

## О НЕПРЕРЫВНОМ СПЕКТРЕ, ИСПУСКАЕМОМ ЧАСТИЦАМИ, ВЫБИТЫМИ ИОННЫМ ПУЧКОМ С ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ МИШЕНЕЙ

*Т.С.Киян, В.В.Грицына, Ю.Е.Логачев, Я.М.Фогель*

Приводятся результаты исследования непрерывного спектра, испускаемого частицами выбитыми ионным пучком с поверхности твердых мишеней. Высказывается предположение, что непрерывный спектр испускается выбитыми частицами, электронные оболочки которых испытали коллективное возбуждение в процессе выбивания.

При изучении спектра свечения возбужденных частиц, образующихся при бомбардировке поверхности твердых мишеней ионным пучком, помимо линейчатого спектра, испускаемого рассеянными атомами пучка [1] и атомами вещества мишени [2,3], нами наблюдался непрерывный спектр. В настоящем сообщении приводятся результаты более подробного изучения этого спектра.

Исследования производились с помощью экспериментальной установки, описанной в работе [2]. Мишени бомбардировались пучками ионов  $He^+$ ,  $Ne^+$ ,  $Ar^+$  с энергией 30 кэВ и плотностью тока пучка - 200 мкА/см<sup>2</sup>. Исследуемое свечение разлагалось в спектр с помощью спектрографа ИСП -51, ось которого была перпендикулярна к плоскости, образованной осью бомбардирующего пучка и нормалью к поверхности мишени, что обеспечивало попадание в спектрограф излучения только возбужденных частиц, отлетающих от мишени. Спектр свечения этих частиц в области длин волн 4000 - 7000 Å фотографировался на пленку КН-4С. Фотография одного из таких спектров приведена на рис. 1. Как видно из этого рисунка в спектре свечения кроме спектральных линий, испускаемых возбужденными атомами и ионами частиц мишени и пучка, наблюдается непрерывный спектр. Распределение интенсивности в непрерывном спектре иллюстрируется на рис. 2.

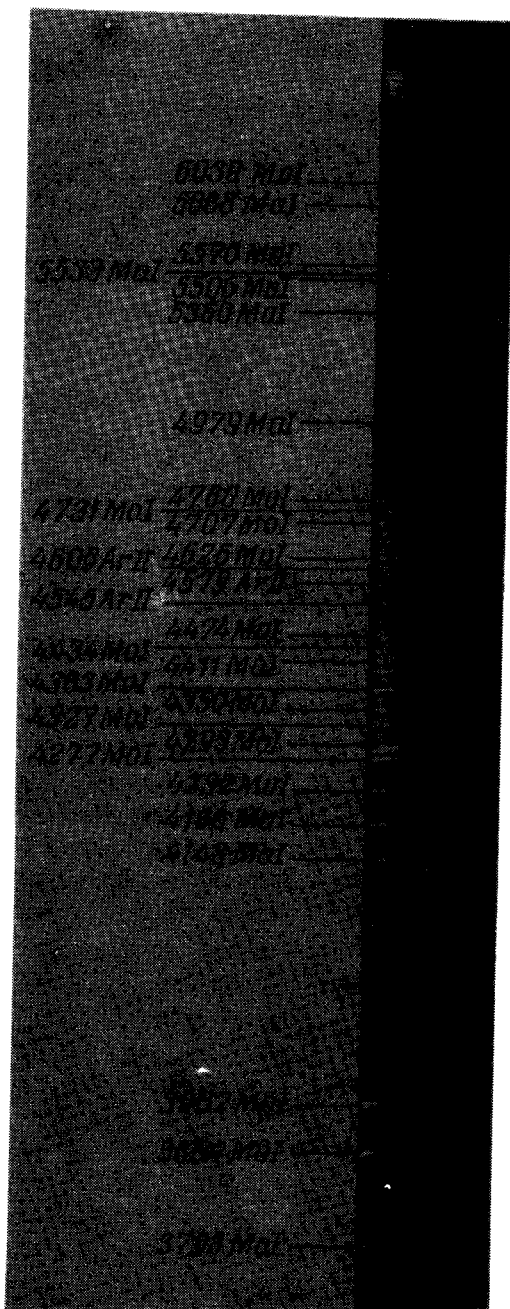


Рис. 1. Спектр свечения Mo при бомбардировке ионами  $Ag^+$ .

Результаты исследования 22-х мишеней (см. таблицу) сводятся к следующему .

1. Непрерывный спектр наблюдается только в свечении мишеней из переходных металлов I, II, III периодов периодической системы с незаполненной *nd* оболочкой (исключение – Pd).
2. Распределение интенсивности в непрерывном спектре не зависит ни от рода мишени, ни от рода частиц пучка (рис.2) .

3. Интенсивность непрерывного спектра не изменяется при увеличении температуры мишени вплоть до 500°C.
4. Интенсивность непрерывного спектра не изменяется при подаче на мишень положительного или отрицательного потенциала по отношению к земле ( $\pm 300$  в).
5. Интенсивность непрерывного спектра уменьшается с уменьшением массы бомбардирующего иона.
6. Непрерывный спектр исчезает при впуске в камеру мишени кислорода или аргона до давления  $10^{-3}$  мм. рт. ст.
7. Длительное прокаливании мишени при 1500°C в вакууме или в атмосфере кислорода<sup>1)</sup> не влияет на интенсивность непрерывного спектра.

мишень	*)	электронная конфигурация атома	мишень	*)	электронная конфигурация атома
<sup>4</sup> Be <sub>9</sub>	-	[He] 2s <sup>2</sup>	<sup>41</sup> Nb <sub>93</sub>	+	[Kr] 4d <sup>4</sup> 5s <sup>1</sup>
<sup>6</sup> C <sub>12</sub>	-	[He] 2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup>	<sup>42</sup> Mo <sub>96</sub>	+	[Kr] 4d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup>
<sup>12</sup> Mg <sub>24</sub>	-	[Ne] 3s <sup>2</sup>	<sup>46</sup> Pd <sub>106</sub>	+	[Kr] 4d <sup>10</sup>
<sup>13</sup> Al <sub>27</sub>	-	[Ne] 3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>	<sup>47</sup> Ag <sub>108</sub>	-	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup>
<sup>14</sup> Si <sub>28</sub>	-	[Ne] 3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup>	<sup>48</sup> Cd <sub>112</sub>	-	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>
<sup>20</sup> Ca <sub>40</sub>	-	[Ar] 4s <sup>2</sup>	<sup>49</sup> In <sub>115</sub>	-	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>1</sup>
<sup>23</sup> V <sub>51</sub>	+	[Ar] 3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup>	<sup>50</sup> Sn <sub>119</sub>	-	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>2</sup>
<sup>24</sup> Cr <sub>52</sub>	+	[Ar] 3d <sup>5</sup> 4s <sup>1</sup>	<sup>73</sup> Ta <sub>181</sub>	+	[Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>
<sup>28</sup> Ni <sub>59</sub>	+	[Ar] 3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>	<sup>74</sup> W <sub>184</sub>	+	[Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>
<sup>29</sup> Cu <sub>64</sub>	-	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup>	<sup>78</sup> Pt <sub>195</sub>	+	[Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>9</sup> 6s <sup>1</sup>
<sup>30</sup> Zn <sub>65</sub>	-	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>	<sup>82</sup> Pb <sub>207</sub>	-	[Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>5</sup>

- \*) + сплошной спектр присутствует  
 - сплошного спектра нет.

<sup>1)</sup> Прокаливание при высокой температуре в атмосфере кислорода удаляет из мишени примесь углерода [4]; прокаливании в вакууме уменьшает содержание в мишени примеси щелочных металлов.

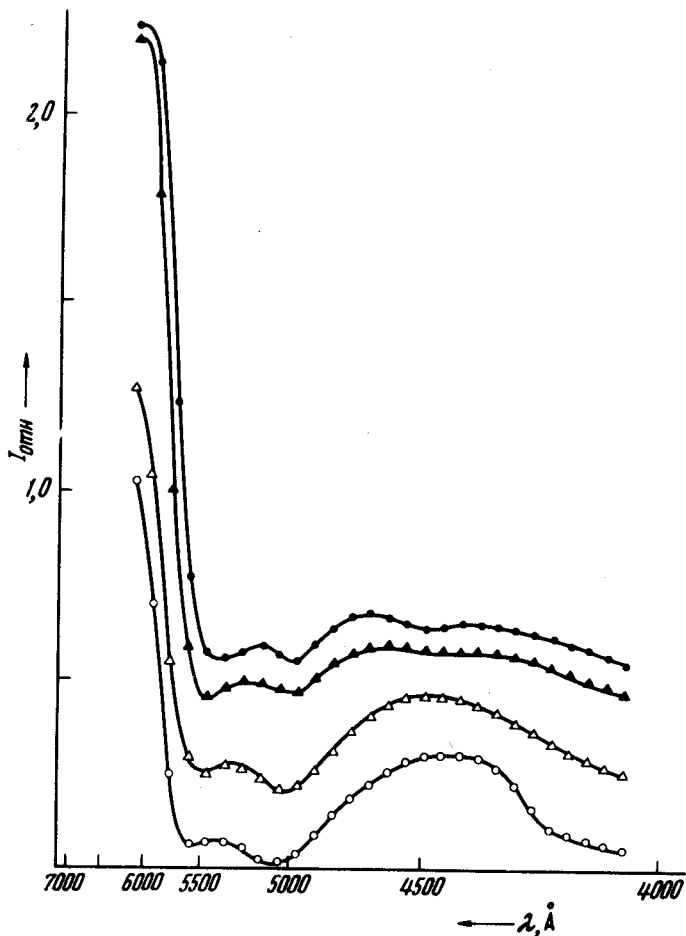


Рис. 2. Распределение интенсивности в непрерывном спектре  
 ● — мишень Mo, ионы  $Ag^+$ ; ▲ — мишень Mo, ионы  $Ne^+$ ; ○ —  
 мишень Pt, ионы  $Ag^+$ ; △ — мишень Pt, ионы  $Ne^+$ .

Полученные результаты позволяют сделать следующие предварительные выводы.

1. Непрерывный спектр не может излучаться выбитыми возбужденными частицами вещества мишени или бомбардирующего пучка, так как распределение интенсивности в нем не зависит ни от природы мишени, ни от рода пучка.
2. Непрерывный спектр не может излучаться выбитыми возбужденными атомарными частицами, испускающими фотоны с одновременным переходом электронов в континуум (радиационный процесс Оже), так как и в этом случае распределение энергии в нем должно было бы зависеть либо от природы мишеней, либо от рода бомбардирующего пучка.

3. Не исключена возможность, что наблюдающийся непрерывный спектр испускается колеблющимися электронными оболочками выбитых атомов мишени, испытывавшими коллективное возбуждение в процессе их выбивания ионами бомбардирующего пучка.

Предположение о возможности коллективного возбуждения электронной оболочки атома было высказано Блохом еще в 1933 году [5], затем оно интенсивно дискутировалось [6, 7], но ни в одном эксперименте его существование не было убедительно доказано.

Исследование описанных в настоящем сообщении непрерывных спектров нами продолжается с целью подтверждения высказанной гипотезы об их происхождении.

Харьковский  
государственный университет

Поступила в редакцию  
28 октября 1974 г.

### Литература

- [ 1 ] V.V.Gritsyna, T.S.Kijan, A.G.Koval', Jа.М.Fogel'. Phys. Lett., 27A, 292, 1968.
- [ 2 ] В.В. Грицына, Т.С.Киян, Р.Гутт, А.Г.Коваль, Я.М.Фогель. Изв. АН СССР, серия физ., 35, 578, 1971.
- [ 3 ] V. V. Gritsyna , T.S. Kijan, A.G.Koval',Jа.М.Fogel'.Radiation effects, 14, 77, 1972.
- [ 4 ] В.Я.Колот, В.И.Татусь, В.Ф.Рыбалко, Я.М.Фогель. УФЖ, 15, 278, 1970.
- [ 5 ] F.Bloch. Z. Phys., 81, 363, 1933.
- [ 6 ] Д.А.Киржниц, Ю.Е.Лозовик. УФН, 89, 39, 1966.
- [ 7 ] М.Я.Амусья.Многочастичные эффекты в электронных оболочках атомов, ФТИ АН СССР, Ленинград, 1968.