

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

К ВОПРОСУ О ВНЕШНЕЙ ИОНОСФЕРЕ И ЕЕ ПЕРЕХОДЕ
В МЕЖПЛАНЕТНУЮ СРЕДУ

За последние 10 лет представления о внешней части ионосферы Земли существенно изменились благодаря большому числу новых экспериментов, проведенных главным образом при помощи ракет и искусственных спутников Земли. Поэтому опубликование в УФН обзора «О внешней ионосфере и ее переходе в межпланетную среду» Я. Л. Альперта¹ можно было бы только приветствовать, если бы обзор не содержал ошибок, бездоказательных утверждений и не был бы тенденциозен.

Укажем на некоторые из этих ошибок.

1. Начнем с § 5¹, посвященного важнейшему вопросу о происхождении внешней ионосферы, в котором описывается баланс ионизации. Указав, что граница ионосферы проходит на высотах $3-3,5 R_0$ (R_0 —радиус Земли*), автор говорит: «При таком определении границы ионосферы, по-видимому, представляется возможным описать баланс ионизации единственным уравнением образования ионосферы, рассматриваемым в § 5» (стр. 409). Между тем в¹ уравнения баланса ионизации (26) получены обычным образом из кинетического уравнения (см., например, ^{2, 3}), для чего не требуется знание верхней границы ионосферы. Осповной вывод, который делает Я. Л. Альперт из своего рассмотрения, заключается в тривиальном утверждении о необходимости знания функции распределения.

Новым же в этом разделе¹ является утверждение о том, что ионизация во внешней ионосфере вплоть до ее верхней границы «происходит за счет падающего ультрафиолетового излучения, а исчезновение частиц происходит через фоторекомбинацию и прилипание электронов» (стр. 432). Хорошо известно, что в действительности фотоионизация за счет ультрафиолетового излучения происходит главным образом в области ниже 250 км (см., например, ^{4, 5}), а прилипание электронов имеет место на высотах менее 100 км (выше отрицательные ионы практически отсутствуют; см., например, ⁶). Внешняя ионосфера на высотах более 1000 км состоит в основном из ионов водорода, которые появляются здесь главным образом не за счет фотоионизации, а за счет диффузии вдоль магнитных силовых трубок из областей ионосферы, лежащих ниже 500—1000 км, где интенсивно идет реакция образования протонов при перезарядке атомов водорода с ионами кислорода $^7\text{N} + \text{O}^+ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{O}$. Таким образом, автор¹ неправильно объясняет происхождение ионов во внешней ионосфере, приписывая ей механизмы ионообразования, действующие в нижней ионосфере.

2. На стр. 409¹ сказано: «Область нестационарного состояния приземной плазмы (выше $3-3,5 R_0$) это и есть верхняя часть магнитосферы. Здесь даже в невозмущенных условиях начинает разрушаться магнитное поле Земли, поскольку часто $H_0^2/8\pi \sim \sim (N_0 M \nu_0^2/2)$. На расстояниях от Земли в $8-10 R_0$, как известно, регулярное магнитное поле Земли уже играет малую роль — преобладают поля флуктуационного типа». Это утверждение, приведенное, кстати, без каких-либо литературных ссылок, неверно. Из результатов измерений, проведенных при помощи ракет и спутников, известно, что регулярное магнитное поле наблюдается до расстояний $8-10 R_0$ (см., например ⁸) в направлении к Солнцу, а в противоположном направлении (в так называемом «хвосте» магнитосферы) — до значительно больших расстояний⁹.

3. На стр. 410 сказано, что средний высотный ход электронной концентрации $N(z)$ по данным измерений при помощи излучаемых с ИСЗ когерентных радиоволн^{10, 11} имеет дополнительные максимумы, лежащие выше максимума области F (см. кривые 18 и 19 на рис. 1¹), причем «природа этих максимумов неясна».

Природа этих максимумов проанализирована в¹², о чем автор умалчивает, и объясняется ошибочной интерпретацией первичных данных в работах^{10, 11} (в частности,

*). Здесь и далее используются те же обозначения, что и в¹.

графики $N(z)$ строились по значениям N , полученным в различные дни, в разное время суток и над географическими пунктами, отстоящими друг от друга на сотни километров, что, учитывая изменичивость ионосферы во времени и пространстве, лишено смысла). Поэтому мы не видим оснований связывать несуществующие дополнительные максимумы со «сложной динамикой верхней атмосферы», как это делает автор¹.

4. На стр. 429 и 430¹ приведены спектры размеров ионосферных неоднородностей и флуктуаций электронной концентрации этих неоднородностей, получение которых почему-то приписывается группе горьковских исследователей (Е. А. Бенедиктову, Г. Г. Гетманцеву, И. А. Митякову и др.¹³), хотя в действительности ни в упомянутой работе, ни в других работах этих авторов указанные спектры не содержатся. В связи с этим способ получения спектров неоднородностей, приведенных на рис. 15 и 16 в¹, не ясен, хотя отмечено, что они получены «методом анализа флуктуаций разности доплеровских смещений частоты $\delta\Phi$ радиоволн, излученных со спутника «Электрон». Заметим, что если при этом имеется в виду тот же метод, который описан в 1965 г. Я. Л. Альпертом в¹⁴, то несостоенность этого метода показана в¹².

5. Автор¹ утверждает, что не существует методов определения потенциала космического аппарата в ионосфере. Так, на стр. 427 сказано: «...потенциал тела не только неизвестен во время измерений, но вообще еще не реализованы достаточно точные методы его определения». Из этого утверждения автора¹ неясно, то ли потенциал тела во время измерений неизвестен, то ли он измеряется, но с недостаточной точностью. Критерий достаточности точности при этом не указывается. Вместе с тем, методы определения потенциалов спутников существуют и изложены в ряде известных работ (например, ^{15, 16}, ¹), значения потенциала измерялись в различных областях ионосферах^{15, 16}.

6. Поставив под сомнение возможности зондовых измерений в ионосфере, автор¹ на стр. 414—415 делает ряд далеко идущих предположений о физических свойствах внешней ионосферы, основываясь именно на зондовых измерениях, описанных в работе Сагалин и Смидди на спутнике ОГО-А*. По данным о потоках положительных ионов ($\bar{N}v_i$), концентрации ионов N_i и потоках электронов ($\bar{N}v_e$) (по-видимому, пересчитанных к невозмущенной ионосфере) сделаны предположения об отсутствии квазицентральности и наличии интенсивного электрического поля $E_0 \sim 10^{-2}$ в/см на расстояниях от 20 000 до 160 000 км от Земли, несмотря на то, что сами авторы эксперимента, как следует из¹, не сочли возможным извлечь из своих первичных данных сведений о концентрации электронов.

Из¹ неясно, как без сведений о потенциале спутника (определение которого в¹ не считается возможным; см. выше предыдущее замечание 5) можно было определить потоки электронов и ионов в невозмущенной ионосфере по данным измерений, проведенных на спутнике.

7. На стр. 426—427 говорится, что не существует сколько-нибудь строгих теоретических формул, функционально связывающих измеренный ток ионов I с N_i , а на высотах ~ 2000 км непригодна часто используемая для $V_0/v_i \gg 1$ формула $I = SeN_i V_0$ (S — эффективная площадь прибора, V_0 — скорость космического аппарата).

В действительности имеются более строгие, чем приводимая в¹, формулы, устанавливающие связь между концентрацией ионов и измеряемым в приборе током I с учетом теплового движения ионов (см., например ^{15, 16, 18, 19}**), которые и применяются при обработке экспериментальных данных (например ^{16, 20}).

Следует остановиться еще на одной уже упоминавшейся особенности статьи¹, связанной с тенденциозностью ее автора как при подборе включенных в обзор материалов, так и при их изложении.

На стр. 405¹ говорится, что существование внешней ионосферы, вплоть до ее верхней границы, как она рисуется по современным данным, было известно «априорно уже давно из общих соображений», а в 1953 г. наблюдения свидетельств атмосфериков²¹ показали наличие $N \sim 400$ — 600 см⁻³ на высотах ~ 12 500 км (в¹ ошибочно указана высота 18—19 тыс. км). Поэтому установление в 1959 г. факта существования ионосферы на расстояниях до ~ 20 000 км от земной поверхности^{22, 23} якобы не внесло изменений в представление о верхней границе ионосферы.

Действительно, в некоторых работах, опубликованных до 1959 г. (например, ²¹ и ²⁴), которые указаны и в¹, содержались утверждения о протяженности ионосфере (достигающей согласно²⁴ расстояний от Земли до 8 — $9 R_0$). Однако в них не содержалось необходимых экспериментальных доказательств существования такой ионосферы и приписываемые ей количественные характеристики были неверными. Следует заме-

*) К сожалению, в¹ ссылка на эту работу (R. C. Sagalyn, M. Smidly, Рергтнт, 1965) дана без указания названия работы и предполагаемого места опубликования.

**) Так как Я. Л. Альперт является соавтором книги¹⁹, то тем более странно, что он не говорит об этих формулах.

тить, что если под границей ионосферы понимать область, в которой концентрация ионосферных частиц равна концентрации частиц межпланетной плазмы, то вообще о правильном определении положения границы ионосферы и количественных характеристик периферийной области ионосферы до 1959 г. не может быть речи, так как до измерений на первых космических ракетах потоки и концентрации заряженных частиц в межпланетном пространстве были завышены на 2—3 порядка (что видно, например, из²⁵). В частности, в относящихся к 1958 г. работах Я. Л. Альперта и др. (например, из²⁶) высота границы ионосферы оценивается как 2—3 тыс. км, из чего следует, что в 1958 г. Я. Л. Альперт не имел ни априорных соображений, ни экспериментальных сведений о более протяженной ионосфере.

Следует остановиться на том, как отображены в обзоре¹ советские экспериментальные работы по самой внешней части ионосферы. Приводя на сводном графике (рис. 1) обзор¹ высотный ход ионной концентрации из работы²⁷, полученный в 1959 г., Я. Л. Альперт умалчивает о том, что в самой работе²⁷ отмечались как безусловная надежность загиба верхней части кривой высотного хода концентрации, так и то, что значения концентраций, относящиеся к высотам 2000—15 000 км, являются лишь нижним пределом ее возможных значений, так как величины зарегистрированных ионных токов могли быть существенно занижены.

Вопрос о возможных причинах отличия кривой ионной концентрации, приведенной в²⁷, от данных, полученных позднее (в том числе В. В. Безруких и К. И. Грингаузом на спутнике «Электрон-2»), рассмотрен в²⁸, где, помимо возможной причины методического характера, приведены также соображения, впервые высказанные Обаяци²⁸, связанные с тем, что данные, полученные на космическом аппарате «Луна-2»²⁷, относятся к более высоким широтам, чем более поздние результаты. Это рассмотрение, проведенное в²⁸, а также данные, полученные на «Электроне-2» и опубликованные в той же работе²⁸, вообще не отражены в¹, хотя Я. Л. Альперт не мог их не знать, так как он является одним из редакторов книги, в которой опубликована статья²⁸. Тенденциозность Я. Л. Альперта в данном случае вполне очевидна.

Перечень ошибок в обзоре¹ мог бы быть расширен. Например, на стр. 409 граница ионосферы определяется как «область образования колена» (как известно, «колено» наблюдается не всегда, см., например,²⁹, и следовательно, в таких случаях ионосфера, по Я. Л. Альперту, не имеет границы); на стр. 415 допущена ошибка в записи нормировки функции распределения и т. д. Однако мы считаем нецелесообразным увеличивать размеры настоящей заметки, так как, по нашему мнению, как научный уровень, так и степень объективности работы¹ очевидны из примеров, рассмотренных выше.

В. В. Безруких, Т. К. Бреус, Г. Л. Гдалевич,
Б. Н. Горожанкин, В. А. Рудаков

Примечание. Уже после представления в УФН настоящей заметки, авторы познакомились еще с одной более поздней публикацией Я. Л. Альперта, на этот раз в зарубежном журнале³⁰, которая отличается от¹ лишь сравнительно малыми разнотечениями. В частности, она не содержит упоминания о работах горьковских радиофизиков по изучению ионосферных неоднородностей и в ней указано, что спектр размеров неоднородностей, приведенный на рис. 15 в³⁰ (рис. 15 в¹), получен Я. Л. Альпертом и его соавторами в¹⁴. Заметим, что и в работе¹⁴ рис. 15, помещенный в³⁰, не содержится. Все прочие ошибки¹ полностью воспроизведены в³⁰.

Еще одна публикация автором статьи, ранее напечатанной в УФН, содержание которой кратко разобрано выше, делает, по нашему мнению, особенно актуальной ее правильную оценку.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Л. Альперт, УФН 90, 405 (1966).
2. В. Л. Грановский, Электрический ток в газе, т. I, М.—Л., Гостехиздат, 1952.
3. В. Л. Гинзбург, Распространение электромагнитных волн в плазме, М. Физматгиз, 1960.
4. H. E. Pinteregger, L. A. Hall, G. Schmidtke, Space Res. V, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1965, стр. 1175.
5. Г. С. Иванов-Хододын, Геомагнетизм и аэрономия 6, 382 (1966).
6. G. C. Reid, Rev. of Geophys. 2, 311 (1964).
7. W. B. Hanson, I. B. Ortenburger, J. Geophys. Res. 66, 1425 (1961).
8. J. W. Freeman, J. A. Van Allen, L. I. Cahill, J. Geophys. Res. 68, 2121 (1963).

9. N. F. Ness, *J. Geophys. Res.* **70**, 2989 (1965).
10. Я. Л. Альперт, В. М. Синельников, Геомагнетизм и аэрономия **5**, 209 (1965).
11. В. А. Мисюра, Г. К. Солодовников, В. М. Мигунов, Космические исследования **3**, 595, 604 (1965).
12. К. И. Гриингауз, Ю. А. Кравцов, В. А. Рудаков, С. М. Рытов, Геомагнетизм и аэрономия **6**, 568 (1966).
13. Е. А. Бенедиктов, Г. Г. Гетманцев, Н. А. Митяков, В. О. Рапопорт, Ю. А. Сазонов, А. Ф. Тарасов, в сб. «Исследования космического пространства», М., «Наука», 1965.
14. Я. Л. Альперт, Л. М. Витшас, В. М. Синельников, Геомагнетизм и аэрономия **5**, 649 (1965).
15. К. И. Гриингауз, В. В. Безруких, В. Д. Озеров, в сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 6, 1961, стр. 63.
16. R. C. Sagalain, M. Smiddy, J. Wisnia, *J. Geophys. Res.* **68**, 199 (1963); **69**, 1809 (1964).
17. G. P. Sergiu, E. J. R. Mair, *J. Geophys. Res.* **71**, 3755 (1966).
18. E. C. Whipple, *Proc. IRE* **47**, 2023 (1959).
19. Я. Л. Альперт, А. В. Гуревич, Л. П. Питаевский, «Искусственные спутники в разреженной плазме», М., «Наука», 1964.
20. В. В. Безруких, Т. К. Бреус, К. И. Гриингауз, Космические исследования **5**, 258 (1967).
21. L. R. O. Stogey, *Phil. Trans. Roy. Soc.* **A246**, 113 (1953).
22. В. В. Безруких, К. И. Гриингауз, В. Д. Озеров, Р. Е. Рыбчинский, ДАН СССР **131**, 1301 (1960).
23. В. В. Безруких, К. И. Гриингауз, в сб. «Исследования космического пространства» (под редакцией Г. А. Скуридина, Я. Л. Альперта, В. И. Красовского), М., «Наука», 1965.
24. L. R. O. Stogey, *Ann. de Geophys.* **14**, 144 (1958).
25. К. И. Гриингауз, в сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 12, 1962, стр. 119.
26. Я. Л. Альперт, Э. Ф. Чудесенко, Б. С. Шапиро, в сб. «Предварительные итоги научных исследований с помощью первых советских искусственных спутников Земли и ракет», № 1, М., Изд-во АН СССР, 1958.
27. К. И. Гриингауз, *Space Res.* II, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1961 стр. 574; в сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 12, 1962, стр. 105.
28. T. Obayashi, *The report on ionosphere and space research in Japan*, **28**, N 3, 1964, стр. 228.
29. D. L. Carpenter, *J. Geophys. Res.* **71**, 693 (1966).
30. Ja. L. Al'pert, *Space Sci. Rev.* **6**, 419 (1967).

К ДИСКУССИИ О КНИГЕ Н. С. ЗИНЧЕНКО «КУРС ЛЕКЦИЙ ПО ЭЛЕКТРОННОЙ ОПТИКЕ»

В рецензии В. С. Лукошкова, И. К. Овчинникова, А. С. Тихтина, К. Б. Толпиго на книгу Н. С. Зинченко «Курс лекций по электронной оптике» (см. УФН 89, 175 (1966)) отмечены недостатки книги, а также неточности и некоторые явные ошибки, допущенные автором (неправлен, например, рис. 5.3). Кроме того, в рецензии есть перечень нерассмотренных вопросов и вопросов, которые, по мнению рецензентов, нужно изложить иначе. Все это не дает, однако, оснований для категорической отрицательной оценки книги, которая вышла к тому же еще в 1961 г. и, насколько нам известно, к переизданию не подготавливается.

Соображения о том, как следует излагать электронную оптику, относятся к проблеме создания лучшего, более современного курса, которого пока еще нет. Если в соответствии с этими соображениями будет написана лучшая книга, то она, несомненно, вытеснит худшие без каких-либо дискуссий.

Между прочим, написать хороший учебник по электронной оптике, по нашему мнению, не так просто, как это кажется на первый взгляд. Четкое изложение теории и эксперимента возможно для электронной оптики, построенной без учета пространственного заряда; эта часть электронной оптики в своих основах является законченной дисциплиной. Электронная оптика интенсивных электронных пучков такой законченностью не обладает. Это видно хотя бы из того обстоятельства (понятого сравнительно недавно), что ламинарные электронные потоки обычно неустойчивы, в частности