

## К ВОПРОСУ ОБ ОДНОМ СВОЙСТВЕ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ

Многочисленные экспериментальные данные [1–4], полученные на различных высотах и различными способами свидетельствуют о существовании в атмосфере Земли двух новых, ранее неизвестных эффектов – эффектов анизотропии молекулярных процессов. Один из них свидетельствует о том, что величины хаотической скорости молекул в вертикальном и горизонтальном направлениях различны. В соответствии с другим величина хаотической скорости молекул, лежащих вверх и вниз, неодинакова. Эффекты эти явно выражены, изменяются со временем суток, со временем года, с погодными условиями и с высотой. Ни методические, ни аппаратурные ошибки не способны объяснить наблюдаемые эффекты, и потому факт существования их можно считать реальным.

Выполненные специальные теоретические [5] и экспериментальные [6] исследования позволили раскрыть механизм, вызывающий эти эффекты. Согласно этим работам, им является действие одновременно трех факторов на вертикальные скорости молекул: Земного ускорения ( $g$ ), градиента плотности атмосферы ( $\rho$ ) и длины свободного пробега молекул ( $\lambda$ ).

На рис. 1 представлены в качестве иллюстрации экспериментальные данные, полученные в [1–3], которые свидетельствуют о существовании эффекта различия хаотической скорости молекул ( $v$ ) и длины свободного пробега молекул ( $\lambda$ ) в вертикальном и горизонтальном направлении.

На рис. 1, а представлена экспериментальная зависимость коэффициента амбиполярной диффузии ( $D_a$ ) и начального радиуса метеорного следа ( $r_0$ ) от угла  $\alpha$  (где  $\alpha$  – угол между вертикалью и направлением радиолуча). Эти величины связаны с длиной свободного пробега молекул ( $\lambda$ ) и хаотической скоростью молекул ( $v$ ) известными соотношениями:  $D_a \sim \lambda v$ , а величина  $r_0 \sim \lambda$ . При отсутствии анизотропии этих величин на графиках их зависимости должны быть представлены линиями, параллельными оси  $X$ . Представленные на рис. 1, а данные получены в результате радиолокации ионизованных метеорных следов [1].

На рис. 1, б представлены экспериментальные данные временной зависимости фазы акустического эхо-сигнала ( $\varphi$ ), полученные в результате акустического импульсного моностатического зондирования пограничного слоя атмосферы одновременно в трех различных по углу  $\alpha$  (где  $\alpha$  – угол между вертикалью и направлением зондирования) направлениях: в вертикальном –  $\Delta$  и под углом  $\alpha = 22^\circ$  от вертикали в двух противоположных по азимуту направлениях (в западном –  $\oplus$  и восточном –  $\bullet$ ). Здесь фаза ( $\varphi$ ) обратно пропорциональна хаотической скорости молекул ( $v$ ), т.е.  $\varphi \sim \frac{1}{v}$ . Результаты [2] получены 20.03.2004 г. В случае отсутствия анизотропии величины  $v$ , кривые, полученные для вертикального направления и под углом  $\alpha = 22^\circ$ , должны совместиться.

На рис. 1, в показана временная зависимость температуры атмосферы, измеренная одновременно для вертикального (+) и горизонтального (•) направлений. Результаты получены путем непосредственного измерения температуры атмосферы (точнее, сопротивления  $R$ , пропорционального температуре) с помощью специально разработанного устройства [3], на высоте  $\approx 20$  м в г. Харькове 17.11.2004 г. В случае отсутствия анизотропии кривые на рис. 1, в должны совместиться.

На рис. 1, г представлены экспериментальные зависимости сопротивления температуры  $R$ , обратно пропорционального температуре воздуха. Эти данные получены в результате измерения температуры воздуха одновременно в вертикальном и горизонтальном направлениях

в течение времени с 1300 до 1400. Измерения проводились 23.08.2005 г. на полигоне на высоте 1,5 м. В случае отсутствия анизотропии температуры представленные зависимости на рис. 1, 2 должны были совместиться.

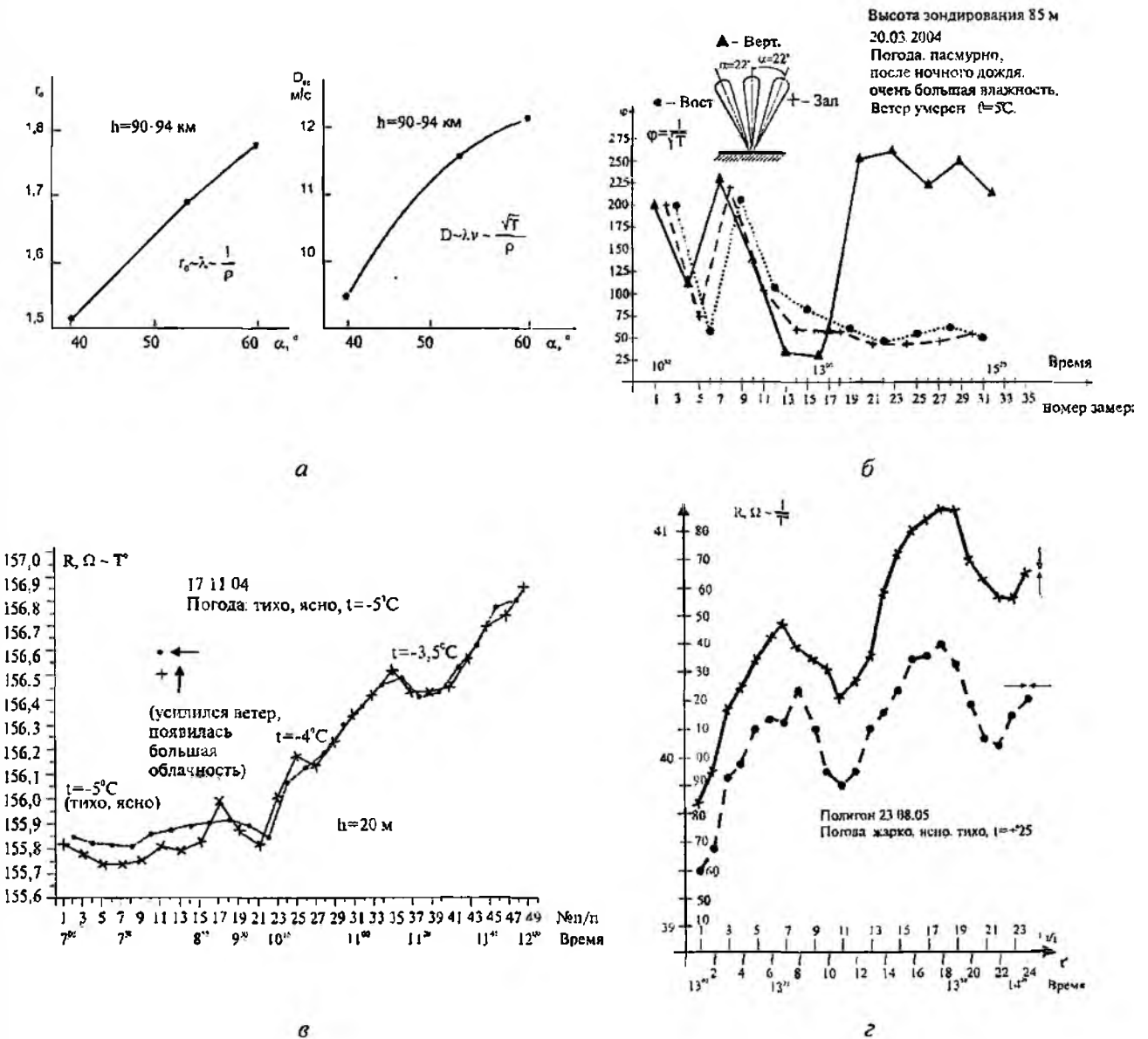
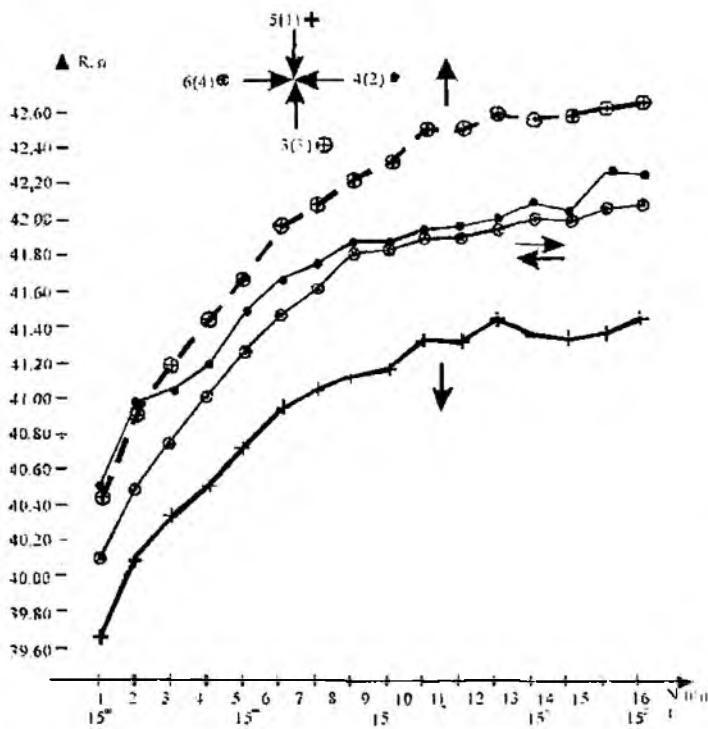


Рис. 1

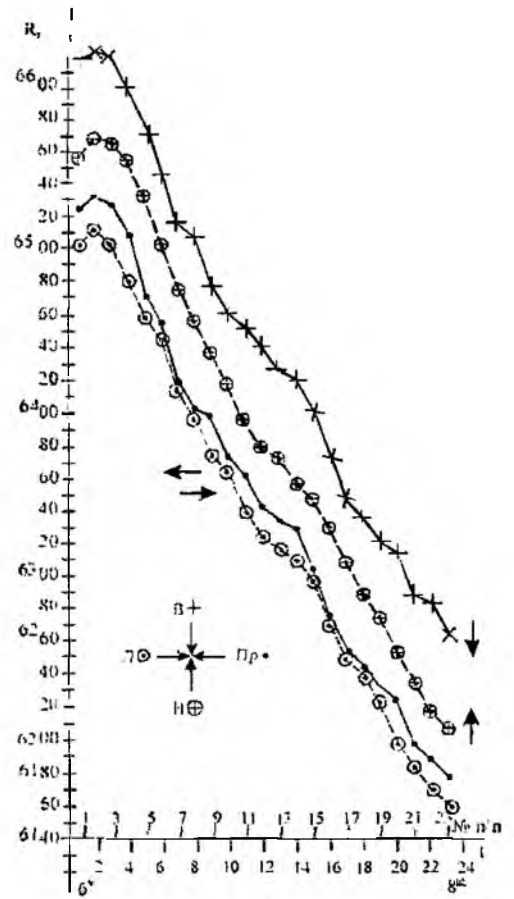
Рис. 1 является лишь фрагментом из многочисленных экспериментальных данных [1–4], которые свидетельствуют о существовании на указанных высотах явно выраженного различия величины хаотической скорости молекул ( $\nu$ ) и длины свободного пробега молекул ( $\lambda$ ) для вертикального и горизонтального направления.

На рис. 2, а, б представлены экспериментальные данные, иллюстрирующие существование второго эффекта в атмосфере – эффекта различия хаотической скорости молекул для молекул, летящих вверх и вниз. На рис. 2, а представлена экспериментальная зависимость температуры (вернее, сопротивления термистора, обратно пропорционального температуре воздуха), измеренная одновременно в четырех направлениях 14.09.2005 г. на полигоне на высоте 1,5 м специально разработанным термометром [4], который позволяет измерять температуру воздуха одновременно в четырех направлениях для молекул, летящих сверху (+), снизу ( $\oplus$ ), справа

(•) и слева (⊙). Как следует из рис. 2, а, для горизонтально летящих молекул значения температуры примерно совпадают, тогда как для молекул, летящих вверх и вниз, значения ее существенно отличаются.



а



б

Рис. 2

На рис. 2, б представлена экспериментальная зависимость для температуры атмосферы, полученная таким же образом, как и на рис. 2, а, но в других условиях: в Харькове на высоте ~ 20 м 21.08.2006 г. Рис. 2, б также иллюстрирует различие температуры, измеренной для молекул, летящих вниз и вверх.

Итак, рис. 2, а, б свидетельствуют о существовании в атмосфере Земли другого эффекта – эффекта различия скорости для молекул, летящих вниз и вверх.

В работе [5] теоретически раскрыт механизм, вызывающий наблюдаемые эффекты, а в работе [6] этот механизм экспериментально подтвержден.

Дальше вопрос стоит так: каким образом при хаотическом движении молекул и при столь малой длине свободного пробега молекул ( $\lambda$ ) (на высоте ~ 95 км  $\lambda = 2$  см, а на высоте ~ 1 м ее величина на несколько порядков меньше, чем на высоте ~ 95 км) мы можем столь длительное время наблюдать проявление описанных эффектов.

Вероятно, здесь нужно допустить существование какого-то неизвестного свойства газа, позволяющего нам наблюдать эти эффекты. Это свойство газа должно, по-видимому, состоять в его способности передавать направленно кинетическую энергию через его среду, поступающую направленно от внешнего источника в любом, заданном этим внешним источником направлении, без существенных искажений.

Для того чтобы раскрыть этот механизм, мы рассмотрели передачу кинетической энергии через газ при упругом столкновении молекул, т.е. без потерь кинетической энергии при столкновении. Молекулы газа мы приняли за шары одинакового размера и массы. Сначала мы рассмотрели передачу кинетической энергии от горизонтально летящих молекул

к вертикальным движениям молекул. При столкновении молекул мы имеем дело либо с центральным ударом (когда центры шаров совпадают с направлением летящей молекулы), либо с «косым» ударом (под некоторым углом к направлению движения молекул). Причем, столкновения рассматривались с неподвижными молекулами. При центральном столкновении двух молекул (шаров) – (рис. 3), летящая молекула  $m_1$  может полностью передать свою кинетическую энергию неподвижной молекуле  $m_2$  в том же направлении, в котором молекула  $m_1$  летела. При «косом» ударе только часть кинетической энергии молекулы  $m_1$  передается в перпендикулярном основному направлению, а часть – в прямом направлении (рис. 4).

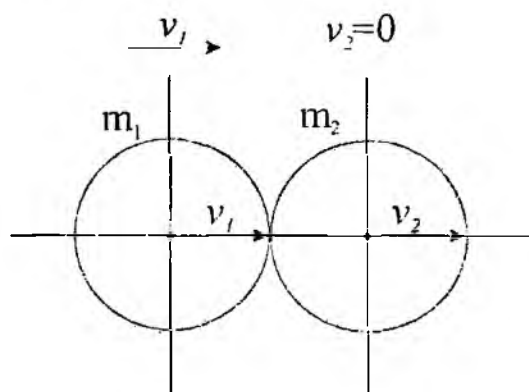


Рис. 3

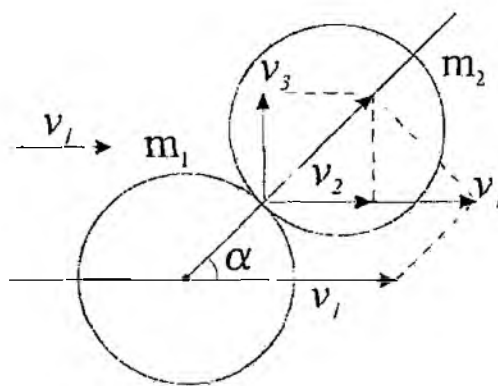


Рис. 4

Элементарные расчеты показывают, что максимальная величина скорости при «косом» столкновении двух молекул (шаров), которая передается в перпендикулярном основному направлению (в дальнейшем «боковая скорость»), не будет превышать  $1/2$  скорости основного направления. Причем, эта максимальная величина будет наблюдаться при столкновении двух молекул под углом  $45^\circ$ . Это следует из рис. 4, где схематично представлено столкновение двух шаров  $m_1$  и  $m_2$ , причем, шар  $m_2$  неподвижен. В этом случае «боковая скорость» ( $v_3$ ) будет определяться как

$$v_3 = v_1 \cos \alpha \sin \alpha, \quad (1)$$

а ее величина не будет превышать  $0,5v_1$  и это значение боковые скорости будут иметь при «косом» столкновении под углом  $\alpha = 45^\circ$  к основному направлению.

При столкновении трех шаров, два из которых летят в горизонтальном направлении навстречу друг другу со скоростью  $v_1$  и  $v_2$ , а третий – неподвижен, максимальная боковая скорость при «косом» столкновении этих трех шаров будет  $v_3 = 0,5v_1 + 0,5v_2$ . Если  $v_1 = v_2$ , то тогда  $v_3 = v_1 = v_2$ , т.е. при одинаковой величине  $v_1$  и  $v_2$  боковые скорости будут равны центральной, как это показывает рис. 5.

Итак максимальная величина скорости, передаваемая от горизонтально летящих молекул к молекулам, летящим перпендикулярно горизонтальному направлению, при двойном «косом» столкновении составляет  $0,5v$ , а при тройном столкновении (два шара (молекулы) летящие навстречу друг другу, сталкиваются при «косом» ударе с неподвижным шаром – молекулой)  $v$ , может достигать скорости горизонтально летящих молекул (при этом принимается, что скорости шаров (молекул), летящих навстречу друг другу, равны между собой).

Передача скорости молекул от горизонтально летящих в прямом направлении к молекулам, летящим навстречу им, происходит через вертикальные движения точно так же, как происходит передача скорости от горизонтально летящих молекул к вертикально летящим. Здесь роль горизонтально летящих молекул играют вертикально летящие молекулы. Схематично это представлено на рис. 6.

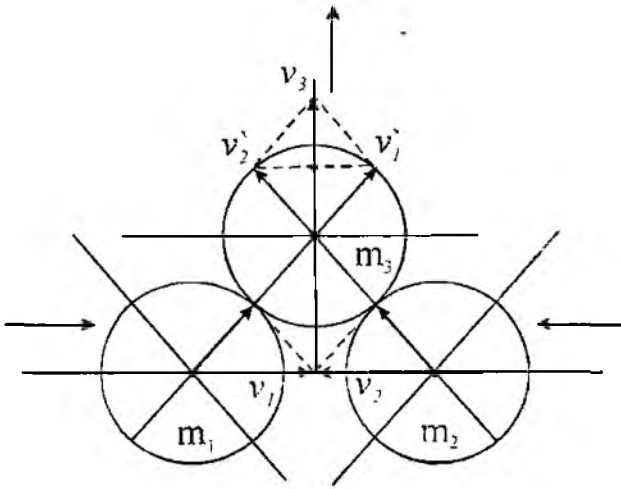


Рис. 5

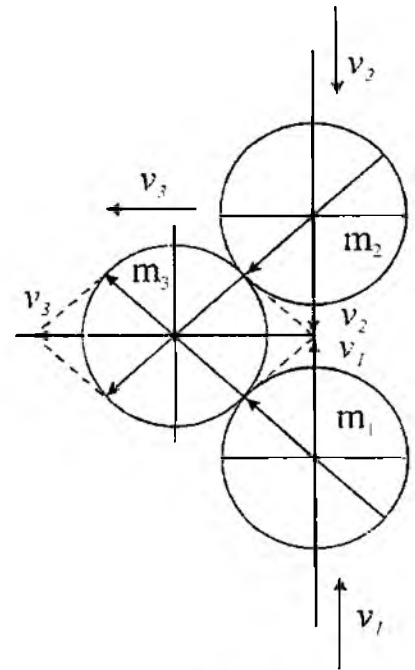


Рис. 6

Таким образом, при таком тройном столкновении встречно летящие молекулы получают дополнительно скорости от вертикально летящих молекул, которые станут равными вертикальным скоростям. А так как вертикальные скорости в результате тройных столкновений горизонтально летящих молекул с вертикально летящими стали равны горизонтально летящим, то выходит, что все скорости молекул во всех направлениях должны со временем стать практически одинаковыми по величине. Но если мы здесь учтем фактор различия частоты тройных и двойных столкновений, то оказывается, из-за того, что число двойных и тройных столкновений в единицу времени различно, то среднее значение этих скоростей, измеряемое каждое мгновение, будет различно.

Среднее значение хаотической скорости молекул  $v_{cp}$  для каждого направления определяется выражением

$$v_{cp} = \frac{\sum v_{n1} + v_{n2} + \dots + v_{nm}}{n} \quad (2)$$

В этом случае, поскольку число тройных столкновений [7] в единицу времени меньше, чем двойных, то для направления, перпендикулярного основному направлению, поскольку для этого направления добавочные скорости образуются за счет тройных столкновений, среднее значение скорости будет всегда меньше, чем для основного (горизонтального), для которого передача кинетической энергии от молекулы к молекуле происходит при двойном столкновении.

Выше мы отметили, что точно так же происходит передача кинетической энергии от вертикально летящих молекул к встречным. Здесь роль горизонтально летящих молекул будут выполнять вертикально летящие молекулы, а роль боковых – встречно летящие. Поскольку передача кинетической энергии здесь между молекулами для вертикального направления происходит при двойном столкновении, а для встречного направления – при тройном, то можно заключить, что средняя величина измеряемой скорости молекул для встречного направления всегда будет меньше, чем для вертикального направления, а вертикально летящие молекулы будут иметь, как показано выше, меньшие скорости, чем скорости горизонтально летящих молекул.

Сказанное схематично поясняется рис. 7.

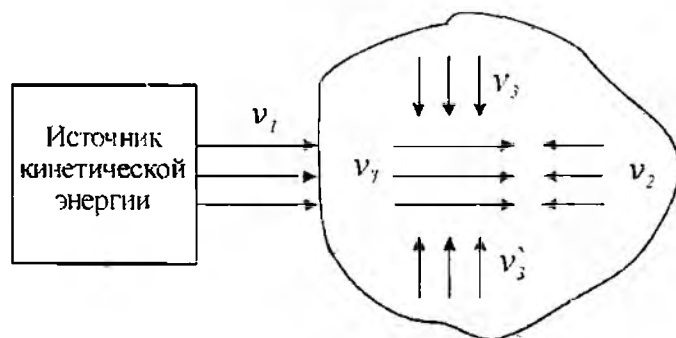


Рис. 7

Мы рассмотрели передачу кинетической энергии через газовую среду. в исходном состоянии молекулы которой были неподвижны. Однако картина передачи кинетической энергии через газовую среду не изменится, если молекулы ее в исходном состоянии будут находиться в хаотическом движении. В данном случае через газовую среду будут передаваться изменения той составляющей хаотической скорости молекул, в направлении которой поступают изменения кинетической энергии извне.

На основании представленного выше анализа, можно сформулировать следующую гипотезу.

Всякий нейтральный газ должен обладать свойством упорядоченно передавать молекулами газа кинетическую энергию, поступающую от внешнего источника, в любом, заданном этим источником направлении, сохраняя это направление. и создавая определенную анизотропию в хаотическом движении молекул в этом потоке таким образом, что в заданном внешним источником направлении средняя скорость движения молекул будет отличаться от средней скорости молекул в направлении, перпендикулярном заданному направлению и во встречном направлении в ту или иную сторону в зависимости от знака заданного потока кинетической энергии.

Таким образом. эта гипотеза позволяет объяснить. каким образом нам удается наблюдать обнаруженные новые эффекты анизотропии молекулярных процессов в атмосфере Земли.

Сформулированная гипотеза в ближайшее время будет проверяться экспериментально.

**Список литературы:** 1. Делов И.А. Анизотропия параметров ионизованного метеорного следа, связанных с молекулярными процессами в атмосфере // Изв. АН СССР. Геомагнетизм и аэрономия. 1986. Т. 26, №2. С. 265–268. 2. Делов И.А., Слитченко 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., Слитченко 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., Слитченко Н.И., Леонидов А.В. Анизотропия вертикальной составляющей хаотической скорости молекул атмосферы Земли // Радиотехника: Всеукр. науч.-техн. сб. 2007. Вып. № 148. С. 288–298. 5. Делов И.А., Слитченко Н.И., Леонидов А.В. К вопросу о влиянии силы тяжести и плотности атмосферы на величину вертикальной составляющей хаотической скорости молекул // Радиотехника: Всеукр. науч.-техн. сб. 2006. Вып. № 125. 6. Делов И.А., Слитченко Н.И., Леонидов А.В. О механизме, вызывающем наблюдаемый эффект анизотропии молекулярных процессов в атмосфере Земли // Радиотехника: Всеукр. науч.-техн. сб. 2007. Вып. 7. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика: Учеб. пособие для физических институтов и факультетов. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1963. 500 с.

Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 06.08.2007