

**А. М. Шалагин.** Светоиндуцированный дрейф и его проявления, в частности в астрофизике. Эффект светоиндуцированного дрейфа (СИД) <sup>1</sup> — один из самых сильных эффектов воздействия излучения на поступательное движение частиц газа. Сущность эффекта состоит в следующем. Предположим, что в двухкомпонентной газовой среде распространяется излучение и резонансно возбуждает один из компонентов. Для определенности будем считать, что ширина спектра излучения меньше доплеровской ширины линии поглощения. В этом случае излучение, благодаря эффекту Доплера, селективно по скоростям переводит частицы из одного (основного) квантового состояния в другое (возбужденное). При этом мы будем полагать, что частица меняет свое внутреннее состояние, не меняя скорости, т. е. пренебрежем эффектом светового давления. При некоторой (в пределах линии поглощения) отстройке центральной частоты излучения от точного резонанса селективное по скоростям воздействие приводит к возникновению встречных потоков частиц, находящихся в основном и возбужденном квантовых состояниях. Так как скорость частицы при оптическом переходе не меняется, излучение индуцирует потоки одинаковыми по величине и противоположными по направлению. Эти потоки испытывают сопротивление (трение) со стороны буферного компонента смеси. В общем случае сопротивление потокам различно вследствие различия транспортных характеристик поглощающей частицы в основном и возбужденном состояниях. Как следствие, возникает отличная от нуля результирующая сила, приводящая к направленному движению (дрейфу) поглощающего компонента как целого относительно буферного компонента смеси. Направление дрейфа либо совпадает с направлением распространения излучения, либо противоположно-

но ему в зависимости как от знака отстройки частоты излучения от центра линии поглощения, так и от соотношения транспортных характеристик.

Особо отметим, что эффект СИД приводит к пространственному разделению компонент газовой смеси, но не к перемещению газа в целом, т. е. полное давление газа не подвергается изменению. Это следует из закона сохранения импульса с учетом того, что импульс от излучения среде не передается. В этом проявляется специфика эффекта СИД как особого вида воздействия излучения на движение газа. В ряде случаев, например для электронных переходов атомов, может отсутствовать диссипация энергии излучения в тепло (релаксация возбужденного состояния сугубо радиационная). При этом в процессе СИД импульс и энергия поступательного движения частиц газа являются интегралами движения. Таким образом, в эффекте СИД излучение действует подобно демону Максвелла.

К настоящему времени теория эффекта СИД довольно хорошо разработана. Простейшие варианты теории представлены в<sup>2</sup>. Кроме того, имеется уже большое количество экспериментов по наблюдению и исследованию СИД как в атомарных<sup>3,4</sup>, так и в молекулярных<sup>5</sup> объектах. Экспериментально доказано, что в поле лазерного излучения атомы под действием СИД могут дрейфовать со скоростью порядка нескольких десятков м/с и собираться в слой толщиной менее 1 мм<sup>4</sup>. В случае молекул разделение компонентов происходит на масштабе  $\sim 1$  м<sup>5</sup>.

В проведенных экспериментах эффект СИД вызывал изменения примерно на 5 порядков более сильные, чем в тех же условиях способно вызывать световое давление.

Цикл проведенных экспериментов показал, что СИД может служить уникальным и надежным методом измерения транспортных характеристик короткоживущих состояний атомов и молекул. Ранее подобного метода не существовало.

В экспериментах убедительно показана возможность разделения изотопных модификаций атомов<sup>6</sup> и молекул<sup>5</sup>. Согласно оценкам метод разделения изотопов, основанный на СИД, может оказаться вполне перспективным.

С помощью СИД осуществлено разделение ядерных спиновых модификаций тяжелых молекул<sup>7</sup>. По-видимому, СИД — самый перспективный способ разделения таких модификаций. Он открывает возможность детального изучения свойств спиновых модификаций молекул.

Экспериментально обоснован способ существенного повышения обнаружительной способности лазерных методов регистрации атомарных микропримесей<sup>8</sup>, базирующийся на эффекте СИД. С помощью СИД можно создать «ловушку» для регистрируемых атомов, в которую они собираются с остального объема и накапливаются. На примере паров натрия достигнута степень концентрирования  $\sim 10^3$ . Существует возможность увеличить эту цифру еще на несколько порядков.

Эффект СИД, как селективный оптический насос, способен осуществлять глубокую очистку от микропримесей либо, наоборот, доставлять примеси в нужное место. Способ управления примесями в газе, основанный на эффекте СИД, должен найти применение в технологиях, требующих особой чистоты или дозированной поставки вещества в заданное место.

Значительные изменения, вызываемые эффектом СИД, а также его преобладание в определенных условиях над эффектом светового давления позволяют предполагать существенную роль СИД в некоторых астрофизических объектах. Предложено объяснение феномена химически пекулярных звезд<sup>9</sup> на основе СИД. Показано, что сепарация химических элементов под действием СИД в условиях атмосфер этих звезд на несколько порядков более эффективна по сравнению с сепарацией, обусловленной световым давлением. Эффектом СИД объясняются изотопные аномалии гелия и предсказываются подобные аномалии для других элементов.

Вполне вероятно, что неоднородность химического состава по поверх-

ности и магнитные поля, присущие части пекулярных звезд, обусловлены совместным действием СИД и конвекции. Обращено внимание на возможность существенного проявления СИД в условиях космических мазеров, а также в процессе сепарации химических элементов и изотопов в протопланетном облаке Солнечной системы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- <sup>1</sup> Гельмуханов Ф. Х., Шалагин А. М.//Письма ЖЭТФ. 1979. Т. 29. С. 773.  
Гельмуханов Ф. Х., Шалагин А. М.//ЖЭТФ. 1980. Т. 78. С. 1672.  
Мироненко В. Р., Шалагин А. М.//Изв. АН СССР. Сер. физ. 1981. Т. 45. С. 995.  
Gel'mukhanov F. Kh., I'ichov L. V., Shalagin A. M.//Physica. Ser. A. 1986. V. 137. P. 502.
- <sup>3</sup> Анцыгин В. Д., Атутов С. Н., Гельмуханов Ф. Х., Телегин Г. Г., Шалагин А. М.//Письма ЖЭТФ. 1979. Т. 30. С. 262.
- <sup>4</sup> Atutov S. N., Lesjak St., Pod'jachev S. P., Shalagin A. M.//Opt. Commun. 1986. V. 60. P. 41.  
Атутов С. Н., Ермолаев И. М., Шалагин А. М.//ЖЭТФ. 1987. Т. 92. С. 1215.  
Wegij H. G. C., Woerdman J. P., Beenakker J. J. H., Kusser I.// Phys. Rev. Lett. 1984. V. 52. P. 2237.  
Xu J. H., Allegrini M., Cozzini S., Mariotti E., Moi L.//Opt. Commun. 1987. V. 63. P. 43.
- <sup>5</sup> Панфилов В. Н., Струнин В. П., Чаповский П. Л.//ЖЭТФ. 1983. Т. 85. С. 881.  
Фолин А. К., Чаповский П. Л.//Письма ЖЭТФ. 1983. Т. 113. С. 463.  
Бакарев А. Е., Макасы А. Е., Чаповский П. Л.//КЭ. 1986. Т. 13. С. 30.  
Чаповский П. Л., Шалагин А. М.//КЭ. 1987. Т. 14. С. 574.
- <sup>6</sup> Streater A. D., Moorbrogck J., Woerdman J. P.//Opt. Commun. 1987. V. 64. P. 137.
- <sup>7</sup> Charovsky P. L., Krasnoperov L. N., Panfilov V. N., Strunin V. P.//Chem. Phys. 1985. V. 97. P. 449.
- <sup>8</sup> Атутов С. Н., Шалагин А. М.//Опт. и спектр. 1988. Т. 64. С. 223.
- <sup>9</sup> Хохлова В. Л.//Итоги науки и техники. Сер. «Астрономия»,— М.: ВИНТИ АН СССР, 1983.— Т. 24. С. 233.

530.16(048)

**И. Д. Новиков.** Физические свойства машины времени. В работе <sup>1</sup> высказаны соображения о том, что известные законы физики, по-видимому, не противоречат принципиальной возможности создания машины времени (Т-машины), позволяющей путешествовать в прошлое, и предложена схема такой машины. Другой вариант машины предложен в работе <sup>2</sup>.

Для осуществления обоих вариантов Т-машины необходимо предварительно создать конструкцию со сложной топологией трехмерного пространства. Такая возможность рассмотрена в работе <sup>3</sup>. Конструкция представляет собой две дыры, соединенные топологической ручкой. Двумерный аналог конструкции показан на рисунке. Длина ручки  $S$  не определяется расстоянием  $R$  между дырами во внешнем пространстве, и возможно  $S \ll R$ . В дыры  $A$  и  $B$  можно входить и выходить, и возможно проходить через ручку от дыры к дыре (горизонты событий отсутствуют). Дыры  $A$  и  $B$  могут двигаться друг относительно друга во внешнем пространстве при неизменной ручке. В варианте <sup>2</sup> Т-машины дыра  $A$  неподвижна, а дыра  $B$  вращается вокруг нее на расстоянии  $R$ , причем  $S \ll R$ . Все инерциальные силы, в том числе и в статической системе отсчета, в ручке конечны. В ходе такого движения часы около  $B$  отстают от часов около  $A$  из-за лоренцева замедления времени, и по прошествии достаточного времени это отставание  $\Delta T$  может стать сколь угодно большим. С другой стороны, если наблюдатель у  $B$  смотрит сквозь ручку

