

А. Н. ШУКИН

НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ИОНОСФЕРЫ*

В статье дается обзор актуальных проблем, разрешение которых необходимо для выяснения влияния ионосферы на распространение радиоволн.

Исключительно важная роль, которую играют верхние слои земной атмосферы — ионосфера — в процессе распространения радиоволн, заставляет радиотехников особенно живо интересоваться этой областью. Несмотря на то, что радиотехники выработали в настоящее время методы измерений электрического состояния ионосферы, эти измерения еще недостаточны для того, чтобы служить орудием, позволяющим руководить эксплуатацией радиосвязи. Для того чтобы выполнять такую роль, радиотехнические данные должны быть приведены в связь друг с другом и с иными данными, касающимися ионосферы. Работа в этом направлении ведется уже давно. Однако сейчас мы еще не имеем ответов на ряд основных вопросов, касающихся строения и поведения ионосферы. Поэтому представляется полезным сформулировать эти нерешенные вопросы, привлечь к ним внимание не только радиотехников и геофизиков, но и всех тех, кто в какой-либо степени может помочь их решению и тем самым скорее поставить ионосферные наблюдения на службу эксплуатации.

Первым является вопрос о температуре верхних слоев земной атмосферы. В настоящее время достаточно твердо установлен тот факт, что компоненты, входящие в состав атмосферы, находятся в перемешанном состоянии вплоть до весьма больших высот. Вследствие этого состав атмосферы в смысле процентного содержания различных газов сохраняется примерно одинаковым от земной поверхности вплоть до высот свыше 100 км. Однако рассчитать давление и количество молекул в единице объема на высотах, интересующих радиотехнику, невозможно без знания распределения температуры в зависимости от высоты. Более или менее надежные данные в этом отношении имеются для высот до 60—70 км. Каково распределение температуры выше этой области, пока установить трудно. Но можно предполагать, что на этих или несколько больших высотах начинается инверсия температуры. Выска зываются предположения, что на высотах больших 100—130 км температура превосходит 300° К. Но достигает ли она 500, 700 или даже 1200°, как утверждают некоторые исследователи данного вопроса, сказать пока нельзя. Вместе с тем вопрос о распределении температур в ионосфере, их суточном и годовом ходе исключительно важен для понимания происходящих там процессов. Поэтому на решение его должно быть обращено серьезное внимание.

Следующим является вопрос о диссоциации газов, находящихся в верхних слоях атмосферы. Значительное количество данных говорит в пользу того, что газы, в частности кислород, находятся там в атомном состоянии. Однако

* Доложено на совещании по изучению ионосферы, созванном по постановлению Академии Наук СССР 24—26 апреля 1939 г. в Москве.

граница перехода газов из одного состояния в другое и ее суточные колебания пока не установлены. Имеются утверждения, что граница диссоциации кислорода лежит между 150 и 200 км. На ряду с этим ряд исследователей считает, что граница перехода кислорода из молекулярного состояния в атомное находится значительно ниже, между 60 и 80 км. Радиотехнические наблюдения могут быть истолкованы в предположении, что на высотах 100—130 км еще встречается значительное количество кислорода в молекулярном состоянии. Все эти противоречия и неясности должны быть устранены для того, чтобы стало возможным нарисовать картину состава и строения верхних слоев земной атмосферы.

В области анализа электрических свойств ионосферы одним из первых является вопрос об источниках ионизации. Ультрафиолетовая радиация солнца дает возможность более или менее удовлетворительно объяснить поведение слоя E и отчасти слоя F_1 . Что же касается наиболее важного с радиотехнической точки зрения слоя F_2 , то в нем наблюдается целый ряд явлений, которые не укладываются в рамки представлений о свойствах ультрафиолетовой радиации солнца, как об источнике ионизации этой области. Особенно ярко это иллюстрируется обнаруженным в последние годы годовым ходом ионизации слоя F_2 , согласно которому на всем земном шаре в период март—октябрь ионизация слоя F_2 гораздо меньше, чем в остальные месяцы. Все это говорит о том, что, помимо фотоионизации ультрафиолетовыми лучами, большее внимание должно быть обращено также на изучение других источников ионизации — потоков материальных частиц, космических лучей и пр.

Наиболее распространенным мнением о носителях электрических зарядов в ионосфере является представление о том, что электрические свойства ионосферы обусловлены наличием там свободных электронов, появляющихся в силу ионизации и исчезающих в результате процесса рекомбинации. Несмотря на большую простоту и наглядность, такое представление видимо неполно. Ряд данных говорит в пользу того, что на ряду с электронами в ионосфере, особенно в нижних ее слоях, должны находиться также отрицательные ионы. Количество их может быть гораздо больше, чем количество электронов. До последнего времени процессы образования и распада отрицательных ионов в условиях, подобных существующим в верхних слоях земной атмосферы, были изучены весьма мало. Получение теоретических и экспериментальных данных в этом направлении чрезвычайно важно для понимания процессов, происходящих в ионосфере.

В настоящее время твердо установлены главные области ионизации в верхних слоях земной атмосферы — так называемые слои E , F_1 и F_2 . Тем не менее далеко не во всех случаях можно дать удовлетворительное объяснение происхождения и поведения этих слоев.

Наиболее простым и хорошо изученным является слой E . Его высота порядка 120—130 км, суточный и годовой ход электронной концентрации — все эти данные твердо установлены и находят удовлетворительное теоретическое объяснение. Единственным крупным вопросом по слою E , остающимся пока неразрешенным, является вопрос о той компоненте земной атмосферы, ионизация которой обуславливает появление этого слоя.

Значительно большее количество неразрешенных вопросов имеется по слою F_2 . Характер суточного хода его высот и электронной концентрации в зимние и летние месяцы пока не укладываются в наши представления о солнечной ультрафиолетовой радиации, как о единственной причине появления этого слоя. Особенно большое осложнение в понимание процессов, происходящих в слое F_2 , вносит открытый в самое последнее время ход изменений ионизации в этом слое, наблюдающийся с годичной периодичностью одновременно на всем земном шаре.

Слой F_1 , отщепляющийся от слоя F_2 днем в летние месяцы, хотя и недостаточно изучен, но не представляет вследствие невысокой электронной плотности значительного практического интереса.

Кроме перечисленных трех основных областей ионизации ионосферы, следует особенно отметить также область, лежащую ниже слоя E и иногда называемую слоем D . Эта область, относительно которой нам пока известно очень мало, играет вместе с тем весьма важную роль в процессе распространения радиоволн, так как по видимому в ней происходит значительная доля их поглощения.

До последнего времени внимание большинства исследователей было сосредоточено на процессах отражения и преломления радиоволн в ионосфере. Практика радиосвязи требует расширить круг вопросов и перейти к изучению поглощения, что несомненно заставит подробно исследовать область, лежащую ниже слоя E .

Все эти проблемы относятся к нормальному, среднему режиму ионосферы. Однако, как известно, средний ход явлений в ионосфере довольно часто нарушается так называемыми ионосферными бурями, вызывающими резкое изменение структуры, главным образом, верхнего слоя ионосферы — слоя F_2 . Пока не могут быть точно названы даже причины, вызывающие ионосферные возмущения. Вместе с тем без выяснения этих причин по видимому невозможно полное понимание и среднего „нормального“ режима ионосферы. Кроме того, ионосферные бури оказывают серьезное влияние на практику радиосвязи, сильно затрудняя ее. Все это заставляет поставить изучение ионосферных возмущений как одну из центральных задач, которые должны быть разрешены по возможности быстро и полно.

К разработке перечисленных выше проблем должен быть привлечен возможно более широкий круг радиотехников, геофизиков, физиков, химиков, математиков и других специалистов. Только при этом условии можно разрешить эти исключительно интересные и важные вопросы и дать более или менее законченную картину строения ионосферы.

A. SHCHUKIN. THE UNSOLVED PROBLEMS OF THE PHYSICS OF IONOSPHERE.

SUMMARY

The author renews the problems the solution of which is necessary for the determination of the influence of the ionosphere on the propagation of radio waves. These problems include first of all the influence of temperature, then the question concerning the dissociation of gases in the upper strata of the atmosphere, and third the sources of ionization (photoionization by the ultraviolet light, the streams of material particles, cosmic rays etc.).

Presently the chief regions of ionization, so called E , F_1 , F_2 layers are firmly established. However, in many cases we cannot give any satisfactory explanation of the origin and behaviour of these strata. We must also mention the region lying below the layer E and called sometimes the layer D ; the considerable part of a radiowaves is apparently absorbed in this region. Till now the attention of the majority of investigators was concentrated on the processes of reflection and refraction of radio-waves in the ionosphere, while the practice of broadcasting claims also for a thorough study of their absorption.

It is necessary at last to begin the study of causes of the ionosphere disturbances, which produce often a very serious trouble in radiocommunication.