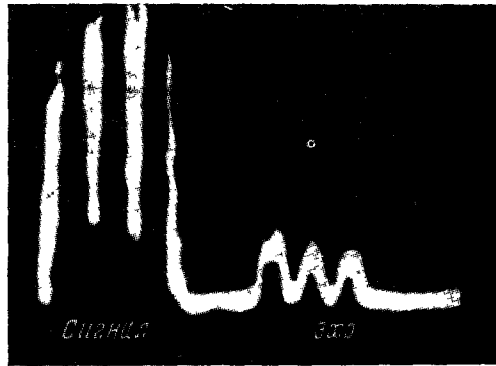


Рис. 1. Осциллограмма прямого и отражённого сигнала.

пульсы были получены лишь в 24 случаях, в остальные 6 дней, несмотря на нормальную работу передатчика и приёмника, отражённых импульсов принято не было. Аналогичная картина—неполное отсутствие в некоторых случаях отражённых сигналов—наблюдалась и в³.

Авторы изучали: 1) временные вариации интенсивности отражённого сигнала, 2) направление радиолуча, 3) его интенсивность.

1. Наблюдались три типа временных вариаций:

а) Быстрые вариации отражённого сигнала за время порядка секунды. Для исследования этих вариаций применялись одиночные импульсы длительностью 2,2 сек. Сравнение с теорией показывает, что вариации этого типа могут быть объяснены либрациями Луны. Сопоставляя скорость и амплитуду этих вариаций с либрациями Луны, авторы делают также заключение о характере отражения радиоволн лунной поверхностью. Оказывается, что поверхность Луны отражает радиоволны не по закону зер-

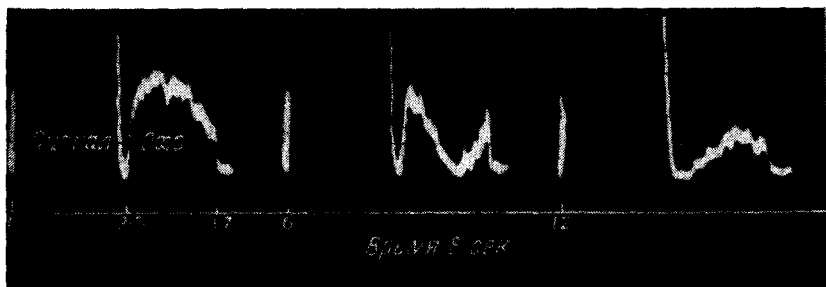


Рис. 2. Три последовательных эхо, полученных от импульсов в 2,2 сек.

кального отражения, а диффузно. Тем самым подтвердилась правильность мысли Н. Д. Папалекси⁸, высказанной им в 1946 г., что для радиоволн «поверхность Луны несомненно правильнее рассматривать как шероховатую (в оптическом смысле)». Как было установлено и рассчитано Н. Д. Папалекси и Л. И. Мандельштамом, форма отражённого импульса зависит от закона отражения радиоволн лунной поверхностью (закон Ламберта или закон Ломмеля-Зеелигера). Авторы реферируемой работы приводят теоретические графики для формы отражённого импульса в том и другом случае, не упоминая, однако, работы Папалекси. Чтобы установить, какой из этих двух законов диффузного отражения имеет место, нужно послать на Луну импульсы короче 0,116 сек. (время пробега радиоволн «вдоль Луны», и обратно).

Авторы пытались разрешить эту задачу с помощью кратковременных импульсов в 1 мсек. Однако работа такими импульсами потребовала расширения полосы пропускания приёмника. Вследствие значительных ионосферных и «космических» шумов отношение сигнала к шуму приёмника при этом настолько понижалось, что никаких достоверных данных о форме отражённых импульсов в этом случае получить не удалось. Было лишь установлено, что длительность отражённого импульса превосходит длительность импульса передатчика. Самый факт расплывания импульса указывает на диффузный характер отражения, но не позволяет ещё однозначно решить вопрос о его законе.

б) Наблюдались также более медленные колебания интенсивности отражённого сигнала с периодом порядка нескольких минут. Можно предположить, пока только качественно, что они вызываются изменением условий в ионосфере (ветры в ионосфере).

в) Третий тип вариаций отражённого сигнала — изменения его интенсивности от одного дня к другому. Вариации этого последнего типа весьма значительны. Объяснения им пока не дано.

2. Направление радиолуча. Поскольку показатель преломления в ионосфере переменный (он определяется переменной концентрацией электронов), постольку путь радиолуча искривляется (рис. 3). Поэтому угол δ радиолуча с горизонтом должен быть больше угла α — высоты Луны. Анализ экспериментальных кривых это подтверждает.

Задавшись некоторым законом изменения ионизации с высотой (в слое F такой закон принимается параболическим), можно вычислить ту минимальную высоту Луны над горизонтом, при которой впервые начинают появляться отражённые сигналы. Однако теория расходится с опытом; угол, при котором Луна впервые обнаруживается с помощью радиоэхо, больше теоретического — разница достигает 10° . Для того чтобы выяснить, не связаны ли эта и другие аномалии с особенностями поведения слоя F , одновременно с посылкой импульсов на Луну соседние станции определяли методом отражения импульсов высоту и критическую частоту слоя F . Оказалось, что величина расхождения между теоретическим углом восхода Луны для радиоволн и данными опыта существенно зависит от отношения f/f_{0F_2} частоты волны к критической частоте слоя F в данное время.

3. Интенсивность радиоэхо. Помимо абсорбции радиоволн в ионосфере существует и другая весьма существенная причина ослабления радиолуча. При проникновении в ионосферу фронт плоской волны искривляется¹⁾, плотность потока энергии уменьшается и интенсивность сигнала падает. Приняв параболический закон изменения N с высотой и вводя соответствующую поправку на кривизну Земли, авторы рассчитывают ожидаемое ослабление сигнала.

Подчеркнём, что этот расчёт, как и расчёт угла δ , ведётся в приближении геометрической оптики.

Однако опыт не подтверждает теорию. Измеренные на опыте амплитуды сигнала во много раз меньше теоретических. Притом величина расхождения с теорией весьма непостоянна и сильно меняется как в пределах одного эксперимента, так и от опыта к опыту. Амплитуда сигнала оказалась, далее, зависящей от отношения f/f_{0F_2} . Это обстоятельство указывает, что ослабление сигнала происходит скорее всего в слое F . Обнаруженные расхождения теории с экспериментом могут иметь два объяснения: первое — что слой F неоднороден не только в вертикальном, но и в горизонтальном направлении, второе — что при больших углах паде-

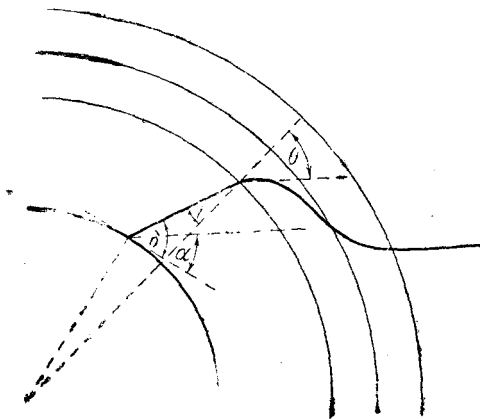


Рис. 3. Траектория радиолуча в ионосфере.

ния, с которыми работали авторы, приближение геометрической оптики, на основе которого велись все расчёты, несправедливо.

Авторы делают два основных вывода: 1) их опыты расходятся с результатами обычной теории распространения радиоволн в ионосфере, применяющей приближение геометрической оптики и рассматривающей ионосферу как систему ионизованных слоёв, однородных в горизонтальном направлении; 2) для волны 16,8 м, а стало быть, и для более коротких волн, поверхность Луны при расчёте отражения нужно считать в оптическом смысле «шероховатой».

М. Гинзбург

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. В. Л. Гинзбург, Теория распространения радиоволн в ионосфере, Гостехиздат, 1949.
2. J. H. De Witt, Jr. and E. K. Stodola, PIRE 37, 229 (1949).
3. Z. Bay, Hungarica Acta Physica 1, 1 (1946).
4. В. С. Бавилов, УФН 39, 359 (1949).
5. F. J. Kerr, C. A. Shain and C. S. Higgins, Nature 163, 310 (1949).
6. F. J. Kerr and C. A. Shain, PIRE 39, 239 (1951).
7. Я. Л. Альперт, Распространение радиоволн в ионосфере, Гостехиздат, 1947.
8. Н. Д. Папалекси, УФН 29, 250 (1946); Электричество 51 (1946).
9. Bremner, Terrestrial Radio Waves, Amsterdam, 1949, стр. 271.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ АМПЛИТУДНЫЙ АНАЛИЗАТОР

В ряде задач экспериментальной и прикладной физики возникает необходимость автоматически анализировать импульсы токов, даваемые ионизационными камерами и пропорциональными счётчиками, по величине их амплитуд.

В тех случаях, когда приходится подсчитывать число импульсов, амплитуды которых больше (или меньше) заданной, используются обычно простые анализаторы, построенные на электронных лампах или тиратронах, дающие на выходе импульсы тока одинаковой величины, вне зависимости от интенсивности импульсов, поступивших на их вход, лишь бы величина их оказывалась большей (или меньшей) заданного предела разрешения.

В тех же случаях, когда импульсы распределяются по величине своей энергии на несколько ступеней, применяются обычно дифференциальные амплитудные анализаторы, состоящие из нескольких параллельно работающих дифференциальных ячеек релейного (тригерного) типа. каждая из которых реагирует на импульсы, интенсивность которых лежит в заданных пределах.

Увеличение числа ступеней разрешения (при одновременном сужении ширины каждой из этих ступеней), необходимое для более детального изучения спектров энергий частиц, ведёт к непомерному возрастанию числа ячеек и тем самым к существенному усложнению схем, изготовление и наладка которых представляют существенные трудности. Так, уже при десяти ступенях отбора число электронных ламп достигает 150^{1,2}.

Необходимость создания простых и надёжно действующих амплитудных анализаторов высокой разрешающей способности заставила обратиться к изысканию иных принципов селекции.

Одним из наиболее многообещающих принципов амплитудной селекции импульсов оказался метод электронно-лучевой коммутации³, разра-