

ОБ ОДНОМ ПАРАДОКСЕ В ТЕОРИИ СВЕТОИНДУЦИРОВАННОГО ДРЕЙФА ГАЗОВ

В.И. Комов

УДК 533.15

Рассматривается парадокс в теории светоиндуцированного дрейфа газов, связанный со смещением центра масс газовой смеси. Показано, что смещение центра масс происходит из-за передачи импульса газу от стенок сосуда.

В [1,2] было теоретически предсказано и в [3] экспериментально обнаружено новое явление: светоиндуцированный дрейф (СИД) газов. Это явление состоит в возникновении направленного движения частиц газа, поглощающих оптическое излучение и находящихся в смеси с буферным газом, который с излучением не взаимодействует. Происходит это по следующим причинам. Узкополосное излучение, взаимодействуя с доплеровски уширенным переходом атомной системы, создает в распределении частиц по скоростям на нижнем уровне (0) провал, а на верхнем (1) — пик (так называемые провалы и пики Беннета [4]), т. е. появляются потоки возбужденных \vec{j}_1 и невозбужденных \vec{j}_0 частиц. В отсутствие буферного газа $\vec{j}_0 + \vec{j}_1 = 0$ (давлением света в теории СИД пренебрегается), и поглощающие частицы в целом покоятся. В присутствии буферного газа потоки \vec{j}_0 и \vec{j}_1 испытывают трение, различное для состояний 0 и 1, если сечение взаимодействия возбужденного атома с буферной частицей $\sigma_{ев}$ отлично от аналогичного сечения для атома в нормальном состоянии $\sigma_{дв}$. При этом уже $\vec{j}_0 + \vec{j}_1 \neq 0$, и поглощающие частицы приходят в движение. Направление результирующего потока резонансных частиц $\vec{j}_0 + \vec{j}_1$ определяется знаком $\sigma_{ев} - \sigma_{дв}$ и знаком отстройки частоты лазерного поля от частоты центра линии поглощения. СИД может возникать и по ряду других причин [5].

Рассмотрим один парадокс, возникающий в теории светоиндуцированного дрейфа. Пусть газовая смесь, состоящая из резонансного и буферного газов, находится в замкнутом сосуде и подвергается воздействию лазерного излучения, и выполнены все необходимые условия для возникновения СИД. Тогда после установления равновесия буферные и резонансные частицы соберут-

ся у противоположных стенок сосуда /6/. Если при этом масса буферной частицы отлична от массы резонансной, центр масс газовой смеси окажется смещенным относительно центра сосуда, т. е. от своего первоначального положения, которое он занимал до начала действия лазерного излучения. Факт смещения центра масс смеси кажется на первый взгляд парадоксальным, т. к. при рассмотрении СИД пренебрегается давлением света.

Заметим, что аналогичный парадокс возникает и в более простой ситуации: замкнутый сосуд с газом поддерживается при постоянной температуре. Центр масс газа при этом находится в центре сосуда. Если теперь одна из стенок сосуда нагрета до большей температуры, то после установления равновесия в газе возникнет локальное максвелловское распределение и выполняется условие

$$N(\vec{r})T(\vec{r}) = \text{const},$$

где $N(\vec{r})$ — локальная объемная концентрация атомов газа; $T(\vec{r})$ — локальная температура. Так как $\nabla T \neq 0$, центр масс окажется смещенным от своего первоначального положения. В этом случае его смещение объясняется передачей импульса газу от стенок сосуда в процессе установления равновесия.

Покажем, что в случае СИД парадокс также можно объяснить действием стенок сосуда. Пусть излучение распространяется вдоль оси x . Тогда в этом направлении возникнет поток резонансного газа j_r и буферного j_b . Причем в первый момент времени

$$mj_r + Mj_b = 0, \quad (1)$$

где m , M — массы атомов резонансного и буферного газа соответственно. Примем для функций распределения (в первый момент времени) следующую аппроксимацию:

$$f_r(\vec{v}) = \left(\frac{m}{2\pi T} \right)^{3/2} e^{-mv^2/2T} \left(n_r + \frac{m}{T} j_r v_x \right), \quad (2)$$

$$f_b(\vec{v}) = \left(\frac{M}{2\pi T} \right)^{3/2} e^{-Mv^2/2T} \left(n_b + \frac{M}{T} j_b v_x \right), \quad (3)$$

где n_r , n_b — объемные концентрации резонансных и буферных частиц; T — температура смеси. Выражения (2) и (3) выбраны для упрощения выкладок и справедливы (см., например, /6/) в том случае, когда ударная ширина линии поглощения $\Delta\omega_c$ много больше доплеровской ширины $\Delta\omega_D$. Тогда сра-

зу же после начала действия лазерного излучения давление на правую стенку будет равно

$$P_+ = \int_{-\infty}^{+\infty} dv_y \int_{-\infty}^{+\infty} dv_z \int_0^{+\infty} dv_x 2v_x^2 [mf_r(\vec{v}) + Mf_b(\vec{v})] =$$

$$= (n_r + n_b)T + 2\sqrt{2T/\pi}(\sqrt{m}j_r + \sqrt{M}j_b).$$

Это выражение получено в модели зеркально отражающих стенок. Аналогично для давления на левую стенку получим

$$P_- = (n_r + n_b)T - 2\sqrt{2T/\pi}(\sqrt{m}j_r + \sqrt{M}j_b),$$

и с учетом (1) имеем

$$\Delta P = P_+ - P_- = 4\sqrt{2TM/\pi}(\sqrt{M/m} - 1) j_b \neq 0.$$

Поэтому при установлении равновесия будет происходить передача импульса от стенок сосуда газу, что и приведет к смещению центра масс газовой смеси.

Автор благодарен В.Н. Сазонову за постановку задачи.

Поступила в редакцию 11 января 1985 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калязин А. Л., Сазонов В. Н. Квантовая электроника, 6, 1620 (1979).
2. Гельмуханов Ф. Х., Шалагин А. М. Письма в ЖЭТФ, 29, 773 (1979).
3. Анцыгин В. Д. и др. Письма в ЖЭТФ, 30, 262 (1979).
4. Bennett W. R. Phys. Rev., 126, 580 (1962).
5. Сазонов В. Н. ДАН СССР, 260, 599 (1982).
6. Гельмуханов Ф. Х., Шалагин А. М. ЖЭТФ, 78, 1672 (1980).