

АНИЗОТРОПИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПРОЦЕССОВ, НАБЛЮДАЕМАЯ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ, МОЖЕТ БЫТЬ ЯВЛЕНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО МАСШТАБА

Введение

В [1] в результате наблюдения ионизованных метеорных следов были получены экспериментальные данные, которые свидетельствовали о существовании сильной анизотропии двух параметров ионизованного метеорного следа: коэффициента амбиполярной диффузии D_a и начального радиуса метеорного следа r_0 .

Величина этих двух параметров ионизованного метеорного следа, измеренная для вертикально и горизонтального направления, существенно отличалась. Объяснить наблюдаемый эффект методическими ошибками, влиянием постоянного магнитного поля Земли, а также влиянием известных магнитных и электрических полей различного происхождения не представлялось возможным.

Поскольку эти параметры метеорного следа, D_a и r_0 , связаны определенным образом известными соотношениями с параметрами атмосферы ($D_a \sim \lambda v$, а $r_0 \sim \lambda$, где v – хаотическая скорость молекул атмосферы, а λ – длина свободного пробега молекул) была высказана гипотеза [1] о возможности существования в атмосфере Земли анизотропии молекулярных процессов.

Тогда подавалась заявка на предполагаемое открытие. Однако Комитет по делам изобретений и открытий СССР в своем решении №32-ОТ-10330 от 19.05.83 г. признал открытие недоказанным, носящим дискуссионный характер, и рекомендовал провести дальнейшие исследования этого эффекта.

Поскольку экспериментальные данные [1] были получены в результате наблюдения ионизованных метеорных следов, притом на высоте ~ 90 км, где атмосфера частично ионизована, то для однозначных выводов необходимо было получить экспериментальные данные для условий отсутствия влияния электрических и магнитных полей любого происхождения.

Поэтому в дальнейшем проверка гипотезы [1] проводилась в условиях нейтральной атмосферы, где отсутствовало действие магнитных и электрических полей различного происхождения. На высоте до 100 м измерения проводились с помощью дистанционного акустического моностатического зондирования атмосферы [2]. Измерялась фаза акустического сигнала φ , обратно пропорциональная хаотической скорости молекул v $\left(\varphi \sim \frac{1}{v} \right)$, для различных углов места β . Полученные многочисленные измерения с помощью акустического зондирования подтвердили факт существования анизотропии хаотической скорости v молекул атмосферы и на этих высотах – до ~ 100 м.

Позже измерения хаотической скорости v молекул атмосферы проводились контактным способом [3] путем непосредственного измерения величины хаотической скорости молекул для различных направлений. Измерения проводились на высоте 1,5 м на полигоне и на высоте ~ 20 м в условиях города.

В результате многочисленных исследований [3] был подтвержден факт существования анизотропии хаотической скорости молекул на высоте 1,5 и 20 м прямыми измерениями хаотической скорости молекул. Кроме того, в результате этих измерений анизотропии хаотической скорости молекул контактным способом было обнаружено еще два новых эффекта анизотропии молекулярных процессов: эффект различия величины хаотической скорости молекул, летящих вверх и вниз [4], и эффект различия хаотической скорости молекул в потоке горизонтального ветра для молекул, летящих по ветру и против ветра [5].

Таким образом, в результате многолетних исследований на различных высотах различными способами была подтверждена гипотеза [1] о возможности существования в атмосфере Земли нового явления – явления анизотропии молекулярных процессов, которое проявляется тремя эффектами: эффектом различия среднего значения хаотической скорости молекул v и длины свободного пробега молекул λ для вертикального и горизонтального направления; эффектом различия величины хаотической скорости молекул, летящих вверх и вниз; эффектом различия хаотической скорости молекул в потоке горизонтального ветра, летящих по ветру и против ветра.

В результате теоретических и экспериментальных исследований был раскрыт механизм, вызывающий наблюдаемые эффекты анизотропии молекулярных процессов в атмосфере [6, 7]. В частности, он связан с действием сил гравитации на скорости молекул, летящих вверх и вниз, вязкости атмосферы, длины свободного пробега молекул и другими факторами.

На основании теоретических [8] и экспериментальных [9] исследований было обнаружено новое свойство молекул любой нейтральной газовой среды, позволяющее наблюдать различие в хаотической скорости молекул при столь высокой плотности атмосферы (так, если на высоте ~ 90 км длина свободного пробега молекул составляет всего ~ 2 см, то на высоте 1 м от поверхности Земли длина свободного пробега молекул в $1 \cdot 10^6$ раз меньше). Суть нового свойства молекул любой нейтральной газовой среды состоит в способности молекул любой нейтральной газовой среды сохранять достаточно длительное время величину и направление скорости, полученные ими от внешнего источника, и таким образом передавать кинетическую энергию в любом заданном направлении.

Это свойство молекул, в свою очередь, связано с тем [8], что основной поток кинетической энергии, заданный внешним источником, при упругом столкновении молекул происходит в направлении центрального столкновения шаров (молекул).

Это свойство молекул позволяет в условиях хаотического движения молекул газовой среды наблюдать любой дисбаланс скорости в хаотическом движении молекул независимо от состава нейтральной газовой среды и от фактора, который вызывает этот дисбаланс в хаотическом движении молекул.

В настоящей статье попытаемся определить закономерность, по которой происходит затухание скорости молекул в направлении центрального удара (столкновения), с тем, чтобы иметь представление о количественной стороне этого свойства молекул.

Методика анализа

Итак, для более полного представления об этом новом свойстве молекул нейтральной газовой среды были проведены теоретические расчеты с целью определения закона, по которому затухает скорость молекул, полученная ими от внешнего источника, в основном направлении, т.е. в направлении центрального удара при упругом столкновении молекул.

В [10] рассматривается рассеяние молекулярного пучка в газе за счет столкновения молекул пучка с молекулами газа при прохождении пучка через газ.

Рассматривается некоторое число молекул, обладающих определенной скоростью, величина и направление которой одинакова для всех молекул (молекулярный пучок).

Из-за столкновения с молекулами газа часть молекул пучка будет изменять направление своего движения (рассеиваться) и выбывать из пучка. По мере продвижения через газ число молекул, покинувших пучок, будет возрастать, а число частиц в пучке будет постоянно уменьшаться, пучок будет как бы «таять», теряя частицы.

В [10] представлен закон, согласно которому происходит ослабление пучка в газе: число частиц в пучке N с ростом толщины слоя X , пронизываемого им газа, уменьшается по экспоненциальному закону:

$$N = N_0 e^{-\frac{X}{\lambda}}, \quad (1)$$

где λ – длина свободного пробега молекул газа.

По аналогии с [10] мы рассмотрели затухание скорости пучка, состоящего из N молекул, имеющих одинаковую величину скорости и одинаковое направление, при прохождении этим пучком газовой среды, с тем, чтобы определить, через какое число столкновений каждая молекула пучка потеряет свою первоначальную скорость до определенного значения (например, уменьшится в 10 раз). При этом принималось во внимание, что каждая молекула пучка сталкивается с молекулой газовой среды под определенным углом, который имеет случайное значение в пределах от 0° до 45° .

Из рис. 1, где схематично представлено столкновение двух упругих шаров (молекул), следует, что молекула (шар) с массой m_1 , имея скорость v_1 , сталкиваясь с молекулой (шаром) с массой m_2 под углом α , потеряет свою первоначальную скорость до значения $v'_2 = v_1 \cos^2 \alpha$. Молекула, имея после столкновения скорость $v'_2 = v_1 \cos^2 \alpha$, при следующем столкновении будет иметь скорость $v''_2 = v'_2 \cos^2 \alpha_2$, а после последующего столкновения ее скорость будет равна $v'''_2 = v''_2 \cos^2 \alpha$ и т.д.

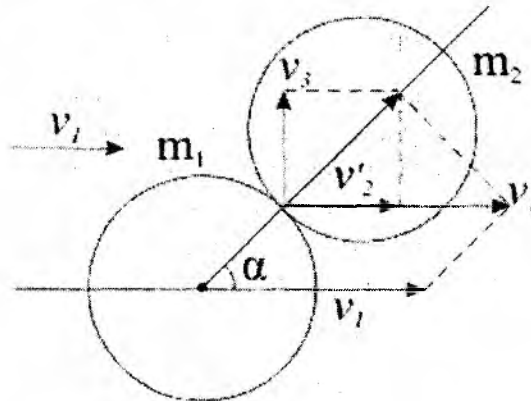


Рис. 1. Схема «касательного» удара столкновения шаров

В табл. 1 представлена зависимость величины $\cos^2 \alpha$ от угла α через каждые 5° от 0° до 45° .

Таблица 1

α	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	ср.зн.
$\cos^2 \alpha$	1	0,992	0,962	0,931	0,888	0,810	0,757	0,672	0,593	0,520	$\sim 0,8$

Из таблицы следует, что после каждого столкновения среднее значение скорости пучка будет уменьшаться на величину, равную $\sim 0,8$ и будет определяться соотношением

$$v_N = v_0 0,8^N, \quad (2)$$

где число $0,8$ – среднее значение $\cos^2 \alpha$ для углов α от 0° до 45° , N – номер столкновения, v_0 – начальная скорость молекул пучка.

Зависимость (2) представлена в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$0,8^N$	1	0,8	0,64	0,512	0,409	0,327	0,262	0,206	0,167	0,134	0,107
$v_0 \cdot 0,8^N$	10	8,0	6,4	5,12	4,09	3,27	2,62	2,09	1,67	1,34	1,07

Таким образом, для конкретного случая, когда число молекул в пучке равно 10 ($N = 10$), скорость молекул согласно (2) уменьшится в 10 раз через 10 столкновений каждой молекулы пучка с газовой средой, через которую они проходят.

В этой связи интересно отметить следующий факт. Как известно, при образовании ионизованного метеорного следа вследствие столкновения метеорной частицы с молекулами атмосферы создается кинетический поток вдоль пути движения метеорной частицы.

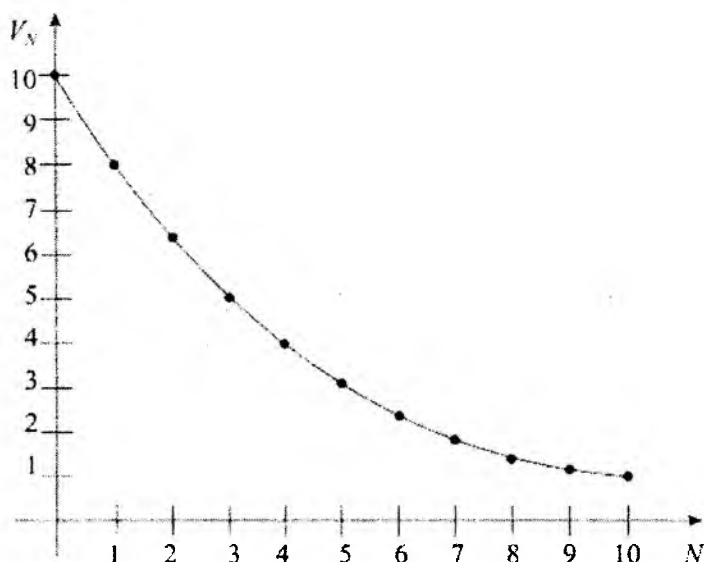


Рис. 2. Зависимость скорости в пучке (V_N) от номера столкновения (N)

Дело в том, что метеорные частицы, влетая в атмосферу Земли со скоростью порядка 30–70 км/с, сталкиваются с молекулами атмосферы, нагреваются до температуры испарения атомов с поверхности частицы. Испарившиеся атомы вначале имеют направление и величину скорости метеорной частицы. Затем в результате столкновения с молекулами атмосферы они теряют величину и направление скорости, в результате чего ионизованный метеорный след расширяется до размера так называемого начального радиуса r_0 .

Если здесь действует этот закон ($v_N = v_0 \cdot 0,8^N$), то расширение ионизованного метеорного следа закончится, как только атомы, испарившиеся с поверхности метеорной частицы, потеряют свои скорости до значения хаотической скорости молекул атмосферы, окружающей метеорный след. Если принять среднюю скорость метеорной частицы равную ~ 40 км/с, а хаотическую скорость молекул атмосферы на метеорных высотах ~ 350 м/с, то, согласно представленному здесь закону (2), потеря скорости атомами, испарившимися с поверхности метеорной частицы, до уровня хаотической скорости молекул атмосферы (~ 350 м/с) произойдет примерно через 100 столкновений. На метеорных высотах длина свободного пробега молекул λ составляет примерно 2 см. Следовательно, за 100 столкновений метеорный след расширяется до $2 \times 100 \sim 2$ м. В действительности ионизованные метеорные следы на этих высотах, согласно [1], имеют величину начального радиуса 1–3 м. Такой факт является в определенной степени подтверждением установленного закона (2).

Поскольку потеря скорости молекулами пучка происходит за счет передачи этой скорости молекулам в направлении, перпендикулярном основному направлению пучка на одну и ту же величину (0,8), то после каждого столкновения молекул пучка с молекулами среды, через которую он проходит, вдоль движения пучка молекул будет всегда существовать анизотропия скорости молекул примерно одной и той же величины.

Следовательно, при подобном потоке пучка молекул в газовой среде должна наблюдаться анизотропия хаотической скорости молекул в потоке таким образом, что в основном направлении потока пучка хаотические скорости молекул будут отличаться от хаотических скоростей молекул, движущихся в перпендикулярном направлении пучку и во встречном направлении, и потому на всем пути движения пучка величина анизотропии хаотической скорости молекул будет сохранять примерно одну и ту же величину.

Выводы

На основании представленного в статье анализа полученных ранее результатов, связанных с существованием в атмосфере Земли анизотропии молекулярных процессов, а также на

основании представленных здесь новых сведений о закономерности затухания скорости молекул в пучке, можно сделать следующий вывод:

Поскольку наблюдаемое новое явление в атмосфере Земли – анизотропия молекулярных процессов, – связано с существованием определенного свойства молекул любой нейтральной газовой среды сохранять достаточно длительное время величину и направление скорости, полученные ими от внешнего источника, и таким образом передавать кинетическую энергию в любом, заданном внешним источником, направлении, создавая определенную анизотропию в хаотической скорости молекул вдоль движения этого энергетического потока, то независимо от того, где бы ни находилась эта нейтральная газовая среда в мировом пространстве, какими бы факторами не вызывались кинетические потоки, всегда вдоль движения этих потоков должна существовать анизотропия молекулярных процессов.

Список литературы: 1. Делов И.А. Анизотропия параметров ионизованного метеорного следа, связанных с молекулярными процессами в атмосфере. Изв. АН СССР. Геомагнетизм и аэрономия. 1966, Т.26, №2. С.265-268. 2. Делов И.А., Слипченко Н.И. Результаты экспериментальных исследований анизотропии молекулярных процессов атмосферы с помощью акустического зондирования // Прикладная радиоэлектроника. 2004. Т. 3, №3. С. 27-36. 3. Бондаренко М.Ф., Слипченко Н.И., Делов И.А., Леонидов А.В. Результаты измерений анизотропии температуры атмосферы в приземном слое Земли контактным способом // Прикладная радиоэлектроника. 2005. Т.4, №4. С. 383-393. 4. Делов И.А., Слипченко Н.И., Леонидов А.В. Анизотропия вертикальной составляющей хаотической скорости молекул атмосферы Земли // Радиотехника. 2007. Вып. №148. С. 288–298. 5. Делов И.А., Слипченко Н.И., Леонидов А.В. Эффект анизотропии хаотической скорости молекул, связанной с горизонтальным ветром. Результаты экспериментальной проверки гипотезы // Радиотехника. 2008. Вып. 152. С.97–104. 6. Делов И.А., Слипченко Н.И., Леонидов А.В. К вопросу о влиянии силы тяжести и плотности атмосферы на величину вертикальной составляющей хаотической скорости молекул // Радиотехника. 2006. Вып. № 125. С. 22–28. 7. Делов И.А., Слипченко Н.И., Леонидов А.В. О механизме, вызывающем наблюдаемый эффект анизотропии молекулярных процессов в атмосфере Земли // Радиотехника. 2007. Вып. 149. С.89–98. 8. Делов И.А., Слипченко Н.И., Леонидов А.В. К вопросу об одном свойстве газовой среды // Радиотехника. 2007. Вып. 150. С. 22–28. 9. Делов И.А., Слипченко Н.И., Леонидов А.В. Об одном свойстве нейтральной газовой среды. Результаты экспериментальной проверки гипотезы // Радиотехника. 2008. Вып. 153. С. 121–129. 10. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика. Учеб. пособие для физических институтов и факультетов. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит. 1963. 500 с.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 14.01.2010