

*Письма в ЖЭТФ, том 14, стр. 408 – 411*

*5 октября 1971 г.*

**ЭФФЕКТ "ПРОСВЕТЛЕНИЯ" СРЕДЫ ДЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ,  
ВОЗБУЖДАЕМОГО НАПРАВЛЕННЫМ ПОТОКОМ АТОМНЫХ ЧАСТИЦ**

*В. В. Афросимов, Ю. С. Гордеев, В. М. Лавров, Г. Н. Огурцов*

Возбуждение при атомных столкновениях, в отличие от возбуждения электронным ударом и фотовозбуждения, часто сопровождается

передачей значительного импульса от ударяющей частицы частице мишени. Поэтому кинематика атомных столкновений может оказывать определяющее влияние на форму излучаемых спектральных линий вследствие доплеровского смещения и уширения линий.

Влияние кинематики столкновений на форму линий Оже-электронов и оптических линий рассматривалось ранее в работах [1, 2]. Используя рассуждения, аналогичные приведенным в [1], можно показать, что если в системе отсчета, связанной с излучающей атомной частицей, излучение монохроматично (длина волны  $\lambda_0$ ) и изотропно, то при возбуждении частица рассеивается на угол  $\theta$  и приобретает скорость  $v$ , то функция распределения излучения, наблюдаемого под углом  $\alpha$  в лабораторной системе координат, по длине волны  $\lambda$  имеет вид:

$$\Phi(\lambda) = \frac{N_0}{\sqrt{\lambda_0^2 \frac{v^2}{c^2} \sin^2 \alpha \sin^2 \theta - (\lambda - \lambda_0 + \lambda_0 \frac{v}{c} \cos \alpha \cos \theta)^2}}, \quad (1)$$

где  $N_0$  — нормировочный множитель,  $c$  — скорость света. Учитывая, что возбуждение определенного уровня может сопровождаться передачей атомным частицам различных импульсов (разные  $\theta$  и  $v$ ), форму линии, реально наблюдаемой в лабораторной системе, можно описать сверткой четырех функций:

$$f(\lambda) = \iiint f_0(\lambda_0) \sigma(\lambda' - \lambda_0) \Phi(\lambda - \lambda', v, \theta) \Psi(v, \theta) d\lambda_0 d\lambda' dv \sin \theta d\theta, \quad (2)$$

где  $f_0(\lambda_0)$  — контур линии в системе координат, связанной с излучающей частицей,  $\sigma(\lambda' - \lambda_0)$  — аппаратная функция спектрометра,  $\Psi(v, \theta)$  — функция распределения излучающих частиц по скорости и углу рассеяния. Расчет контура  $f(\lambda)$  возможен лишь при наличии информации о кинематике столкновения, т. е. о функции распределения  $\Psi(v, \theta)$ .

В настоящей работе исследовалась кинематика столкновений  $K^+ - Ag$  с помощью метода, описанного в [3]. При этом раздельно изучались столкновения, связанные с различными неупругими переходами. Энергия ударяющих ионов  $K^+$  составляла 2 кэВ. На рис. 1 приведено дифференциальное сечение рассеяния  $d\sigma(\theta)/d\omega$  при возбуждении уровней, сопровождающихся излучением резонансной линии  $AgI$  1066,7 Å. Полученные данные показывают, что возбуждение рассматриваемых уровней имеет пороговый характер и происходит с заметной вероятностью лишь при рассеянии ударяющих ионов  $K^+$  на углы  $\theta > 2,5^\circ$ . Рассеяние быстрых частиц сопровождается передачей значительной кинетической энергии частицам отдачи. В исследованном случае столкновений  $K^+ - Ag$  кинетическая энергия возбужденных атомов  $Ag$  лежит в интервале 3,5 — 25 эВ.

На основе полученных данных о рассеянии с учетом теплового движения атомов до столкновения была найдена функция распределения  $\Psi(v, \theta)$ , которая в дальнейшем была использована при расчетах формы резонансной линии  $AgI$  1066,7 Å, наблюдаемой под различными углами  $\alpha$ . Расчеты выполнены для идеального спектрометра, т. е. за ал-

паратную функцию  $\sigma(\lambda' - \lambda_0)$  принималась  $\delta$ -функция. В качестве контура линии в системе излучающей частицы  $f_0(\lambda_0)$  использовался гауссовский контур, отвечающий времени жизни  $\tau = 21 \cdot 10^{-9}$  сек [4].

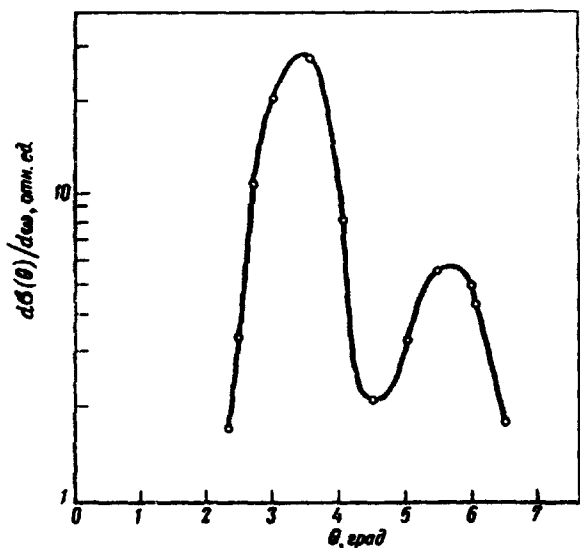


Рис. 1. Дифференциальное сечение рассеяния ионов  $K^+$  в аргоне в зависимости от угла рассеяния  $\theta$  при возбуждении атома Ar, сопровождающемся излучением линии ArI 1066,7 Å. Энергия ударяющих ионов 2кэВ

Результаты расчета представлены на рис. 2. Для сравнения на рисунке приведен также контур линии поглощения при комнатной температуре. Видно, что в рассматриваемом случае форма и ширина линии практически полностью определяются кинематикой столкновения. Сильное перераспределение излучения по длине волны приводит к тому, что лишь небольшая доля интенсивности излучения оказывается лежащей в спектральной области, отвечающей линии поглощения.

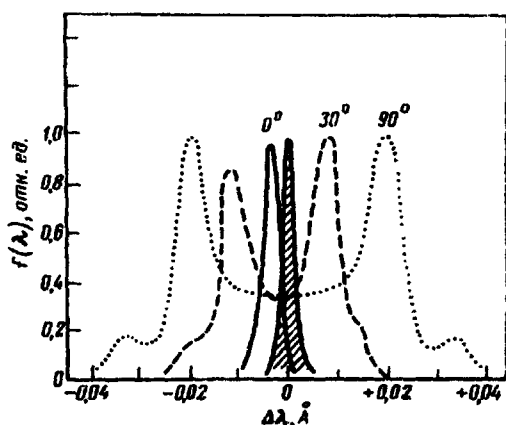


Рис. 2. Форма линии резонансного излучения ArI 1066,7 Å, возбуждаемого при столкновениях  $K^+ - Ar$ , в зависимости от угла наблюдения. Заштрихованный контур — линия поглощения резонансного излучения в аргоне при комнатной температуре

Таким образом, значительная передача кинетической энергии при атомных столкновениях приводит к резкому уменьшению поглощения резонансного излучения в среде. Количественная оценка величины этого эффекта может быть произведена путем сопоставления доли погло-

шенного излучения  $A = \int f(\lambda) (1 - e^{-\kappa_0 \lambda^2}) d\lambda / \int f(\lambda) d\lambda$  ( $\kappa_\lambda$  – коэффициент поглощения при длине волны  $\lambda$ ) для случаев возбуждения атомов Ag при столкновениях  $K^+ - Ag$  и электронном ударе.

$\kappa_0 \ell$ \ $\alpha$	e – Ag		$K^+ - Ag$		
	0 – 180°	0°	30°	90°	
1	0,430	0,12	0,03	0,02	
10	0,950	0,39	0,07	0,04	
100	0,997	0,79	0,10	0,06	

В таблице приведены результаты расчета отношения  $A$  при различных углах наблюдения  $\alpha$  и различных значениях параметра  $\kappa_0 \ell$ . ( $\ell$  – расстояние от источника излучения до приемника,  $\kappa_0$  – коэффициент поглощения в центре линии [5]). Видно, что в случае атомного столкновения величина  $A$  характеризуется сильной анизотропией по углу наблюдения. Если угол  $\alpha$  не очень мал, то уже при  $\ell \sim 10$  см и давлении газа  $p \sim 10^{-3}$  мм рт. ст. ( $\kappa_0 \ell = 100$ ) поглощение света при атомном столкновении составляет лишь несколько процентов, тогда как в случае возбуждения электронным ударом на таком пути поглощается свыше 99% излучения.

Таким образом, очевидным результатом влияния кинематики атомных столкновений на форму спектральных линий является существенное увеличение прозрачности поглощающей среды и сильная зависимость поглощения от угла наблюдения. Подобные явления могут наблюдаться во многих случаях, когда в лабораторных или естественных условиях происходит возбуждение газовой среды под воздействием направленного корпускулярного излучения.

Авторы благодарны С.В.Бобашеву, обратившему их внимание на важную роль, которую рассмотренный эффект может играть в оптических исследованиях.

Физико-технический институт  
им. А.Ф.Иоффе  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
23 августа 1971 г.

#### Литература

- [1] Ю.С.Гордеев, Г.Н.Огурцов. ЖЭТФ, 60, 2051, 1971.
- [2] Э.С.Парилис. ФТТ, 11, 1570, 1969.
- [3] В.В.Афросимов, Ю.С.Гордеев, В.М.Лавров, С.Г.Щемелинин. Письма в ЖЭТФ, 12, 455, 1970.
- [4] J.L.Morack, C.E.Fairchild. Phys. Rev., 163, 125, 1967.
- [5] А.Митчел, М.Земанский. Резонансное излучение и возбужденные атомы. ОНТИ, 1937.