

мн. особенности области  $F$ , в т. ч. осн. аномалию — образование максимума  $F$  значительно выше максимума ионообразования, расположенного в области 150 км. Описанные выше вариации высоты слоя  $F$  она связывает с изменением в течение дня интенсивности ионизации и темп-ры атмосферы. Существование слоя  $F$  ночью объясняется притоком ионов сверху, из протосферы, где они накапливаются в течение светлой части дня. Из-за различия механизма образования высота слоя ночью выше, чем днём.

Мн. особенности в изменении верх. части И., расположенной над максимумом области  $F$ , повторяют суточный ход и глобальное распределение  $n_e$  в максимуме слоя. Это говорит о тесной связи этих областей И. Выше максимума области  $F$  уменьшение концентрации ионов с высотой происходит по барометрич. ф-ле. При этом с увеличением высоты возрастает доля более лёгких ионов. Поэтому преобладание ионов  $O^+$  в области  $F$  сменяется днём выше 1000 км преобладанием ионов  $H^+$  (и р о т о н о с ф е р а). Ночью в связи с понижением темп-ры протосфера опускается до высот  $\sim 600$  км. В верх. части И. по направлению к высоким широтам обнаружен рост доли тяжёлых ионов на данной высоте, что аналогичным образом связывается с наблюдаемым ростом темп-ры. Однако поведение И. в полярных областях пока полностью не объяснено.

Движения потоков заряж. частиц в И. приводят к возникновению турбулентных неоднородностей электронной концентрации. Причины их возникновения — флуктуация ионизирующего излучения и непрерывное вторжение в атмосферу метеоров, образующих ионизированные следы. Движение ионизованных масс и турбулентность И. влияют на распространение радиоволн, вызывая *замирание*.

Изучение И. продолжает развиваться в двух направлениях — с точки зрения её влияния на распространение радиоволн и исследования физ.-хим. процессов, происходящих в ней, чем занимается *аэрномия*. Современная теория позволила объяснить и распределение ионов с высотой, и эффективный коэф. рекомбинации. Ставится задача построения единой глобальной динамич. модели И. Осуществление такой задачи требует сочетания теоретич. и лаб. исследований с методами непосредств. измерений на ракетах и спутниках и систематич. наблюдений И. на сети наземных станций.

Лит.: Ратклиф Дж. А., Уикс К., Ионосфера, в сб.: Физика верхней атмосферы, пер. с англ., М., 1963; Ионосферные процессы, под ред. В. Е. Степанова, Новосибир., 1968; Уиттен Р. К., Поплов И. Д., Физика нижней ионосферы, пер. с англ., М., 1968; Иванов-Холодный Г. С., Никольский Г. М., Солнце и ионосфера, М., 1969; Распределение электронов в верхней атмосфере, пер. с англ., М., 1969; Гершман Б. Н., Динамика ионосферной плазмы, М., 1974; Ришбет Г., Гарриот О. К., Введение в физику ионосферы, пер. с англ., Л., 1975; Митра А., Воздействие солнечных вспышек на ионосферу Земли, пер. с англ., М., 1977; Иванов-Холодный Г. С., Михайлов А. В., Прогнозирование состояния ионосферы, Л., 1980; Мизун Ю. Г., Полярная ионосфера, Л., 1980; Физика и структура экваториальной ионосферы. [Сб. ст.], М., 1981. Г. С. Иванов-Холодный.

**ИОНОСФЕРНЫЙ ВОЛНОВОД** — область пространства между поверхностью Земли и ионосферой, внутри к-рой происходит локализация радиоволн. Наряду с И. в., ниж. границей к-рого служит поверхность Земли, существуют приподнятые И. в. Локализация радиоволн в таких И. в. осуществляется как за счёт неомонотонного распределения ионосферной плазмы по высоте, так и за счёт сферичности Земли. В лучевом приближении распространение радиоволн в И. в. подобно движению классич. частицы в поле с потенциалом  $-u(z) = -n_m^2(z) \approx \varepsilon(z) + 2z/R$ , где  $\varepsilon(z)$  — диэлектрич. проницаемость среды,  $z$  — высота над поверхностью Земли,  $R$  — радиус Земли,  $z \ll R$ . Роль уровня энергии для излучателя на поверхности Земли играет величина  $\varepsilon = -\cos^2 \alpha$ , где  $\alpha$  — угол излучения, составляемый волновым вектором с горизонталью. Минимумы  $u(z)$  соответствуют И. в. Поведение  $u(z)$  изображено на рис.

для разл. условий в приближении изотропной плазмы (частота волн  $\omega$  много больше гироманг. частоты), когда  $\varepsilon(z) = 1 - \omega_0^2/\omega^2$  ( $\omega_0$  — плазм. частота). Рис. (а) соответствует ночным условиям, когда существует

лишь один слой  $F$  (см. *Ионосфера*) и частота волн  $\omega > \omega_m$ , где  $\omega_m$  — макс. частота, при к-рой возможно «возвращение» радиоволн на поверхность Земли за счёт её отражения от слоя  $F$ . Заштрихованный участок соответствует приподнятому И. в. С понижением частоты  $\omega$  (увеличением  $\omega_0$ ) растёт локальный максимум  $u(z)$ , и для частоты  $\omega = \omega_m$  касательная к  $u_m$  будет соответствовать значению  $n_m^2 = 1$  (рис., б). Появление др. ионосферных слоёв (напр., слоя  $E$ ) иллюстрирует пунктирная кривая на рис. (б). При этом выделяются приподнятые И. в.  $E$ - и  $FE$ -типов. При разделении слоя  $F$  ионосферы на слои  $F_2$  и  $F_1$ , кроме И. в.  $E$  и  $F_2$ , выделяются И. в.  $F_1E$ ,  $F_2E_1$ ,  $F_1$  (рис., в). Как правило, объёмы И. в.  $F_1E$  и  $F_2F_1$  невелики.

При плавном изменении свойств И. в. распространение радиоволн в нём происходит с сохранением адиабатич. инварианта  $I = 4R_0^{-1} \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} [\varepsilon - u(z)]^{1/2} dz$ , где  $z_{\min}$

и  $z_{\max}$  — уровни отражения волны,  $\varepsilon$  — значение  $u(z)$  на уровне отражения волны (рис., а). Нарушение инварианта приводит к изменению траектории в пределах осцилляции (к переходу на др. уровень). Нарушение полного инварианта  $I_m$ , равного  $I$  при  $\varepsilon = u_m$ , где  $u_m$  — значение одного из максимумов  $u(z)$  (напр., рис., б), приводит к выходу волны из И. в. данного типа. Поэтому захват или вывод волны из И. в. связан с нарушением  $I_m$ . Для дальнего распространения радиоволн с малыми потерями важное значение имеют И. в., для к-рых  $z_{\min}$  превышает высоту поглощающего радиоволны  $D$ -слоя ионосферы ( $z \sim 50-90$  км). В сферически симметричной ионосфере в приближении геом. оптики захват в приподнятые И. в. невозможен. В реальных условиях захват в такие И. в. радиоволн, излученных с поверхности Земли (и их вывод), может осуществляться за счёт рефракции радиоволн на горизонтальных градиентах плазмы, из-за рефракции и рассеяния на ионосферных неоднородностях, а иногда и при «просачивании» за счёт дифракционных эффектов.

Лит.: Альперт Я. Л., Распространение электромагнитных волн в ионосфере, 2 изд., М., 1972; Гуревич А. В., Цеделина Е. В., Сверхдальнее распространение коротких радиоволн, М., 1979; Гершман Б. Н., Ерухимов Л. М., Яшин Ю. Я., Волновые явления в ионосфере и космической плазме, М., 1984.

Л. М. Ерухимов, В. П. Урядов.  
**ИПСИЛОН-ЧАСТИЦЫ** (ипсилоний; обозначение  $\Upsilon$ ) — общее назв. группы тяжёлых мезонов со спином 1, имеющих близкие массы  $\sim 10$  ГэВ; являются *истинно нейтральными частицами*. Их зарядовая чётность  $C = -1$ , пространств. чётность  $P = -1$ . Первые И.-ч. (т. н.  $\Upsilon$  и  $\Upsilon'$ ) были открыты в 1977 группой амер. физиков во главе с Л. Ледерманом (L. M. Lederman) при анализе взаимодействия быстрых (400 ГэВ) протонов с мишенями из тяжёлых элементов, а последующие — на установках со встречными электрон-позитронными пучками в реакциях типа  $e^+ + e^- \rightarrow \Upsilon \rightarrow$  адроны (лептоны). На последних установках были детально изучены и все