

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ  
И ОТДЕЛЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ АКАДЕМИИ НАУК СССР**

**(23-24 февраля 1972 г.)**

23 и 24 февраля 1972 г. в конференц-зале Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии и Отделения ядерной физики АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

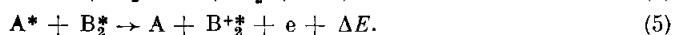
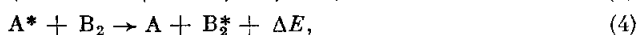
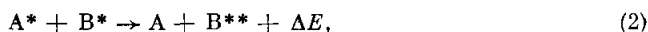
1. С. Э. Фриш. Роль атомно-атомных и атомно-молекулярных столкновений в возбуждении и ионизации атомов.

2. В. Е. З у е в. Лазерное зондирование атмосферы.
3. М. А. М а р к о в. Глобальные свойства коллапсирующего вещества.
4. И. Д. Н о в и к о в. Гравитационное поле и метрика коллапсирующих объектов.

Ниже публикуется краткое содержание трех докладов.

**С. Э. Фриш.** Роль атомно-атомных и атомно-молекулярных столкновений в возбуждении и ионизации атомов. В докладе излагается цикл работ, выполненных группой сотрудников, руководимой автором кафедры оптики ЛГУ. Работы относятся к неупругим столкновениям частиц тепловых скоростей, из которых одна или обе находятся в возбужденном состоянии. Наблюдения показывают, что такие столкновения характеризуются большими эффективными сечениями, достигающими значений порядка  $10^{-16}$ — $10^{-15}$  см<sup>2</sup>. Поэтому их роль в совокупности процессов, протекающих в газоразрядной плазме, может быть велика и в тех случаях, когда концентрации частиц малы.

В основном рассматривались процессы следующих типов:



Процесс (1) представляет собой соударения второго рода между возбужденным и невозбужденным атомами. Экспериментальное исследование такого процесса производится обычно одним из двух способов: сенсibilизированной флюоресценции, стационарного свечения плазмы. Однако, несмотря на большое число выполненных исследований, многие стороны процесса (1) остаются неясными. Мы использовали в наших работах два других способа, а именно — возбуждение электронным пучком, наблюдение свечения распадающейся плазмы.

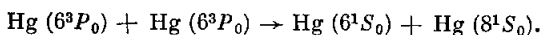
В работах Богдановой и Марусина<sup>1</sup> было показано, что при возбуждении свечения смеси газов или паров электронным пучком, в условиях достаточно хорошей монокинетизации и одноактных столкновений, возникает селективное возрастание яркости некоторых линий, которое может быть объяснено процессом (1). Характер спада яркости таких линий после обрыва электронного пучка подтверждает эту точку зрения. Далее, если менять скорость электронов, можно наблюдать оптическую функцию возбуждения линий, усиленных за счет ударов второго рода. Было, например, показано, что в смеси паров натрия и ртути оптическая функция возбуждения дублета Na I,  $9^2S \rightarrow 3^2P$ ,  $\lambda 442,3/2,0$  нм совпадает с функцией возбуждения линии ртути  $6^3P_1 \rightarrow 6^1S_0$ ,  $\lambda 253,7$  нм. Это является непосредственным подтверждением того, что указанный дублет натрия возбуждается за счет переноса энергии из  $6^3P_1$ -состояния ртути. Таким образом, метод электронного пучка дает добавочные возможности изучать процессы соударений второго рода.

Наблюдение послесвечения плазмы также представляет ряд преимуществ по сравнению с наблюдением стационарного разряда. В последнем трудно разделить возбуждения за счет атомно-атомных и атомно-электронных столкновений. В послесвечении же разные процессы характеризуются различными временами релаксации, что позволяет отделить их друг от друга. Если, например, возбужденный атом находится в метастабильном состоянии, то затухание процессов, вызванных столкновениями с ним, будет протекать значительно медленнее, чем процессов, вызванных столкновениями с быстрыми электронами.

В работе Бочковой и Толмачева<sup>2</sup> исследовалось послесвечение смеси аргона с криптоном. Было показано, что ряд линий криптона обнаруживает время затухания, совпадающее со временем разрушения метастабильных атомов аргона. Аналогичные наблюдения были проведены для смеси гелия с ксеноном. В этом случае процесс происходит по схеме (3). Метастабильные атомы He  $2^1S$  или  $2^3S$  сталкиваются с метастабильными атомами ксенона, в результате чего возникают возбужденные ионы ксенона. В спектре наблюдается ряд линий Xe II, обнаруживающих большое время затухания. В этом случае эффективные сечения велики и при значительных избытках энергии  $\Delta E$ . Избыток энергии уносится возникающим свободным электроном.

Процесс (2) наблюдался в чистых парах ртути. Сумма энергий возбуждения двух атомов ртути в состояниях  $6^3P_{0,1,2}$  несколько меньше энергии ионизации атома ртути. Поэтому в результате столкновения возникает сильно возбужденный атом ртути. Действительно, в послесвечении было наблюденно большое время затухания (порядка 100 мксек) для ряда линий, возбуждение которых протекает по схеме (2). В качестве

примера приведем столкновение



Возникновение атома ртути в состоянии  $8^1S_0$  проявляется тем, что в послесвечении наблюдается линия Hg I,  $\lambda$  491,6 нм с большим временем затухания и с квадратичной зависимостью яркости от концентрации возбужденных атомов.

Возбуждение молекулы за счет столкновений с метастабильными атомами было наблюдеено Бочковой и Чернышевой<sup>3</sup> при свечении смеси аргона с азотом. Имело место селективное усиление яркости полос второй положительной системы  $\text{N}_2$ . В этом случае избыток энергии сталкивающихся частиц переходил во вращательную энергию молекулы  $\text{N}_2$ , что проявлялось в усилении ротационной структуры полос. При столкновении метастабильных атомов гелия с молекулами  $\text{N}_2$  наблюдалось усиление яркости отрицательной системы молекулярных полос азота, что указывало на наличие процесса (5).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. П. Богданова, В. Д. Марусин, *Опт. и спектр.* 26, 154; 27, 724 (1969); 31, 339 (1971).
2. О. П. Бочкова и Ю. А. Толмачев, *ibid.* 25, 342 (1968); 32, 827 (1972).
3. О. П. Бочкова, Н. В. Чернышева, *ibid.* 28, 35 (1970); 31, 677 (1971).

**В. Е. Зуев.** Лазерное зондирование атмосферы. Существующие стандартные методы исследования атмосферы практически исчерпали себя и не могут обеспечить требуемое для решения многих научных и прикладных задач оперативное получение информации об атмосферных параметрах с необходимым пространственным и временным разрешением. Метод лазерного зондирования является принципиально новым методом дистанционного определения параметров атмосферы, призванным в конечном счете полностью заменить существующие методы исследований воздушного океана. Идея метода лазерного зондирования атмосферы заключается в следующем. Импульс лазера, распространяясь в атмосфере, оставляет за собой след взаимодействия с веществом атмосферы в виде поглощенных, рассеянных и переизлученных фотонов. Взаимодействие лазерного импульса с атмосферой может проявляться через явления аэрозольного и молекулярного рассеяния, молекулярного поглощения, комбинационного и резонансного рассеяния, а также через флуктуации эхо-сигналов, вызванные атмосферной турбулентностью.

Регистрируя и расшифровывая следы взаимодействия лазерных импульсов с атмосферой, в принципе можно извлечь информацию о различных параметрах атмосферы. Лазерные метеорологические локаторы принято называть лидарами по аналогии с названием радары — радиометеорологические локаторы. Потенциальные возможности лидаров зависят как от того, какое явление взаимодействия излучения с атмосферой используется, так и от параметров самих лидаров. Наибольшими сечениями взаимодействия обладает явление резонансного рассеяния, наименьшими — явление комбинационного рассеяния. Разница в сечениях взаимодействия этих двух явлений может достигать многих порядков.

Основными частями лидаров являются: лазер, приемная антенна — зеркало, система фильтров, приемник излучения, усилитель сигналов, регистрирующее устройство. Наибольшее распространение в лидарах получили рубиновые лазеры, работающие в режиме модулированной добротности, с энергией в импульсе до 20 дж при длительности импульса в несколько десятков наносекунд.

Если при зондировании используется явление молекулярного рассеяния, то при энергии импульса рубинового генератора в несколько джоулей, диаметре приемной антенны 1 м, приемнике излучения — ФЭУ с темновым током в 100 фотонов/сек, интерференционным фильтре шириной 10 Å при пропускании 50% можно в ночных условиях получить непрерывный профиль эхо-сигнала до высот 30—40 км. При зондировании атмосферы на больших высотах используют серии импульсов для накопления информации. Лучший из известных лидаров в настоящее время позволяет уверенно зондировать плотность атмосферы до высот 100 км.

Количественный анализ явлений взаимодействия оптических волн с атмосферой позволяет сделать вывод о потенциальной возможности использования лидаров для зондирования всех газовых компонентов атмосферы, аэрозольной структуры (стратификация слоев, спектры размеров, концентрация частиц дымок, облаков, туманов, дымов, пыли, осадков), температуры, плотности, давления, скорости и направления ветра, турбулентной структуры атмосферы.

В экспериментах по лазерному зондированию атмосферы получены данные о стратификации аэрозольных слоев; плотности, давления и температуре атмосферы на больших высотах; профилях концентрации азота, кислорода, водяного пара, паров натрия; радиальной составляющей скорости ветра.

Дальнейшее развитие метода лазерного зондирования атмосферы должно пойти по линии разработки новой техники и решения обратных задач оптики атмосферы. В течение ближайших 4—5 лет можно ожидать появления первого серийного метеорологического лазерного локатора.

Доклад основан на следующих материалах, направленных для опубликования: В. Е. Зуев, Лазер-метеоролог, Л., Гидрометеоздат; Лазерное зондирование атмосферы, «Природа».

**И. Д. Новиков.** Гравитационное поле и метрика коллапсирующих объектов. Современная теория тяготения и теория эволюции звезд предсказывают существование во Вселенной сколлапсировавших звезд («черных дыр») — звезд, закончивших свою ядерную эволюцию и сжатых силой тяготения до размеров их гравитационных радиусов  $R_g = 2GM/c^2$ . В последнее время в связи с поисками этих объектов необычайно усилился интерес теоретиков к проблеме гравитационного коллапса.

Основные свойства коллапса сферической звезды были описаны более тридцати лет назад. Было показано, что после сжатия до гравитационного радиуса звезда должна катастрофически быстро сжиматься, порождая бесконечную кривизну пространства-времени, сингулярность. Поле тяготения не выпускает никакое излучение из области меньше  $R_g$ , и о том, что случится со звездой после сжатия до  $R_g$ , внешний наблюдатель никогда не узнает. Такие объекты получили название «черные дыры». Сравнительно недавно было показано, что наряду с «черными дырами» в природе могут существовать «белые дыры» — тела, расширяющиеся из-под своего гравитационного радиуса.

При сжатии несимметричных тел, как показал анализ, они будут образовывать «черные дыры» только в том случае, если их размеры по всем направлениям меньше  $R_g$ . В ходе сжатия невращающихся тел возникающее гравитационное поле «черной дыры» оказывается сферически-симметричным, все отклонения от симметрии излучаются в виде гравитационных волн.

В случае коллапса вращающегося тела поле «черной дыры» описывается так называемой метрикой Керра. Основной особенностью этой метрики является наличие вблизи  $R_g$  «эргосферы» — области, где все тела должны вращаться вокруг «черной дыры». Физические процессы в «эргосфере» позволяют, в принципе, черпать энергию вращения от «черной дыры». При этом, в принципе, возможно отобрать до  $\Delta E \approx 0,29mc^2$  от полной энергии максимально быстро вращающейся «черной дыры».

Показано, что коллапс даже несимметричного тела после сжатия под  $R_g$  неизбежно приводит к возникновению сингулярности гравитационного поля. Дальнейшая эволюция тела зависит не только от условий во всем бесконечном пространстве вне  $R_g$ , откуда происходил коллапс тела, но и от дополнительных условий, имеющих место в области пространства-времени внутри  $R_g$ .

Важно подчеркнуть, что при коллапсе звезд и более массивных тел физические условия во всем пространстве вплоть до  $R_g$  полностью описываются современной физикой (плотности меньше ядерных, температуры ниже  $10^{10}$  °К), приливные силы для тел с массой квазаров  $10^8 M_\odot$ , например, не больше, чем на Земле, и не требуется учета квантовых эффектов или каких-либо других сил.

Предложено несколько способов поисков «черных дыр» астрономическими методами. «Черные дыры», возникающие в конце эволюции массивных звезд, предложено искать в составе двойных звезд, среди рентгеновских и  $\gamma$ -источников.

Более подробно рассматриваемые вопросы изложены в книге Я. Б. Зельдовича и И. Д. Новикова «Теория тяготения и эволюция звезд». М., «Наука», 1971.