

шения ЭПО. Длительное свечение автономного ЭПО также становится легко объяснимым, поскольку излучение струи будет определяться свечением дисперсных частиц. При размерах частиц порядка 1—10 мкм время их радиационного остывания будет составлять единицы миллисекунд, т. е. соответствовать по порядку величины экспериментально наблюдаемому. Несомненно также, что на поздних стадиях возможно окисление углерода подмешиваемым кислородом воздуха, приводящее к энерговыделению в плазме и увеличению тем самым времени ее жизни.

Работы выполнены в рамках направления «Современные проблемы физики низкотемпературной газоразрядной плазмы» программы «Университеты России».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Авраменко Р. Ф., Бахтин Б. И., Николаева В. И. и др. // ЖТФ. 1990. 60. № 12. С. 57.
- [2] Avramenko R. F., Gridin A. Yu., Klimov A. I., Nikolaeva V. I. // International Committee on Ball Lightning (ICBL). Netherlands, Article Series N 1993/2.
- [3] Ершов А. П., Имад И. Х., Сысоев Н. Н. и др. // Тр. Ц. Всесоюз. симп. по радиационной плазмодинамике. М., 1991. Ч. 2. С. 86.
- [4] Недоспасов А. В. // УФН. 1968. 94. С. 439.
- [5] Грим Г. Уширение спектральных линий в плазме. М., 1978.

Поступила в редакцию
28.02.94

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1995. Т. 36, № 1

ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

УДК 535.21:539.211

АНОМАЛИИ ВУДА В ТЕПЛОМ ИЗЛУЧЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТОК

А. А. Карабутов, И. А. Кудинов, В. Т. Платоенко, М. А. Согоян
(кафедра общей физики и волновых процессов)

Экспериментально исследуется тепловое излучение металлических дифракционных решеток. Найдены пики спектрального коэффициента излучения, обусловленные проявлением аномалий Вуда.

Взаимодействие электромагнитного излучения с периодическими поверхностями имеет ряд особенностей. Наблюдаются так называемые аномалии Вуда, связанные с резонансным возбуждением поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ). Резонансное возбуждение ПЭВ изменяет протекание физических процессов на периодической поверхности: наблюдается резонансное возрастание поглощения и подавление зеркального отражения; усиление локального поля приводит к увеличению сечения нелинейных процессов, ускорению фотохимических реакций, трансформации пространственных характеристик зеркально отраженного пучка и т. д. [1, 2]. Наши предыдущие работы [3—6] были посвящены экспериментальным исследованиям аномалий поглощения и отражения ИК-излучения периодическими металлическими поверхностями в условиях резонансного возбуждения ПЭВ. В результате исследований были зарегистрированы узкие (до 12°) и эффективные (до 93%) пики поглощения излучения дифракционными решетками, выявлено влияние углового и частотного спектров излу-

чения, глубины рельефа поверхности на величину и угловую ширину пиков, впервые обнаружена макроскопической трансформация зеркально отраженного от решетки пучка.

Как известно, в случае плоской поверхности коэффициент поглощения излучения T совпадает со спектральным коэффициентом теплового излучения объекта. Поэтому можно ожидать, что будут наблюдаться аномалии Вуда не только поглощения, но и теплового излучения решеток. Теоретические и экспериментальные исследования этой проблемы нам неизвестны. Настоящая работа посвящена экспериментальным исследованиям проявления аномалий Вуда в тепловом излучении дифракционных решеток.

Кратко напомним, что аномалии Вуда в угловых зависимостях коэффициента поглощения металлических периодических поверхностей наблюдаются при резонансных углах падения θ_0 [1, 2]:
при P -поляризации излучения

$$\theta_{0p} = \arcsin |1 - l\lambda/d|, \quad (1)$$

при S -поляризации излучения

$$\theta_{0s} = \arcsin [1 - (l\lambda/d)^2]^{1/2}, \quad (2)$$

где λ — длина волны излучения, d — период, l — номер фурье-гармоники рельефа. При этом аномалии возможны, только когда вектор электрического поля E перпендикулярен штрихам решетки. Такую поляризацию будем называть резонансной. Выяснено также, что угловая зависимость резонансного поглощения определяется сверткой вудовского резонанса решетки, углового и частотного спектров излучения [2—6]. В свою очередь ширина и величина вудовского резонанса решетки определяется оптическими характеристиками среды и геометрическими параметрами рельефа.

В экспериментах по исследованию теплового излучения поверхностей использовались металлические дифракционные решетки с различной глубиной рельефа поверхности, на которых ранее нами наблюдались узкие (до $12'$) и эффективные (до 93%) пики поглощения в области длин волн $\lambda = 10,6$ мкм [3—6]. Исследуемая решетка (4) закреплялась в специально изготовленном нагревателе (3), расположен-

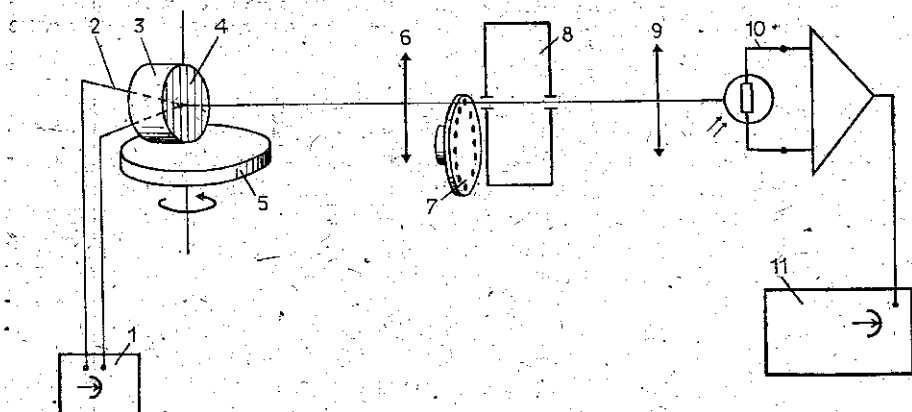


Рис. 1. Схема установки: 1 — милливольтметр В7-35; 2 — термопара хромель—алюмель; 3 — нагреватель; 4 — дифракционная решетка; 5 — поворотный столик; 6, 9 — фокусирующие линзы; 7 — механический прерыватель; 8 — монохроматор СРМ-2; 10 — фотосопротивление ФСГ-223А-2; 11 — синхронный детектор У2-8

ном на поворотном столике (5) (рис. 1). Температура нагрева объектов исследований варьировалась в пределах от 200 до 400°С и контролировалась с помощью термопары хромель—алюмель (2), подключенной к цифровому милливольтметру В7-35 (1). Точность измерения углов поворота столика была не хуже 20'.

На расстоянии 50 см от решетки располагалась собирающая линза (6) с фокусным расстоянием $f=9$ см. В фокальной плоскости линзы располагалась входная щель монохроматора СРМ-2 (8). С помощью линзы и входной щели монохроматора из углового спектра излучения нагретого объекта выделялся угловой спектр с шириной $\Delta\varphi=b/f$, где b —ширина входной щели монохроматора. Кроме того, с помощью монохроматора из частотного спектра излучения объекта в области $\lambda=5$ мкм выделялась узкая полоса $\Delta\lambda=bs$, где s —характеристика призмы монохроматора. Изменяя ширину входной щели монохроматора, можно варьировать ширину углового и частотного спектров регистрируемого излучения. Поляризация излучения в экспериментах не выделялась.

Изображение выходной щели монохроматора с помощью линзы (9) фокусировалось на приемную площадку фотосопротивления ФСГ-223 А-2 (10), размещенного в азотном криостате. Излучение объекта модулировалось с помощью механического прерывателя (7), расположенного перед входной щелью монохроматора. Модулированный сигнал с фотоприемника (10) поступал на вход синхронного детектора У2-8 (11) с постоянной времени $\tau=7$ с. Показания детектора были пропорциональны мощности излучения, испускаемого нагретым объектом исследований в узких угловом и спектральном диапазонах на длине волны $\lambda=5$ мкм. Абсолютная калибровка коэффициента излучения объектов исследований была проведена по излучению графитовой пластины в предположении, что ее коэффициент излучения на длине волны $\lambda=5$ мкм составляет 50% [7]. Нижний предел измеряемых мощностей излучения ограничивался шумами фотосопротивления. Этими же шумами определялась относительная ошибка измерений коэффициента излучения объектов.

Правильность работы собранной установки проверялась путем измерений угловой зависимости спектрального коэффициента излучения T алюминиевого зеркала (рис. 2). Как видно из графика, данные эксперимента соответствуют френелевскому излучению гладкой металлической поверхности при регистрации одновременно S - и P -поляризации излучения [2—7].

На рис. 3 изображены угловые зависимости коэффициента излучения «глубокой» медной решетки с периодом $d=12,1$ мкм и глубиной рельефа $h=0,22$ мкм, когда резонансной является S - (кривая 1) или P - (кривые 2, 3) поляризация излучения. Как видно из кривых 2, 3, в условиях проявления аномалий Вуда при P -поляризации излучения (см. формулу (1)) наблюдается пик излучения: $\theta_{op}^{theor}(l=1)=36^\circ$, $\theta_{op}^{exp}(l=1)=40,5^\circ$. Его угловая ширина по уровню 1/2 составляет 4° , что совпадает с расчетом, учитывающим ширину углового ($\Delta\varphi \approx 1^\circ$) и частотного ($\Delta\lambda \approx 0,45$ мкм) спектров регистрируемого излучения [2—6]. Сужение входной щели монохроматора с $b=1,5$ мкм (кривая 2) до $b=1$ мм (кривая 3), уменьшающее ширину углового и частотного спектров регистрируемого излучения, приводит к сужению наблюдаемого пика излучения и увеличению его амплитуды. Таким образом, наблюдаемый пик излучения определяется сверткой вудовского резонанса излучения решетки, углового и частотного спектров регистрируемого излучения. К сожалению, из-за недостаточной чувствительности систе-

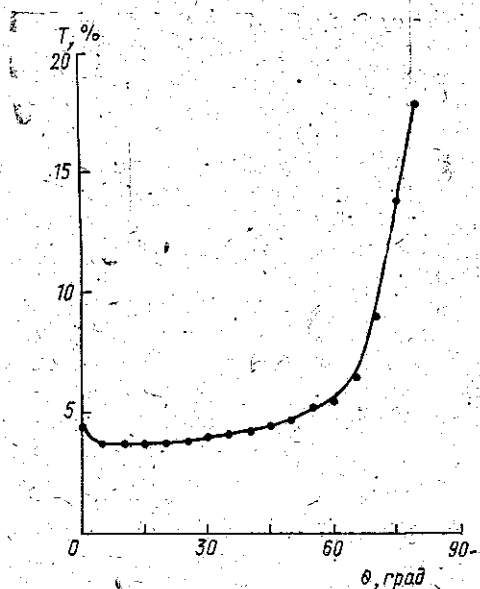


Рис. 2. Угловая зависимость спектрального коэффициента излучения алюминиевого зеркала на длине волны $\lambda=5$ мкм при одновременной регистрации *S*- и *P*-поляризации излучения.

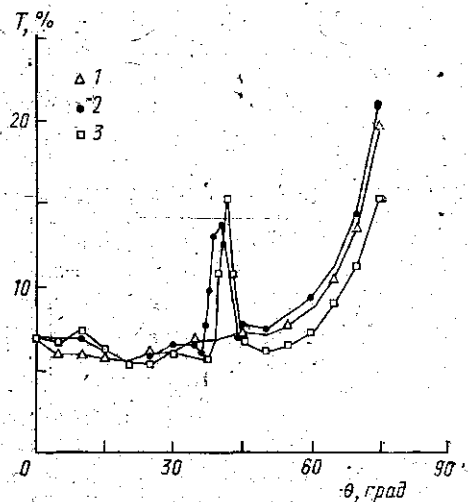


Рис. 3. Угловая зависимость спектрального коэффициента излучения «глубокой» медной дифракционной решетки с периодом $d=12,1$ мкм и глубиной $h=0,42$ мкм на длине волны $\lambda=5$ мкм: 1 — при резонансной *S*-поляризации излучения (*P*-поляризация нерезонансная); 2, 3 — при резонансной *P*-поляризации излучения (*S*-поляризация нерезонансная) и различной ширине входной щели монохроматора ($b=1,5$ (2) и 1 мм (3))

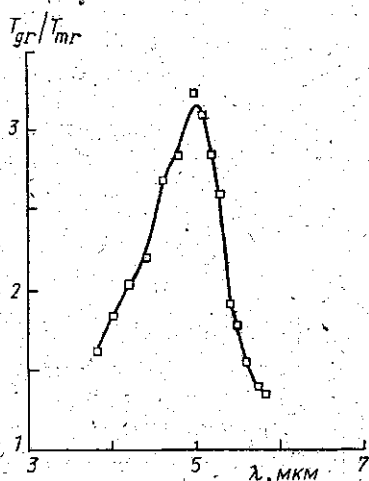


Рис. 4. Спектральная зависимость отношения коэффициентов излучения «глубокой» медной дифракционной решетки и алюминиевого зеркала при резонансном угле падения $\theta_{0p} (l=1)=40,5^\circ$

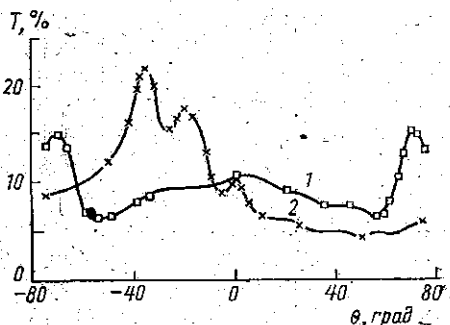


Рис. 5. Угловая зависимость спектрального коэффициента излучения «сверхглубокой» позолоченной дифракционной решетки с периодом $d=10$ мкм, глубиной $h=4,7$ мкм и углом блеска 35° на длине волны $\lambda=5$ мкм: 1 — при резонансной *S*-поляризации излучения (*P*-поляризация нерезонансная); 2 — при резонансной *P*-поляризации излучения (*S*-поляризация нерезонансная)

мы регистрации не представлялось возможным определить амплитуду и угловую ширину собственно вудовского резонанса излучения решетки. При дальнейшем сужении входной щели монохроматора сигнал исчезал на фоне шума фотоспротивления.

Необходимо отметить, что, как и в случае поглощения [3—6], вне условий проявления аномалий Вуда угловая зависимость коэффициента излучения «глубокой» медной решетки соответствует френелевской при наличии P - и S -поляризации излучения.

Очевидно, что аномалии Вуда должны проявляться не только в угловой, но и в спектральной зависимости коэффициента излучения решетки [1, 2]. На рис. 4 представлена спектральная зависимость отношения коэффициентов излучения медной решетки T_{gr} и алюминиевого зеркала T_{mr} при резонансном угле $\theta_{op}^{exp}(l=1) = 40,5^\circ$. Как видно из графика, и в этой зависимости наблюдается пик, связанный с проявлением аномалии Вуда.

В случае резонансной S -поляризации излучения на френелевском фоне пиков излучения не наблюдается (см. рис. 3, кривую 1). Это объясняется тем, что у исследуемой решетки резонансный угол θ_{0s} (см. формулу (2)), велик и находится в области подъема френелевского фона (поскольку поляризация не выделялась). Кроме того, в используемой геометрии входная щель монохроматора располагается параллельно вектору решетке \mathbf{q} и большая часть регистрируемых угловых гармоник не попадает в резонанс. Этот эффект отмечался нами при исследованиях аномального поглощения [6].

На рис. 5 изображена угловая зависимость коэффициента излучения «сверхглубокой» позолоченной решетки с периодом $d=10$ мкм, глубиной рельефа $h=4,7$ мкм и углом блеска 35° , когда резонансной является S - (кривая 1) и P - (кривая 2) поляризация излучения. Как видно из графиков, в угловой зависимости коэффициента излучения при резонансной P -поляризации излучения наблюдаются пики излучения в условиях проявления аномалий Вуда (см. формулу (1)) в 1-м и (-3) -м порядках дифракции:

$$\theta_{op}^{theor}(l=1) = 30^\circ, \theta_{op}^{exp}(l=1) = 35^\circ, \theta_{op}^{theor}(l=-3) = 30^\circ,$$

$$\theta_{op}^{exp}(l=-3) = 20^\circ.$$

Как и в случае «глубокой» медной решетки, у «сверхглубокой» позолоченной решетки наблюдается некоторое расхождение экспериментальных и рассчитанных теоретически значений резонансных углов. Это объясняется тем, что приведенные формулы (1), (2) носят приближенный характер и не учитывают конечности оптических констант материала, глубины, а также формы рельефа поверхности. Учет конечности оптических констант и геометрических параметров рельефа приводит к сдвигу резонансного угла, причем с ростом глубины рельефа сдвиг увеличивается [1, 2].

Как и в случае поглощения [6], большая угловая ширина пиков излучения «сверхглубокой» позолоченной решетки определяется вудовским резонансом решетки, а его большая угловая ширина определяется большей глубиной рельефа, сравнимой с длиной волны [1, 2, 6]. Сужение входной щели монохроматора не приводит к сужению пиков излучения этой решетки.

Необходимо отметить, что, как и в случае поглощения [6], несимметричность рельефа решетки приводит к несимметричности угловой зависимости коэффициента излучения относительно нормали к поверхности при резонансной P -поляризации излучения. Кроме того,

вне условий проявления «аномалий Вуда» угловая зависимость коэффициента излучения «сверхглубокой» позолоченной решетки не соответствует френелевской при наличии *P*- и *S*-поляризации излучения. Этот факт отмечался нами и при исследованиях поглощения аналогичных решеток [6].

Как и в случае «глубокой» медной решетки, при резонансной *S*-поляризации излучения вудовские аномалии в изучении «сверхглубокой» позолоченной решетки не наблюдаются.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований обнаружены пики спектрального коэффициента излучения металлических дифракционных решеток, связанные с проявлением аномалий Вуда. В наших условиях амплитуда наблюдаемых пиков примерно в два раза превышает фоновое значение.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Емельянов В. И., Семиногов В. Н. // Итоги науки и техники. Сер. Физические основы лазерной и пучковой технологии. М., 1989. Т. 3. С. 57.
- [2] Панченко В. Я., Семиногов В. Н., Соколов В. И. // Там же. С. 93.
- [3] Карабутов А. А., Кудинов И. А., Платошенко В. Т., Согоян М. А. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1992. 33, № 4. С. 45.
- [4] Карабутов А. А., Кудинов И. А., Мананков В. М. и др. // Изв. РАН, Сер. физ. 1992. 56, № 4. С. 29.
- [5] Karabutov A. A., Kudinov I. A., Platonenko V. T., Sogoyan M. A. // Photoacoustic and Photothermal Phenomena III/Ed. by D. D. Bejanic//Springer Series in Opt. Sci. 69: P. 334.
- [6] Karabutov A. A., Semionov V. N., Sogoyan M. A., Sokolov V. I. // Laser Physics. 1993. 3, N 6. P. 1168.
- [7] Госсорг Ж. Инфракрасная термография. М., 1988.

Поступила в редакцию
11.01.94

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1995. Т. 36, № 1

УДК 532.74; 532.37

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ГЛИЦИЛТРИПТОФАНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Л. И. Иваньян, Л. В. Левшин, Б. Д. Рыжиков

(кафедра общей физики)

Исследованы структурные изменения, происходящие в водном растворе глицилтриптофана под воздействием постоянного магнитного поля (ПМП). Наблюдались изменения ближайшего окружения молекул примеси и структуры во всем объеме вещества, а при снятии ПМП происходили только изменения структуры во всем объеме раствора. Результаты подтверждают наличие нескольких равновесных структур в водных растворах глицилтриптофана.

В последние годы сильно возрос интерес к изучению структуры воды и возможным ее изменениям под воздействием внешних магнитных полей [1—7]. Известно, что в обычных условиях молекулы воды представляют собой сетку деформированных *H*-связей [1]. Вместе с тем вопрос о влиянии на структуру воды различных примесей и внешних полей изучен явно недостаточно.

В настоящей работе исследовалось влияние постоянного магнитного поля (ПМП) на водные растворы по изменениям их спектров комбинационного рассеяния света (КРС) и люминесценции. Об изменениях структуры водных растворов во всем объеме можно судить по изме-