

Ionospheric Alfvén resonator: theory and observations

O.A. Pokhotelov

Institute of Physics of the Earth, Moscow, Russia

E-mail: pokh@ifz.ru

There was a great deal of research in recent years related to the generation of electromagnetic waves in the VLF/ULF frequency range at high latitudes. These oscillations are commonly observed at all local times by both ground and satellite observations of electric and magnetic fields. A special attention is paid to the generation of such waves in the so-called ionospheric Alfvén resonator (IAR). Using the realistic model of the topside ionosphere, we have reanalyzed the physical properties of the IAR interaction with the magnetospheric convective flow. It is found that in the absence of the convective flow the IAR eigenmodes exhibit a strong damping due to the leakage of the wave energy through the resonator upper wall and Joule dissipation in the conductive ionosphere. The maximum of the dissipation rate appears when the ionospheric conductivity approaches the IAR wave conductivity and becomes infinite. However, the presence of Hall dispersion, associated with the coupling of Alfvén wave mode with compressional (magnetosonic) perturbations, reduces the infinite damping. The increase in the convection electric field leads to a substantial modification of the IAR eigenmode frequencies and to reduction of the eigenmode damping rates. For the given perpendicular wavelength the position of the maximum damping rate shifts to the region with lower ionospheric conductivity. When the convection electric field approaches a certain critical value, the resonator becomes unstable. This results in the IAR feedback instability. The physical mechanism of this instability is similar to the Cherenkov radiation in the collisionless plasmas. The favourable conditions for the instability onset are realized when the ionospheric conductivity is low, i.e., for the nighttime conditions. This effect may result in the decrease of the critical value of the electric field of the magnetospheric convection that is necessary for the formation of the turbulent Alfvén boundary layer and appearance of the anomalous conductivity in the IAR region. The artificial generation of these waves using ionospheric heaters such as EISCAT, HIPAS and HAARP is also reviewed. Modelling the ground signatures of such waves is complicated by the fact that at these frequencies, the collisionless skin depth is comparable to the ionospheric thickness and thus the vertical structure of the ionosphere must be resolved. Furthermore, the Hall conductivity in the ionosphere couples compressional (magnetosonic) waves to shear Alfvén mode providing a complex scenario for the wave dynamics. The present report describes a novel model for generating magnetosonic waves by F-region modulated HF heating that does not depend on the presence of electrojet currents and can thus be generated even by facilities located away from electrojet regions as well as in the absence of electrojets. The report presents the theoretical foundations of the model and concludes with a discussion of future experiments and an outline of the relevance of the model to space science.

Ионосферный Альвеновский резонатор: Теория и наблюдения

О.А. Похотелов

Институт физики Земли РАН, Москва, Российская Федерация

E-mail: pokh@ifz.ru

В последние годы большое внимание уделяется изучению генерации электромагнитных волн в высоких широтах в УНЧ/СНЧ диапазоне. Эти колебания обычно наблюдаются как наземными, так и спутниковыми средствами в разные периоды местного времени. Особое внимание уделяется генерации таких волн в так называемом ионосферном Альвеновском резонаторе (ИАР). Используя реалистичные модели нижней ионосферы были проанализированы физические свойства взаимодействия ИАР с магнитосферным конвективным потоком. Показано, что в отсутствие такого потока собственные моды ИАР подвержены сильному затуханию из-за утечки волновой энергии через верхнюю стенку резонатора и джоулевой диссипации в проводящей ионосфере. Максимальное затухание возникает когда ионосферная проводимость совпадает с волновой проводимостью резонатора и становится формально бесконечным. Наличие же холловской дисперсии, обусловленной зацеплением альвеновской и магнитозвуковой мод, снимает эту сингулярность и затухание становится конечным. Усиление магнитосферной конвекции приводит к существенной перестройке собственных мод ИАР и уменьшению их затухания. Для заданного поперечного волнового числа положение максимума затухания сдвигается в область меньшей ионосферной проводимости. Когда величина поля конвекции достигает определенного критического значения резонатор становится неустойчивым. Эта неустойчивость получила название неустойчивости с положительной обратной связью. Физический механизм этой нестабильности сходен с механизмом Черенковского излучения в бесстолкновительной плазме. Наиболее благоприятные условия для ее возникновения реализуются в плазме с низкой проводимостью, т.е. в ночных условиях. Результатом неустойчивости может стать уменьшение электрического поля конвекции необходимого для образования турбулентного альвеновского слоя и появления аномальной проводимости в области локализации ИАР. Дан также обзор и искусственной генерации этих волн с помощью нагревных стантов типа EISCAT, HIPAS and HAARP. Моделирование наземного отклика усложняется тем обстоятельством, что на рассматриваемых частотах скин-длина сопоставима с толщиной ионосферы и необходимо учитывать пространственную вертикальную структуру ионосферы. Кроме того, из-за наличия Холловской проводимости магнитозвуковые и альвеновские волны зацеплены друг с другом обеспечивая сложный характер их взаимодействия. В данной модели генерации магнитного звука в F-области модулированным ВЧ нагревом не зависит от наличия электроджета и может происходить в областях далеких от области аврорального электроджета.