

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
М.В.ЛОМОНОСОВА»

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

КУРСОВАЯ РАБОТА
«ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ ИОНИЗИРОВАННОЙ ОБЛАСТИ В
НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЕ»

Выполнил студент 215 группы
Серебряков Егор Дмитриевич

подпись студента

Научный руководитель
д.ф.-м.н., в.н.с. Бычков Владимир Львович

подпись научного руководителя

Москва - 2020

Реферат

Количество страниц 13, количество рисунков 4, количество формул 4, количество таблиц 1, ссылок 6

Оглавление

Реферат	2
Введение	4
Глава 1. Нижняя ионосфера.....	6
1.1. Неравномерное распределение температуры и концентрации частиц по высоте	6
1.2. Пробойное поле	8
1.3. Определение возможных значений электрического поля на высотах 70-100 км.....	9
Итоги работы	12
Список литературы.....	13

Введение

Информация о характеристиках плазмы воздуха на разных высотах в разных условиях имеет большое значение для подготовки летных испытаний с применением различных газоразрядных устройств, для разработки и использования различных устройств позиционирования в ионосфере.

Исследования создания областей, возбужденных различными источниками энергии, такими как сильные поля, газовые разряды, электронные пучки и др. актуальны, как с теоретической, так и практической точек зрения, поскольку позволяют взглянуть на механизмы процессов, имеющих место в нижней ионосфере, так и создавать новые технологии транспортировки энергии.

В этой связи полезно знать параметры устройств, при которых возможно воздействие с созданием плазмы, отличающейся по свойствам от фоновой. С точки зрения разработки таких устройств для новой авиационной и космической техники на высотах тропосферы и нижней мезосферы важно знать характеристики плазмы на высотах в диапазоне 90 - 100 км.

Интерес к ионизационным процессам на больших высотах вызван возможностью протекания ионизационных процессов в воздухе у поверхности летательных аппаратов из-за их электризации, или появления атмосферных разрядов, таких как спрайты, струи и т.д.

Информация о характеристиках плазмы воздуха на разных высотах в разных условиях, в том числе при грозовой активности над поверхностью Земли имеет большое значение для подготовки летных испытаний с применением различных газоразрядных устройств, для разработки и использования различных устройств позиционирования в ионосфере. Интерес к ионизационным процессам на больших высотах вызван возможностью протекания этих процессов в воздухе у поверхности летательных аппаратов из-за их электризации, или появления атмосферных разрядов, таких как спрайты, струи и т.д. Как следует из работ [1] и [2], именно грозовые явления приводят к их реализации. Механизм реализации следующий. При разряде облака молнией на землю происходит стекание зарядов одного знака, а заряды другого знака остаются на облаке. Величина зарядов на облаке достигает 5 Кл, которые создают электрическое поле над облаком. Это электрическое поле спадает медленно с высотой, а плотность нейтралов экспоненциально быстро, поэтому на высотах 70-100 км реализуются условия необходимые для реализации спрайтов. В работах [3] и [4] показано, что одновременно с реализацией условий для появления стримерных разрядов, происходит лавинная ионизация, приводящая к значительному увеличению электронной концентрации температур электронов и газа, которая зависит от величины внешнего электрического поля, которое может быть реализовано

экспериментальными устройствами, облаками, и мезосферными процессами.

При движении грозových фронтов на высотах 2-10 км в мезосфере на высотах 90-100 км могут создаваться условия для образования фронта ионизированного воздуха шириной на ~1%, большей ширины фронта облаков у Земли. При этом время существования такой ионизованной области будет равно времени нейтрализации облака ионами тропосферы, которое может достигать сотен секунд.

Целью настоящей работы являются: определение возможных значений электрического поля на высотах 70-90 км, при которых может происходить пробой воздуха и служить прекурсором образования плазменной области, в последствии превращающейся в ионизационные структуры типа спрайтов, параметра E/N (где E – величина электрического поля на высоте при значении концентрации нейтралов N) электронной концентрации и температуры плазмы на основе изучения химической кинетики плазмы на высотах 90-100 км в грозovém поле, поскольку соответствующих расчетов параметров плазмы для оценки наработки электронов на конкретных высотах ранее проделано не было.

При проведении расчетов будем использовать известное выражение для зависимости квазистационарного электрического поля от высоты [1] h

$$E = \frac{zQ}{\pi\epsilon_0 h^3} \left[1 + \left(\frac{h_i}{2h_i - h} \right)^3 \right] \quad (1)$$

где E – значение электрического поля на искомой высоте, h_i – высота ионосферы, которая предполагается идеальным проводником (в расчетах $h_i = 120$ км), z – высота нахождения заряда Q над идеально проводящей поверхностью (5 км, $z \ll h$). Эта формула описывает реализующуюся напряжённость электрического поля над заряженным облаком с учетом поляризационного эффекта в ионосфере.

Оценки, полученные на основе формулы дают для заряда облака равного 5 Кл, находящегося на высоте 5 км, следующие величины электрического поля 1,05 В/м на высоте 95 км и 0,90 В/м на высоте 100 км. Эти величины полей приводят к следующим значениям газоразрядного параметра E/N (где E – напряженность электрического поля, N – концентрация нейтралов) $E/N = 36 \cdot 10^{-17}$ В·см² на высоте 95 км, (при $N = 2,93 \cdot 10^{13}$ см⁻³) и на высоте 100 км $E/N = 47 \cdot 10^{-17}$ В·см², (при $N = 1,93 \cdot 10^{13}$ см⁻³).

Отметим, что параметр E/N при котором происходит резкая ионизация при атмосферном давлении $E/N = 110 \cdot 10^{-17}$ В·см² [3] и значения этого параметра падают с высотой. Следовательно, наличие зарядов на облаках могут приводить к резкому росту электронной концентрации при $Q \geq 5$ Кл или их нахождении на больших высотах, а также в случае действия облачной системы, когда значения напряженности электрических полей отдельных облаков будут складываться в мезосфере.

Глава 1. Нижняя ионосфера

1.1. Неравномерное распределение температуры и концентрации частиц по высоте

Представленный в Таблице 1.1 стандарт определяет характеристики Стандартной атмосферы США, которые рассчитаны из предположения, что воздух является идеальным газом, свободным от влаги и пыли, и основаны на принятых исходных значениях представленных параметров на среднем уровне моря.

Средний уровень моря определяется как нулевая абсолютная высота, в отношении которой применяются исходные характеристики g_0 , P_0 , p_0 и T_0 [5]. Остальные параметры рассчитаны на основе исходных характеристик.

Атмосфера делится на несколько слоев в соответствии с изменением температуры с высотой. Переходные зоны между этими слоями называются соответственно тропопаузой, стратопаузой и мезопаузой. При расчете Стандартной атмосферы температура каждого слоя находится в линейной зависимости от геопотенциальной высоты [5].

Концентрация частиц воздуха n , т.е. число нейтральных частиц воздуха на единицу объема, задается следующим уравнением:

$$n = \frac{N_A p}{RT} \quad (1.1)$$

Таблица 1.1. Физические параметры атмосферы до высоты 120 км в средних широтах, согласно Стандартной атмосфере США (1976)

Высота, км	Температура, К	Концентрация, см ⁻³
0	288	2,55 (19)
5	256	1,53 (19)
10	223	8,61 (18)
15	217	4,04 (18)
20	217	1,85 (18)
25	222	8,33 (17)
30	227	3,83 (17)
35	237	1,74 (17)
40	250	6,67 (16)
45	264	4,12 (16)
50	271	2,14 (16)
55	261	1,19 (16)
60	247	6,45 (15)
65	233	3,42 (15)

70	220	1,71 (15)
75	208	8,36 (14)
80	198	4,03 (14)
85	189	1,72 (14)
90	187	6,98 (13)
95	188	2,93 (13)
100	195	1,19 (13)
105	209	5,2 (12)
110	240	2,14 (12)
115	300	9,66 (11)
120	360	5,03 (11)

Для большей наглядности построим графики зависимостей температуры и концентрации воздуха от высоты.

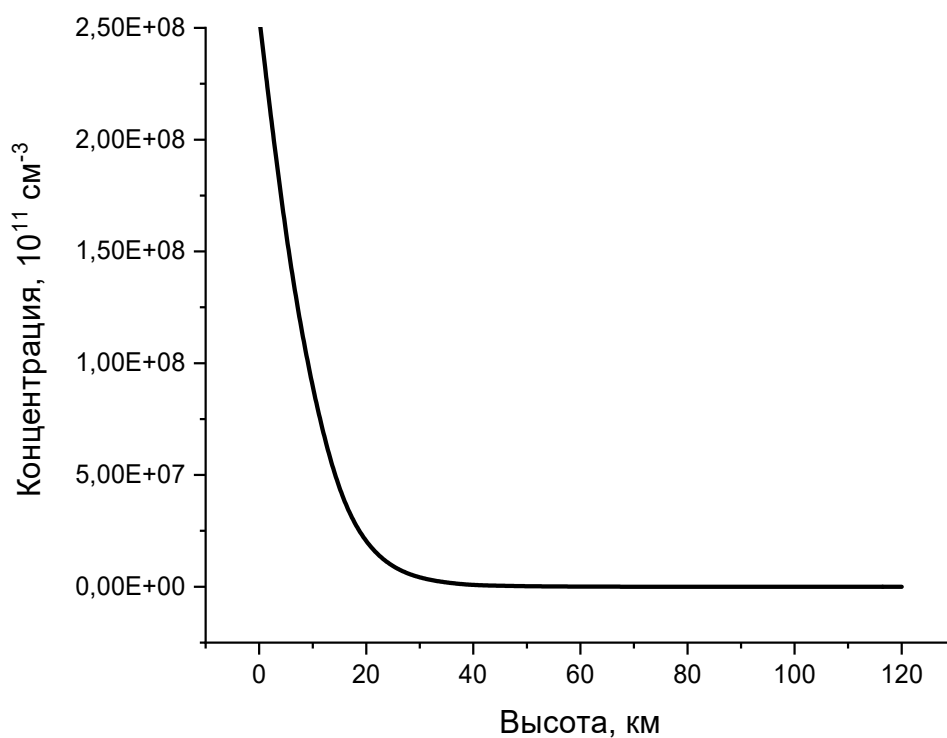


Рисунок 1.1. График зависимости концентрации от высоты

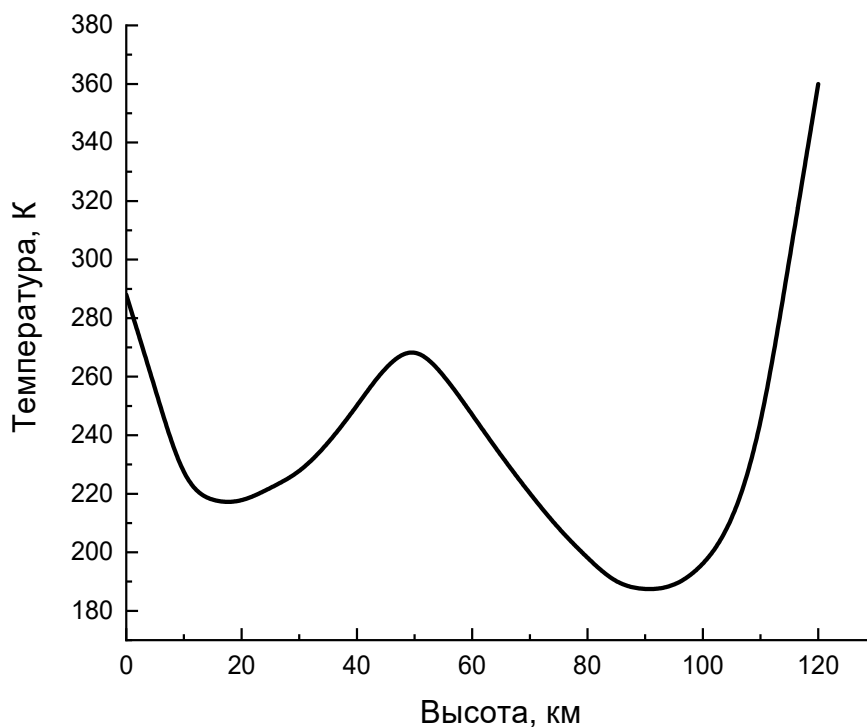


Рисунок 1.2. График зависимости температуры от высоты

Анализируя график зависимости температуры от высоты в стандартной атмосфере можно заметить, что в средней атмосфере статистическая устойчивость гораздо больше, чем в тропосфере, и это позволяет предположить, что средняя атмосфера должна быть более устойчива по отношению к вертикальным движениям.

1.2. Пробойное поле

В самом общем смысле *электрическим пробоем* называется процесс превращения непроводящего вещества в проводник в результате приложения к нему достаточно сильного поля. Ионизованное состояние, в которое приходит газ при пробое, может возникать за разные промежутки времени – от 10^{-9} с до нескольких секунд, но чаще всего это происходит за $10^{-4} - 10^{-8}$ с. Ионизация достигает заметной величины, столь заметной, что пробой, как правило, сопровождается видимой невооруженным глазом световой вспышкой. Если внешнее поле прикладывается на достаточно длительное время, в результате пробоя может зажечься разряд, который будет гореть, пока действует поле. Так происходит в любых электрических полях. Предел, до которого нарастает ионизация, диктуется конкретными условиями.

Явление пробоя имеет резко выраженный *пороговый* характер. Это значит, что пробой происходит только при полях, превышающих определенное для каждого

конкретных условий значение. Существование порога связано с резкой зависимостью скорости ионизации атомов электронным ударом от значения поля и тем, что наряду с ионизацией, обеспечивающей размножение электронов, имеются механизмы, которые ставят препятствия на пути развития лавины [6].

1.3. Определение возможных значений электрического поля на высотах 70-100 км

При проведении расчетов будем использовать выражение для зависимости квазистационарного электрического поля от высоты (2) и известное выражение

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 h^2} \quad (1.2)$$

Значения концентраций указаны в Таблице 1.1.

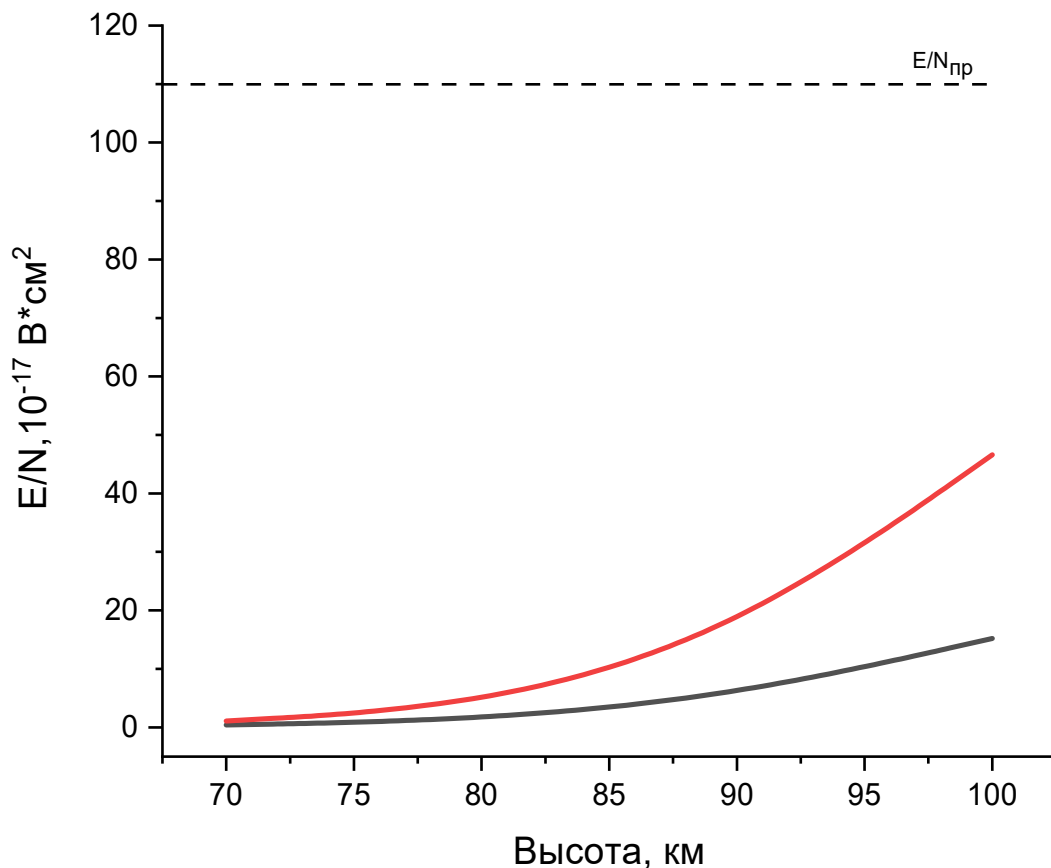
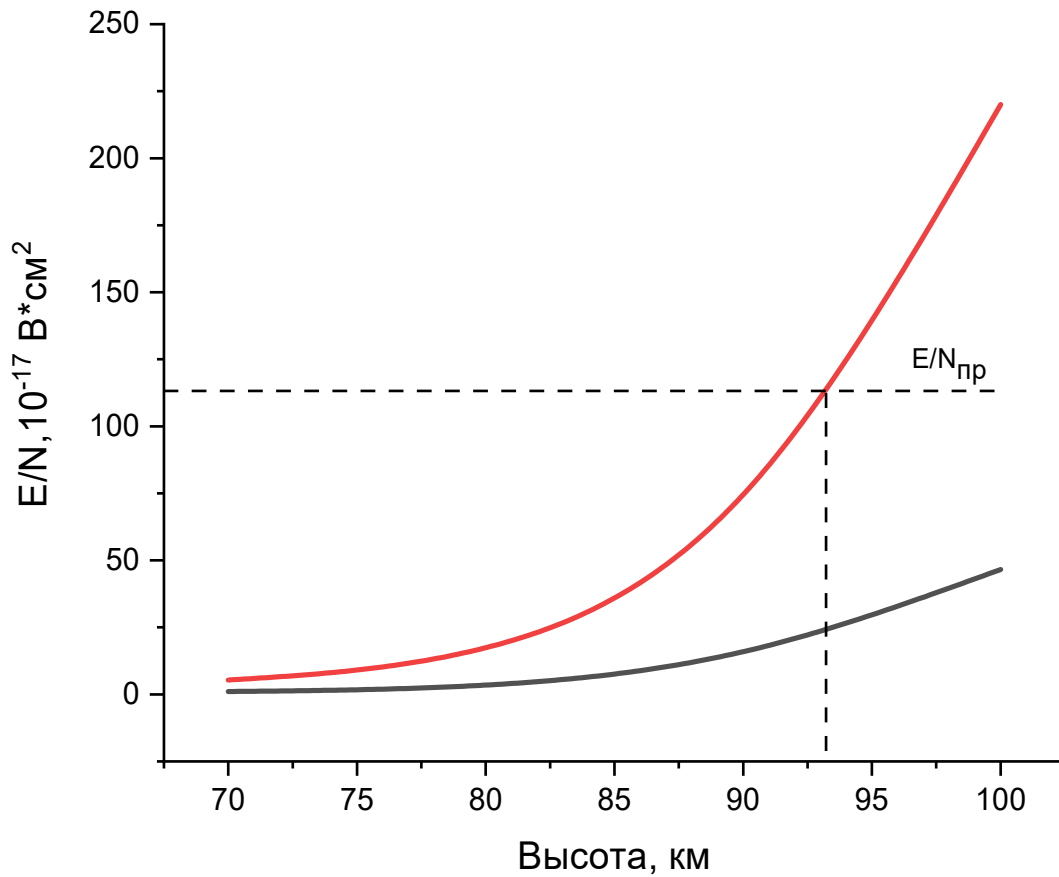


Рисунок 1.3. График зависимости величины E/N от высоты. ($Q = 1$ Кл, красная линия – ф-ла (1.2), черная – (1), линия пунктиром соответствует пробойному значению $E/N_{пр} = 110 \cdot 10^{-17} \text{ В} \cdot \text{см}^2$)



*Рисунок 1.4. График зависимости величины E/N от высоты. ($Q = 5$ Кл, красная линия – ф-ла (1.2), черная – (1) линия пунктиром соответствует пробойному значению $E/N_{пр} = 110 \cdot 10^{-17} \text{ В*см}^2$)*

На приведенных выше графиках отчетливо наблюдается отклонение между посчитанными двумя различными способами значениями E/N . Анализируя результаты, приходим к выводу, что величина отклонения увеличивается с высотой. С увеличением заряда Q расхождение значений происходит намного быстрее.

Проведя на рисунках 1.3 и 1.4 линии соответствующие обычному пробойному значению $E/N = 110 \cdot 10^{-17} \text{ В*см}^2$ видно, что заряд облака в 1 Кл пробой обеспечить не может ни по одной из формул. Значения E/N слишком низкие. Заряд 5 Кл на высоте порядка 93 км может обеспечить пробой для классической формулы (1.2), где и наблюдаются спрайты, на высоте 93 км. Пробой по формуле (1) произойти может при E/N порядка $30 \cdot 10^{-17} \text{ В*см}^2$.

Для объяснения этого факта можно предположить, что существенно меняются процессы гибели электронов на высотах 93 и 0 км (кислород составляет 22% от молекулярного состава).

На высоте 0 км концентрация молекул кислорода составляет $5,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, а на высоте 93 км $6,44 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$, поэтому можно предположить, что процессы прилипания электронов к молекулам кислорода



где O_2^- - отрицательный ион кислорода (число электронов уменьшается в этой реакции), идут значительно медленнее на высоте, чем у земли. Поэтому остается больше свободных электронов, которые могут участвовать в пробое [2].

Итоги работы

В работе были представлены зависимости температуры и концентрации частиц от высоты.

Рассчитаны по формулам (1) и (1.2) поля на различных высотах и получены значения E/N . Результаты представлены в виде графиков.

Так как информация о характеристиках плазмы воздуха на разных высотах в разных условиях имеет большое значение для подготовки летных испытаний с применением различных газоразрядных устройств, для разработки и использования различных устройств позиционирования в ионосфере, данная информация актуальна, как с теоретической, так и практической точек зрения, поскольку позволяют взглянуть на механизмы процессов, имеющих место в нижней ионосфере, то значение E/N необходимо получать с высокой степенью точности. Из рисунков 1.3 - 1.4 видно, что порядки величины поля на низких высотах (в работе нижняя грань - 70 км) совпадают, но ситуация быстро меняется с увеличением высоты. Поэтому для более точного изучения поля на высотах 70 – 100 км формула (1.2) не подходит из-за своей идеализации. В то время как формула (1) учитывает поляризационный эффект в ионосфере.

Список литературы

- [1] Yu.P.Raizer, G.M.Milikh, M.N.Shneider и S.V.Novakovski, «Appl. Phys.» *J. Phys.*, pp. 31, 3255, 1998.
- [2] Yu.P. Raizer, G.M. Milikh и M.N. Shneider, «Res.» *J. Geophys.*, p. 115, 2010.
- [3] N.V. Ardelyan, V.L.Bychkov, I.V.Kochetov and K.V.Kosmachevskii, "Monitoring and Ball Lightning," in *The Atmosphere and Ionosphere: Elementary Processes*, 2014, p. 69.
- [4] N.V. Ardelyan, V.L.Bychkov, S.A. Volkov, K.V.Kosmachevskii and I.V.Kochetov, *Khimich. Fizika*, 2015.
- [5] *МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ АТМОСФЕРА СТАНДАРТНАЯ*, 1982.
- [6] Ю. Райзер, «Разряды разных типов,» в *Физика газового разряда*, 2 ред., Москва, Наука, 1992.