

## УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

## 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. Альперта<sup>1</sup> 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 § 5<sup>1</sup>, 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 единым уравнением образования ионосферы, рассматриваемым в § 5» (стр. 409). Между тем в<sup>1</sup> уравнения баланса ионизации (26) получены обычным образом из кинетического уравнения (см., например, <sup>2, 3</sup>), для чего не требуется знание верхней границы ионосферы. Основной вывод, который делает Я. Л. Альперт из своего рассмотрения, заключается в тривиальном утверждении о необходимости знания функции распределения.

Новым же в этом разделе<sup>1</sup> 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, <sup>4, 5</sup>), а прилипание электронов имеет место на высотах менее 100 км (выше отрицательные ионы практически отсутствуют; см., например, <sup>6</sup>). 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  $H + O^+ \rightleftharpoons H^+ + O$ . Таким образом, автор<sup>1</sup> неправильно объясняет происхождение ионов во внешней ионосфере, приписывая ей механизмы ионообразования, действующие в нижней ионосфере.

2. На стр. 409<sup>1</sup> 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  $H_0^2/8\pi \sim \sim (N_0 M v_{th}^2/2)$ . На расстоянии 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 <sup>8</sup>) в направлении к Солнцу, а в противоположном направлении (в так называемом «хвосте» магнитосферы) — до значительно больших расстояний<sup>9</sup>.

3. На стр. 410 сказано, что средний высотный ход электронной концентрации  $N(z)$  по данным измерений при помощи излучаемых с ИСЗ когерентных радиоволн <sup>10, 11</sup> имеет дополнительные максимумы, лежащие выше максимума области  $F$  (см. кривые 18 и 19 на рис. 1<sup>1</sup>), причем «природа этих максимумов неясна».

Природа этих максимумов проанализирована в<sup>12</sup>, о чем автор умалчивает, и объясняется ошибочной интерпретацией первичных данных в работах <sup>10, 11</sup> (в частности,

\*) Здесь и далее используются те же обозначения, что и в<sup>1</sup>.

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 изменчивость ионосферы во времени и пространстве, лишено смысла). Поэтому мы не видим оснований связывать несуществующие дополнительные максимумы со «сложной динамикой верхней атмосферы», как это делает автор <sup>1</sup>.

4. На стр. 429 и 430 <sup>1</sup> приведены спектры размеров ионосферных неоднородностей и флуктуаций электронной концентрации этих неоднородностей, получение которых почему-то приписывается группе горьковских исследователей (Г. А. Бенедиктову, Г. Г. Гетманцеву, Н. А. Митякову и др. <sup>13</sup>), 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 в <sup>1</sup>, не ясен, хотя отмечено, что они получены «методом анализа флуктуаций разности доплеровских смещений частоты  $\delta F$ » радиоволн, излученных со спутника «Электрон». Заметим, что если при этом имеется в виду тот же метод, который описан в 1965 г. Я. Л. Альпертом в <sup>14</sup>, то несостоятельность этого метода показана в <sup>12</sup>.

5. Автор <sup>1</sup> 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 автора <sup>1</sup> 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, <sup>15, 16</sup>), значения потенциала измерялись в различных областях ионосферы <sup>15, 16</sup>.

6. Поставив под сомнение возможности зондовых измерений в ионосфере, автор <sup>1</sup> на стр. 414—415 делает ряд далеко идущих предположений о физических свойствах внешней ионосферы, основываясь именно на зондовых измерениях, описанных в работе Сагалина и Смиiddy на спутнике ОГО-А\*). По данным о потоках положительных ионов  $(N\bar{v})_i$ , концентрации ионов  $N_i$  и потоках электронов  $(N\bar{v})_e$  (по-видимому, пересчитанных к невозмущенной ионосфере) сделаны предположения об отсутствии квазинейтральности 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 из <sup>1</sup>, не смогли возможным извлечь из своих первичных данных сведений о концентрации электронов.

Из <sup>1</sup> неясно, как без сведений о потенциале спутника (определение которого в <sup>1</sup> не считается возможным; см. наше 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  $\sim 2000$  км непригодна часто используемая для  $V_0/v_i \gg 1$  формула  $I = SeN_iV_0$  ( $S$  — эффективная площадь прибора,  $V_0$  — скорость космического аппарата).

В действительности имеются более строгие, чем приводимая в <sup>1</sup>, формулы, устанавливающие связь между концентрацией ионов и измеряемым в приборе током  $I$  с учетом теплового движения ионов (см., например <sup>15, 16, 18, 19</sup>\*\*), которые и применяются при обработке экспериментальных данных (например <sup>16, 20</sup>).

Следует остановиться еще на одной уже упоминавшейся особенности статьи <sup>1</sup>, связанной с тенденциозностью ее автора как при подборе включенных в обзор материалов, так и при их изложении.

На стр. 405 <sup>1</sup> 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 свистящих атмосфериков <sup>21</sup> показали наличие  $N \sim 400\text{—}600 \text{ см}^{-3}$  на высотах  $\sim 12\text{—}500$  км (в <sup>1</sup> ошибочно указана высота 18—19 тыс. км). Поэтому установление в 1959 г. факта существования ионосферы на расстояниях до  $\sim 20\text{—}30\text{—}40\text{—}50\text{—}60\text{—}70\text{—}80\text{—}90\text{—}100\text{—}110\text{—}120\text{—}130\text{—}140\text{—}150\text{—}160\text{—}170\text{—}180\text{—}190\text{—}200\text{—}210\text{—}220\text{—}230\text{—}240\text{—}250\text{—}260\text{—}270\text{—}280\text{—}290\text{—}300\text{—}310\text{—}320\text{—}330\text{—}340\text{—}350\text{—}360\text{—}370\text{—}380\text{—}390\text{—}400\text{—}410\text{—}420\text{—}430\text{—}440\text{—}450\text{—}460\text{—}470\text{—}480\text{—}490\text{—}500\text{—}510\text{—}520\text{—}530\text{—}540\text{—}550\text{—}560\text{—}570\text{—}580\text{—}590\text{—}600\text{—}610\text{—}620\text{—}630\text{—}640\text{—}650\text{—}660\text{—}670\text{—}680\text{—}690\text{—}700\text{—}710\text{—}720\text{—}730\text{—}740\text{—}750\text{—}760\text{—}770\text{—}780\text{—}790\text{—}800\text{—}810\text{—}820\text{—}830\text{—}840\text{—}850\text{—}860\text{—}870\text{—}880\text{—}890\text{—}900\text{—}910\text{—}920\text{—}930\text{—}940\text{—}950\text{—}960\text{—}970\text{—}980\text{—}990\text{—}1000$  км от земной поверхности <sup>22, 23</sup> якобы не внесло изменений в представление о верхней границе ионосферы.

Действительно, в некоторых работах, опубликованных до 1959 г. (например, <sup>21</sup> и <sup>24</sup>), которые указаны и в <sup>1</sup>, содержались утверждения о протяженной ионосфере (достигающей согласно <sup>24</sup> расстояний от Земли до  $8\text{—}9 R_0$ ). Однако в них не содержалось необходимых экспериментальных доказательств существования такой ионосферы и приписываемые ей количественные характеристики были неверными. Следует заме-

\*) К сожалению, в <sup>1</sup> ссылка на эту работу (R. C. Sagaly, M. Smiddy, Preprint, 1965) дана без указания названия работы и предполагаемого места опубликования.

\*\*) Так как Я. Л. Альперт является соавтором книги <sup>19</sup>, то тем более странно, что он не говорит об этих формулах.

тять, 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, из <sup>25</sup>). В частности, в относящихся к 1958 г. работах Я. Л. Альперта и др. (например, <sup>26</sup>) 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 обзоре <sup>1</sup> советские экспериментальные работы по самой внешней части ионосферы. Приводя на сводном графике (рис. 1) обзора <sup>1</sup> высотный ход ионной концентрации из работы <sup>27</sup>, полученный в 1959 г., Я. Л. Альперт умалчивает о том, что в самой работе <sup>27</sup> отмечались как безусловная надежность загиба верхней части кривой высотного хода концентрации, так и то, что значения концентрации, относящиеся к высотам 2000—15 000 км, являются лишь нижним пределом ее возможных значений, так как величины зарегистрированных ионных токов могли быть существенно записаны.

Вопрос о возможных причинах отличия кривой ионной концентрации, приведенной в <sup>27</sup>, от данных, полученных позднее (в том числе В. В. Безруких и К. И. Грингаузом на спутнике «Электрон-2»), рассмотрен в <sup>23</sup>, где, помимо возможной причины методического характера, приведены также соображения, впервые высказанные Обаяши <sup>28</sup>, связанные с тем, что данные, полученные на космическом аппарате «Луна-2» <sup>27</sup>, относятся к более высоким широтам, чем более поздние результаты. Это рассмотрение, проведенное в <sup>23</sup>, а также данные, полученные на «Электрон-2» и опубликованные в той же работе <sup>23</sup>, вообще не отражены в <sup>1</sup>, хотя Я. Л. Альперт не мог их не знать, так как он является одним из редакторов книги, в которой опубликована статья <sup>23</sup>. Тенденциозность Я. Л. Альперта в данном случае вполне очевидна.

Перечень ошибок в обзоре <sup>1</sup> мог бы быть расширен. Например, на стр. 409 граница ионосферы определяется как «область образования колена» (как известно, «колени» наблюдаются не всегда, см., например, <sup>29</sup>, 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 работы <sup>1</sup> 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 журнале <sup>30</sup>, которая отличается от <sup>1</sup> лишь сравнительно малыми различиями. В частности, она не содержит упоминания о работах горьковских радиопизиков по изучению ионосферных неоднородностей и в ней указано, что спектр размеров неоднородностей, приведенный на рис. 15 в <sup>30</sup> (рис. 15 в <sup>1</sup>), получен Я. Л. Альпертом и его соавторами в <sup>14</sup>. Заметим, что и в работе <sup>14</sup> рис. 15, помещенный в <sup>30</sup>, не содержится. Все прочие ошибки <sup>1</sup> полностью воспроизведены в <sup>30</sup>.

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. Hinteregger, L. A. Hall, G. Schmidtke, Space Res. V, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1965, стр. 1175.
5. Г. С. Иванов-Холодный, Геомагнетизм и аэрономия **6**, 382 (1966).
6. G. C. Reid, Rev. of Geoph. **2**, 311 (1964).
7. W. B. Hanson, I. B. Ortenburger, J. Geoph. Res. **66**, 1425 (1961).
8. I. W. Freeman, J. A. Van Allen, L. I. Cahill, J. Geoph. Res. **68**, 2121 (1963).

9. N. F. Ness, J. Geoph. Res. **70**, 2989 (1965).
10. Я. Л. Альперт, В. М. Синельников, Геомагнетизм и аэрномия **5**, 209 (1965).
11. В. А. Мисюра, Г. К. Солодовников, В. М. Мигунов, Космические исследования **3**, 595, 604 (1965).
12. К. И. Грингауз, Ю. А. Кравцов, В. А. Рудаков, С. М. Рытов, Геомагнетизм и аэрномия **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 аэрномия **5**, 649 (1965).
15. К. И. Грингауз, В. В. Безруких, В. Д. Озеров, в сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 6, 1961, стр. 63.
16. R. C. Sagalin, M. Smiddy, J. Wisnia, J. Geoph. Res. **68**, 199 (1963); **69**, 1809 (1964).
17. G. P. Serbu, E. J. R. Maier, J. Geoph. Res. **71**, 3755 (1966).
18. E. C. Whipple, Proc. IRE **47**, 2023 (1959).
19. Я. Л. Альперт, А. В. Гуревич, Л. П. Пятаевский, «Искусственные спутники в разреженной плазме», М., «Наука», 1964.
20. В. В. Безруких, Т. К. Бреус, К. И. Грингауз, Космические исследования **5**, 258 (1967).
21. L. R. O. Storey, Phil. Trans. Roy. Soc. **A246**, 113 (1953).
22. В. В. Безруких, К. И. Грингауз, В. Д. Озеров, Р. Е. Рыбчинский, ДАН СССР **131**, 1301 (1960).
23. В. В. Безруких, К. И. Грингауз, в сб. «Исследования космического пространства» (под редакцией Г. А. Скуридина, Я. Л. Альперта, В. И. Красовского), М., «Наука», 1965.
24. L. R. O. Storey, Ann. de Geophys. **14**, 144 (1958).
25. К. И. Грингауз, 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. Грингауз, Space Res. II, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1961 стр. 574; в сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 12, 1962, стр. 105.
28. T. Obajashi, 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. Тиктина, К. Б. Толпыго 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 (неправилен, 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