

ВОЗБУЖДЕНИЕ K И L УРОВНЕЙ АТОМОВ
МОДУЛИРОВАННЫМИ РЕНТГЕНОВСКИМИ ПУЧКАМИ

М. А. НАВАСАРДЯН, О. С. СЕМЕРДЖЯН, Р. Ц. ГАБРИЕЛЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 14 июня 1996 г.)

Используя модулятор рентгеновского излучения и применяя MoK_{α} и CuK_{α} излучения в качестве модулированных и возбуждающих пучков, возбуждено большое число атомов со средними и сравнительно большими атомными номерами. Зарегистрировано рентгенфлуоресцентное излучение K_{α} , L_{α} , L_{β} линий атомов. Флуоресцирующий образец находился в атмосфере и обычно располагался на расстоянии 5 мм от кристалла-сцинтиллятора у входа детектора излучения.

В работах [1—3] описан практичный модулятор рентгеновского излучения с мощными потоками фотонов, работающий в области тонкого кристалла, а именно, при $\mu t \leq 1$ (μ —коэффициент поглощения, t —толщина кристалла). Проходящий пучок при $\mu t = 0,7$ уменьшается всего в два раза. При наличии таких мощных потоков дифрагированного излучения (несколько миллионов фотонов в секунду для рентгеновской трубки или несколько десятков миллионов фотонов для синхротонного излучения) естественно ожидать применения таких модулированных пучков в качестве инструмента для изучения разных процессов, происходящих во временном масштабе в атомных системах или в атомах, в частности, в веществах, находящихся в разных агрегатных состояниях—рентгенфлуоресценция и люминесценция кристаллов, жидкостей, газообразных или плазменных сред. Этому способствует также то обстоятельство, что в вышеуказанных работах [1—3] наряду с модулированным пучком разработано приемное устройство с хорошей интегрирующей электрической цепью, состоящей в основном из индуктивностей и емкостей, величины которых можно изменять, исходя из требований данной задачи.

В данной работе была поставлена задача: попытаться возбудить K и L уровни некоторых атомов, для которых энергия K или L -краев поглощения меньше, чем энергия фотона K_{α} линии молибдена или меди, применяемых в качестве модулированного пучка, а также регистрировать рентгенфлуоресцентные излучения, испускаемые возбужденными атомами, и оценить интенсивности этих пучков в зависимости от атомного номера исследуемых атомов и от расстояний возбужденного вещества от детектора.

Схема эксперимента показана на рис. 1, где из источника рентгеновского излучения (1) пучок (2) направляется на кристалл-моду-

лятор (3), установленный с помощью гониометра (4) в отражающее положение по Лауэ. В модуляторе образуется дифрагированный рентгеновский пучок (7), который направляется на образец (8). Для превращения пучка (7) в модулированный пучок из системы низкочастотного (5) и высокочастотного (6) генераторов модулированное электрическое колебание подается на кристалл-модулятор, в котором под воздействием возникающих модулированных акустических колебаний на модуляторе (3) пучок (7) осциллирует согласно низкочастотным колебаниям от генератора (5).

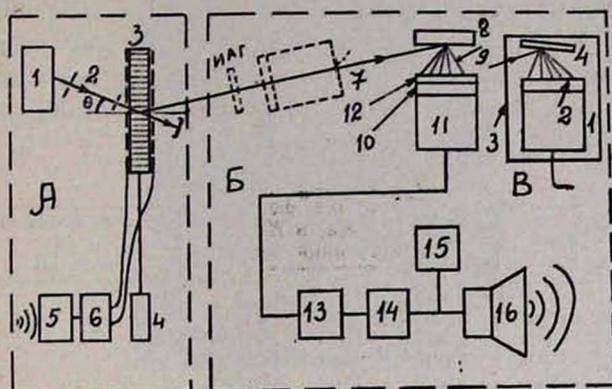


Рис. 1. Схема возбуждения и регистрации флуоресцентного излучения. А—модулированная часть рентгеновского излучения, Б—приемная часть модулированного флуоресцентного пучка с флуоресцирующим образцом. 1—источник рентгеновского излучения, 2—первоначальный падающий пучок, 3—кристалл-модулятор с электродами, 4—гониометр, 5—низкочастотный генератор (или микрофон), 6—высокочастотный генератор, 7—падающее монохроматическое и модулированное излучение, 8—флуоресцирующий образец, 9—флуоресцентный пучок, 10—сцинтиллятор на основе $NaI(Tl)$ с бериллиевой заслонкой (12), 11—детектор, 13—интегрирующая схема, 14—усилитель, 15—осциллограф, 16—громкоговоритель. В—детектор (1) с антраценом (2), бумажным футляром (3) и образцом (4), испускающим длинноволновое рентгеновское излучение

Под воздействием этого пучка в образце (8) формируется модулированный флуоресцирующий пучок (9), который, преобразуясь в сцинтилляторе (10) в световые кванты и пройдя через детектор (11) с бериллиевым покрытием (12), преобразуется в электрические импульсы. Эти импульсы группируются согласно такту низкочастотного колебания от генератора (5) и передаются интегрирующей схеме (13), в которой сгруппировавшиеся индивидуальные электрические импульсы формируют аналоговые сигналы. После этого сигналы от интегрирующей схемы передаются к усилителю (14), а затем к осциллографу (15) и громкоговорителю (16). Работа выполнялась на дифрактометре ДРОН-3 со сцинтилляционным счетчиком БДС-6.

В таблице представлен список атомов, подвергшихся воздействию модулированного пучка. Часть этих атомов (веществ) находилась в

чистом атомарном состоянии (*Mo, Y, Ge, Zn, Cu, Fe, Cr, Si, Al, Mg, Ag, Cd, Sn, I, Ta, W, Au, Pb, Bi*), а другая часть — в составе химического соединения: *Zr(ZrSiO₄), Y(Y₃Al₅O₁₂), Br(AgBr), Ga(GaP), Ca(CaCO₃), K(KCl), Cl(NaCl)*. В таблице представлены энергии фотонов $K_{\alpha_1}, K_{\alpha_2}, L_{\alpha_1}, L_{\beta_1}$ линий и энергия $K-, L_{II-}, L_{III-}$ краев поглощения этих атомов. Знаком (+) указаны атомы (вещества), у которых обнаружено рентгенфлуоресцентное модулированное излучение (сцинтиллятор из *NaI(Tl)*), а знаком (—) — атомы (вещества), у которых такое излучение этим сцинтиллятором (БДС-6) не зарегистрировано. Список атомов разделен на две части: в верхней половине расположены атомы, K -край поглощения которых меньше, чем энергия фотонов MoK_{α} линии, а в нижней части энергия K -края поглощения соответствующих атомов больше, чем энергия фотонов MoK_{α} линии. У последних возбуждаются $L_{\alpha_1}, L_{\beta_1}$ линии.

Таблица

Химический элемент и характер эхо			Энергия K -края, эВ	Энергия фотонов K_{α_1} и K_{α_2} линий, эВ		Энергия фотонов L_{α_1} и L_{β_1} линий, эВ		Энергия L_{II-} — L_{III-} краев поглощения, эВ	
а)	1	<i>Mo</i> (42) (—)	20004	17479	17374				
	2	<i>Zr</i> (40) (—)	17999	15775	15691				
	3	<i>Y</i> (39) (+)	17038	14958	14883				
	4	<i>Br</i> (35) (+)	13470	11924	11878				
	5	<i>Ge</i> (32) (+)	11104	9855	9886				
	6	<i>Ga</i> (31) (+)	10368	9251	9225				
	7	<i>Zn</i> (30) (+)	9661	8639	8616				
	8	<i>Cu</i> (29) (+)	8332	8048	8028				
	9	<i>Ni</i> (28) (+)	7709	7478	7460				
	10	<i>Fe</i> (26) (—)	6538	6403	6391				
	11	<i>Cr</i> (24) (—)	5989	5415	5405				
	12	<i>Ca</i> (20) (—)	4038	3692	3688				
	13	<i>K</i> (19) (—)	3608	3314	3311				
	14	<i>Cl</i> (17) (—)	2819	2622	2620				
	15	<i>Si</i> (14) (—)	1840	1740	1739				
	16	<i>Al</i> (13) (—)	1560	1487	1486				
	17	<i>Mg</i> (12) (—)	1303		1253				
	18	<i>Na</i> (11) (—)	1072		1040				
б)	19	<i>Ag</i> (47) (—)	25516	22163	21990	2984	3150	3525	3350
	20	<i>Cd</i> (48) (—)	26716	23174	22984	3133	3316	3728	3537
	21	<i>In</i> (49) (—)	27942	24210	24002	3286	3487	3939	3730
	22	<i>Sn</i> (50) (—)	29195	25271	25044	3443	3662	4157	3928
	23	<i>I</i> (53) (—)	33167	28612	28317	3937	4220	4854	4558
	24	<i>Gd</i> (64) (+)	50233	42996	42310	6057	6713	7931	7243
	25	<i>Ta</i> (73) (+)	67403	57532	56277	8146	9343	11132	9876
	26	<i>W</i> (74) (+)	69508	59318	57981	8397	9672	11538	10199
	27	<i>Au</i> (79) (+)	80720	68804	66990	9713	11442	13736	11921
	28	<i>Pb</i> (82) (+)	88005	74969	72804	10551	12613	15205	13040
	29	<i>Bi</i> (83) (+)	90534	77108	74815	10838	13023	15719	13426

Наиболее интенсивным получается рентгенфлуоресцентное излучение иттрия (*Y*) при использовании MoK_{α} излучения, т. к. максимум в графике коэффициента поглощения иттрия совпадает с длиной волны K_{α} линии молибдена [4]. Флуоресцентное излучение регистрировалось под углом $\sim 90^\circ$ по отношению к падающему пучку (7). Образец иттрий-алюминиевого граната (ИАГ) $Y_3Al_5O_{12}$ располагался также на пути модулированного пучка таким образом, чтобы пучок, проходя через

образец ИАГ, возбуждал в нем флуоресцентное излучение. На рис 2а, б показаны модулированные пучки от ИАГ и от свинца (Pb) соответственно.

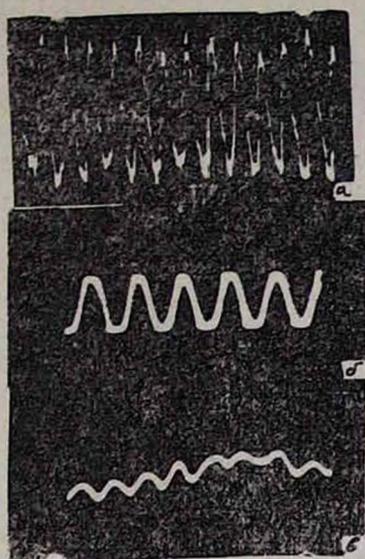


Рис. 2. Картина модулированного флуоресцентного излучения от разных образцов: а) ИАГ ($E_{\text{к-край}} < E_{\text{h}\nu, \text{Mo}}$), б) свинец ($E_{\text{к-край}} < E_{\text{h}\nu, \text{Mo}}$), в) Ag при использовании сцинтиллятора антрацена ($\text{C}_{14}\text{H}_{10}$) ($E_{\text{к-край}} < E_{\text{h}\nu, \text{Mo}}$).

Так как генерированное флуоресцентное излучение распространяется по всему телесному углу, то при приближении кристаллической пластинки ИАГ к кристаллу-модулятору интенсивность пучка, попадающего на сцинтиллятор, уменьшается и картина модуляции исчезает, и наоборот, при приближении ИАГ к сцинтилляционному счетчику появляется картина модуляции, и звуковая передача восстанавливается.

Из таблицы видно, что не регистрируются излучения от тех атомов, у которых K_{α} , L_{α_1} , L_{β_1} линии в основном поглощаются бериллиевым окном сцинтиллятора. Знаком (—) указаны именно такие атомы, у которых интенсивность флуоресцентного излучения, дошедшего до сцинтиллятора $\text{NaI}(\text{TI})$, настолько слаба, что модуляция не воспроизводится. Одним из ярких примеров таких атомов являются атомы железа; от Fe наблюдается чрезвычайно слабый пучок без малейшего намека на модуляцию, несмотря на то, что K_{α} линия железа ($\lambda = 1,936\text{Å}$) не очень сильно поглощается бериллием. Неожиданно

ведет себя и серебро. В случае Ag имеется значительное количество рассеянных фотонов ($\lambda_{L\alpha_1} = 4,154 \text{ \AA}$), но регистрируется чрезвычайно слабая модуляция. Поэтому нами Ag был включен в список атомов со знаком (—). Справочные данные были взяты из [4].

Для регистрации фотонов от атомов со знаком (—) применялся сцинтиллятор другой конструкции с использованием антрацена ($C_{14}H_{10}$). Так как последний не боится влаги, он не покрывается бериллием, и фактор поглощения устраняется. В этом случае флуоресцирующий образец располагался внутри футляра счетчика (футляр был сделан из черной бумаги) так, что между образцом и сцинтиллятором находился только тонкий слой воздуха (см. рис. 1в). При такой конструкции сильно расширяется спектр регистрируемых фотонов. На рис. 2в показана картина модуляции от образца Ag при последней конструкции сцинтиллятора. Модуляция сильно флуоресцирующих образцов (Y , $Y_2Al_2O_{12}$, Ge , Pb и т.д.) регистрируется даже при расстоянии образца 15—20 мм от сцинтиллятора.

На легких атомах (H , Li , Be , B , C) образуются мощные потоки комптоновских фотонов. Но вопрос комптоновского рассеяния рассмотрен в другой нашей работе, которая уже представлена для опубликования. Здесь отметим только одно обстоятельство: этим способом удалось зарегистрировать модулированное комптоновское излучение даже от нескольких жидкостей, в частности, от воды.

Используя модулированные пучки с различной частотой модуляции, изучались также сцинтилляционные кристаллы с различными временами релаксации. Такой способ обеспечивает простое и легкодоступное изучение важных временных характеристик сцинтилляторов (жидких или твердых).

Таким образом, геометрия настоящего эксперимента и модулированный пучок дают возможность, во-первых, изучать временные характеристики люминесцирующих и флуоресцирующих объектов, и во-вторых, исследовать образцы в атмосферных условиях (т. е. минуя вакуумную часть установок). Эти преимущества дают возможность сильно расширить область применения метода рентгеноспектроскопических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Навасардян, П. А. Безирганян, К. Т. Айрапетян, С. С. Галстян. АС СССР № 1642933, 15.12.1990 г.
2. М. А. Навасардян, Ю. Р. Назарян, В. К. Мирзоян. Изв. АН Арм.ССР, Физика, т.14, 425 (1979).
3. А. Р. Мкртчян, М. А. Навасардян, В. К. Мирзоян и др. АС СССР № 1327716, 01.04.1987 г.
4. М. А. Блохин, И. Г. Швейцер. Рентгеноспектральный справочник. М., «Наука», 1982 г.

EXCITATION OF K- AND L-LEVELS OF ATOMS BY MODULATED X-RAY BEAMS

M. A. NAVASARDYAN, H. S. SEMERGIAN, R. Tz. GABRIELIAN

Using the X-ray modulators and applying the MoK - and CuK - radiation beams, the atoms of many elements with average and comparatively high atomic numbers were excited. X-ray fluorescence radiation of the atomic K_{α} , L_{α} , and L_{β} lines was recorded. The sample was placed in atmosphere 5 mm apart from the scintillating crystal near the input of the X-ray detector.

ԱՏՈՄՆԵՐԻ K ԵՎ L ՄԱԿԱՐԴԱԿՆԵՐԻ ԳՐԳՌՈՒՄԸ ՄՈԴՈՒԼՎԱԾ ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ՓՆՋԵՐԻ ՄԻՋՈՑՈՎ

Մ. Ա. ՆԱՎԱՍԱՐԴՅԱՆ, Հ. Ս. ՍԵՄԵՐՋՅԱՆ, Ռ. Յ. ԳԱՐԻԵԼՅԱՆ

Օգտագործելով ունեղենյան ճառագայթների մոդուլարարներ և որպես մոդուլված և գրգռվող փնջեր կիրառելով MoK_{α} և CuK_{α} ճառագայթները գրգռվել են միջին և մեծ ատոմային համարների մեծ թվով քիմիական նյութերի ատոմները: Գրանցվել են ատոմների ունեղենաֆլուորենացենտային ճառագայթների K_{α} , L_{α} , L_{β} գծերը: Ֆլուորենացենցող նմուշը դրվել է մթնոլորտային պայմաններում, սովորաբար գետնկտորի մուտքին տեղադրված սցինտիլյացիոն բյուրեղից 5մմ հեռավորության վրա: