

# **СБОРНИК ЗАДАЧ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДАМ ИЗМЕРЕНИЯ**

по курсу  
**ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**  
для бакалавров направления - 14.03.02 Ядерные физика и технологии  
5 семестр

## ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

**Задача 1.** Светопропускание исследуемого раствора равно 80%. Вычислить оптическую плотность раствора.

**Задача 2.** При фотоколориметрическом определении  $\text{Fe}^{3+}$  с сульфосалициловой кислотой из стандартного раствора с содержанием железа  $10 \text{ мг/см}^3$  приготовили ряд разведений в мерных колбах вместимостью  $100 \text{ см}^3$ , измерили оптическое поглощение и получили следующие данные:

$V_{\text{ст}}, \text{ см}^3$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$A$	0,12	0,25	0,37	0,50	0,62	0,75

Определите концентрацию  $\text{Fe}^{3+}$  в анализируемых растворах, если их оптическое поглощение равно 0,30 и 0,50.

**Задача 3.** Для определения длины волны интересующей линии  $\lambda_x$  были выбраны две линии в спектре железа с известными длинами волн:  $\lambda_1=325,436$  и  $\lambda_2=328,026$  нм. На измерительной шкале микроскопа были получены следующие отсчеты:  $b_1=9,12$ ,  $b_2=10,48$ ,  $b_x=10,33$  мм. Какова длина волны искомой линии в спектре образца?

**Задача 4.** После растворения 0,25 г. стали раствор разбавили до 100,0 мл. В три колбы вместимостью 50,0 мл поместили по 25,0 мл этого раствора и добавили: в первую колбу стандартный раствор, содержащий 0,50 мг Ti, растворы  $\text{H}_2\text{O}_2$  и  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , во вторую – растворы  $\text{H}_2\text{O}_2$  и  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , в третью – раствор  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (нулевой раствор). Растворы разбавили до метки и фотометрировали два первых раствора относительно третьего. Получили значения оптической плотности:  $A_{x+\text{ст}}=0,650$ ,  $A_x=0,250$ . Рассчитать массовую долю (%) Ti в стали.

**Задача 5.** Определите содержание  $\text{Ca}^{2+}$  в растворе (в  $\text{мкг/см}^3$ ), если при фотометрировании пламени этого раствора методом добавок получены следующие результаты при добавках стандарта  $x=10 \text{ мкг/см}^3$ .

$I, \text{ мкА}$	0	10	30	50	70
$C$	$c_x$				

**Задача 6.** При определении марганца в сплаве методом добавок навеску массой 0,5000г растворили и разбавили раствор до 200,0 мл. Отобрали четыре одинаковые порции раствора и к каждой порции добавили такие же порции стандартных растворов марганца, содержащих 0; 2; 4; 6  $\text{мкг/мл}$  марганца.

На атомно-абсорбционном спектрофотометре измерили оптическую плотность для аналитической линии 279,48 нм, распыляя растворы в пламени ацетилен-воздух. Значения оптической плотности соответственно составляют 0,225; 0,340; 0,455; 0,570. Вычислите массовую долю марганца в сплаве (%).

**Задача 7.** Из навески  $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  массой 0,3260 г приготовили 100,0 мл раствора. В мерные колбы вместимостью 50,0 мл вместили по  $V$  (мл)

полученного раствора, добавили к ним стабилизирующий коллоид и серную кислоту для образования  $PbSO_4$ , довели до метки дистиллированной водой и измерили кажущуюся оптическую плотность  $A_{\text{каж}}$ :

$V$ , мл	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00
$A_{\text{каж}}$	0,65	0,40	0,32	0,27	0,22

Пробу объемом 50,0 мл анализируемой воды разбавили до 200,0 мл и 10,00 мл полученного раствора обработали так же, как и стандартные растворы. Определите концентрацию (г/л) свинца в воде, если кажущаяся оптическая плотность  $A_{\text{каж}}=0,53$ .

**Задача 8.** При анализе пробы массой 0,9816г на содержание кобальта хемиллюминесцентным фотографическим методом на одну фотопластинку снимали свечение пробы анализируемого раствора, стандартов и холостого опыта. В ячейки кюветы помещали по 0,5 мл раствора соли кобальта, прибавляли салицилат натрия (для устранения мешающего действия катионов меди и железа) и одинаковое количество перекиси водорода. Затем кювету выдерживали до полного прекращения свечения; пластинку фотометрировали на микрофотометре МФ-2. Значение  $\Delta S$  стандартных растворов, содержащих 4,0; 8,0; 12,0; 16,0 мкг/мл кобальта, составили 0,17; 0,28; 0,40; 0,53 соответственно. Вычислите массовую долю (%) кобальта в пробе, если  $\Delta S_x = 0,20$ .

**Задача 9.** Для определения длины волны интересующей линии  $\lambda_x$  были выбраны две линии в спектре железа с известными длинами волн:  $\lambda_1=325,436$  и  $\lambda_2=328,026$  нм. На измерительной шкале микроскопа были получены следующие отсчеты:  $b_1=9,12$ ,  $b_2=10,48$ ,  $b_x=10,33$  мм. Какова длина волны искомой линии в спектре образца?

**Задача 10.** Коэффициент молярного поглощения  $KMnO_4$  при длине волны 546 нм равен 2420. Оптическая плотность исследуемого раствора в кювете толщиной 2 см равен 0,80. Чему равна концентрация  $KMnO_4$  в г/см<sup>3</sup>.

**Задача 11.** Рассчитать минимально определяемую массу (в мг) железа (III) по реакции сульфосалициловой кислотой в аммиачной среде при использовании кюветы с толщиной слоя 5 см; объем окрашенного раствора равен 5,0 см<sup>3</sup>; коэффициент молярного поглощения равен 4000; минимальная оптическая плотность, измеряемая прибором, составляет 0,01.

**Задача 12.** Навеску стали 0,2500 г растворили в смеси кислот. Раствор разбавили в мерной колбе вместимостью 100,0 см<sup>3</sup>. К 25,0 см<sup>3</sup> полученного раствора добавили для определения титана пероксид водорода, фосфорную кислоту, разбавили до 50,0 см<sup>3</sup>. Оптическая плотность полученного желтого раствора равна 0,220. К другой порции 25,0 см<sup>3</sup> добавили раствор, содержащий 0,2000 мг титана, и обработали аналогично первому раствору. Оптическая плотность этого раствора оказалась 0,500. Чему равна массовая доля Ti в стали?

**Задача 13.** Определить интенсивность излучения, генерируемого атомами углерода при переходе  $3 \rightarrow 2$  из плазменного шнура диаметром 1 см, находящегося в состоянии термодинамического равновесия при температуре 7000К и атмосферном давлении.

**Задача 14.** Пропускание раствора с концентрацией 10 мкг/мл вещества, измеренное в кювете длиной 1,3 см равно 22%. Рассчитайте коэффициент поглощения вещества.

**Задача 15.** Пропускание раствора  $\text{KMnO}_4$  с концентрацией 4,48 мкг/мл<sup>-1</sup>, измеренное в кювете длиной 1 см при 520 нм, равно 0,309. Рассчитайте молярный коэффициент поглощения.

**Задача 16.** Для определения никеля в катализаторе гидрирования жиров навеску катализатора, равную 0,2150 г, растворили, довели до метки в мерной колбе вместимостью 200,0 см<sup>3</sup>. К 10,0 см<sup>3</sup> этого раствора добавили тартрата калия-натрия, аммиак, персульфат аммония, диметилглиоксим, подогрели в течении 5 минут, охладили. По градуировочному графику определили, что в анализируемом растворе содержится 2,1000 мг никеля. Определить массовую долю никеля в катализаторе.

**Задача 17.** Какое соединение –  $\text{Co}(\text{SCN})_4$  ( $\epsilon_{620}=1000$ ) или  $\text{Co}(\text{SCN})_6^{2+}$  ( $\epsilon_{530}=10$ ) следует выбрать для определения «следов» ( $10^{-4}$  моль/л) кобальта (II).

**Задача 18.** Определить содержание меди (%) в 10 граммах образца, 1,0000 грамм которого растворили в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. Оптическое поглощение полученного раствора в кювете с толщиной 3 см составило 0,675, а  $\epsilon=4,5 \cdot 10^4$ .

**Задача 19.** Поглощение раствора с концентрацией 3,7500 мг в 100,0 мл, измеренное в кювете длиной 1,50 см при 480 нм, равно 39,6%. Рассчитайте молярный коэффициент поглощения этого вещества.

**Задача 20.** Молярный коэффициент поглощения комплекса висмута (III) с тиомочевинной равен  $9,3 \cdot 10^3$  л/(см моль) при 470 нм.

а) какова оптическая плотность  $6,2 \cdot 10^{-5}$  М раствора комплекса, измеренная при 470 нм в кювете длиной 2 см?

б) каково пропускание этого раствора в процентах?

с) какова должна быть концентрация комплекса в растворе, чтобы оптическая плотность равнялась найденной в п.(а) при 470 нм и толщине слоя 5 см?

**Задача 20.** Молярный коэффициент поглощения комплекса  $\text{FeSCN}^{2+}$  при 580 нм (в максимуме поглощения) равен  $7,0 \cdot 10^3$  л/(см моль). Рассчитайте:

а) оптическую плотность  $2,5 \cdot 10^{-3}$  М раствора комплекса, измеренную при 580 нм в кювете длиной 1 см,

б) оптическую плотность раствора с концентрацией в два раза большей, чем в п.(а),

в) пропускание раствора с концентрацией, указанной в п.(а) и(б),

г) оптическую плотность раствора с концентрацией в два раза меньшей, чем в п.(а)

**Задача 21.** Молярный коэффициент поглощения лекарственного препарата ретинола ацетата ( $C_{22}H_{32}O_2$ ) в спиртовом растворе равен  $\epsilon=50900$  при 326 нм. Рассчитайте оптимальную концентрацию в г/л ретинола ацетата в спиртовом растворе, если длина кюветы равна 1 см.

**Задача 22.** Рассчитайте молярный коэффициент поглощения комплекса меди, если оптическая плотность раствора, содержащего 0,4000 мг меди в 250,0 мл при длине кюветы 1 см равен 0,150.

**Задача 23.** Молярный коэффициент поглощения свинца с дитизоном при 485 нм равен  $6,8 \cdot 10^4$ . Чему равна оптическая плотность раствора, содержащего 3,0000 мкг  $PbO_2$  в 5 см<sup>3</sup> при измерении в 1-сантиметровой кювете?

**Задача 24.** Навеску стали 0,2500 г растворили в смеси кислот, раствор разбавили в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. к 25,0 мл полученного раствора добавили для определения титана пероксид водорода, фосфорную кислоту, разбавили до 50,0 мл. оптическая плотность полученного желтого раствора равна 0,220. К другой порции 25,0 мл добавили раствор, содержащий 0,2000 мг титана, и обработали аналогично первому раствору. Оптическая плотность этого раствора оказалась равной 0,5000. Чему равна массовая доля титана в стали?

**Задача 25.** Рассчитать концентрацию Fe(III) в исследуемом растворе по следующим данным фотометрического определения его с сульфосалициловой кислотой (при 416 нм) и кювете 2 см(исследуемый и стандартный раствор подготавливали для фотометрирования в одинаковых условиях). Стандартный раствор с концентрацией 2,0 мг/л имел оптическую плотность 0,285; раствор с концентрацией 4,0 мг/л – 0,56. Оптическая плотность исследуемого раствора равнялась 0,45. Рассчитать молярный коэффициент светопоглощения окрашенных растворов, полученных при данных условиях.

**Задача 26.** Рассчитать концентрацию раствора, содержащего Fe(III), по следующим данным и условиям фотометрического определения. К 1,0 мл раствора добавлен ацетон, раствор роданида аммония и вода до 100,0 мл. фотометрирование проводили в кювете толщиной 2 см. оптическая плотность (480 нм) окрашенного раствора равнялась 0,75. Молярный коэффициент светопоглощения при данных условиях равняется 14 000.

**Задача 27.** Пропускание раствора с концентрацией 3,2000 мг Al в 100,0 мл, измеренное при 480 нм в кювете толщиной 2 см, равно 34,6%. Рассчитайте молярный коэффициент поглощения этого вещества.

**Задача 28.** Коэффициент молярного поглощения комплекса  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$  при 580 нм равен 6000. Рассчитайте оптическую плотность  $3 \cdot 10^{-5}$  моль/дм<sup>3</sup> раствора комплекса, измеренную при 580 нм в кювете толщиной 2 см.

**Задача 29.** Коэффициент молярного поглощения комплекса бериллия с ацетилацетоном в  $\text{CHCl}_2$  при 290 нм равен 3000. Какое минимальное содержание бериллия (в %) можно определить в навеске 1,0000 г, растворенной в 50,0 мл в кювете с  $l=5$  см, если минимальное значение оптической плотности, которое с удовлетворительной точностью можно измерить на ФЭК-М, равно 0,02?

## РЕНТГЕНОВСКИЙ АНАЛИЗ

**Задача 1.** При какой длине волны импульс фотона будет равен импульсу молекулы водорода при комнатной температуре?

**Задача 2.** «Красная граница» для цезия  $\lambda_0=6,6 \cdot 10^{-7}$  м. Найдите: а) работу выхода электронов из цезия; б) максимальную скорость и энергию электронов, вырываемых из цезия излучением с длиной волны  $\lambda=220$  нм.

**Задача 3.** Поверхность площадью 100 см<sup>2</sup> каждую минуту получает 63 Дж световой энергии. Найти световое давление в случаях, когда поверхность: а) полностью отражает все лучи; б) полностью поглощает все излучение.

**Задача 4.** Первоначальная длина волны падающего рентгеновского излучения  $\lambda_0=0,003$  нм, скорость электрона отдачи равна 0,6 с. Определите изменение длины волны и угол рассеяния фотона.

**Задача 5.** Рентгеновская трубка работает под напряжением 40 кВ. Найти коротковолновую границу рентгеновского спектра.

**Задача 6.** Из какого вещества изготовлен антикатод рентгеновской трубки, если длина волны  $K_\alpha$ -линии характеристического спектра равна 0,076 нм?

**Задача 7.** Найти постоянную экранирования L-серии рентгеновских лучей, если известно, что при переходе электрона в атоме вольфрама с M на L слой испускаются рентгеновские лучи с длиной волны 143 пм.

**Задача 8.** Определите энергию одного фотона: а) для красного света ( $\lambda=600\text{нм}$ ); б) для жестких рентгеновских лучей ( $\lambda=0,01\text{нм}$ ).

**Задача 9.** Найдите массу фотона: а) монохроматического света ( $\lambda =5\cdot 10^{-7}\text{м}$ ); б) рентгеновских лучей ( $\lambda=0,0025\text{ нм}$ ); в) гамма-лучей ( $\lambda=1,24\cdot 10^{-3}\text{нм}$ ).

**Задача 10.** Найти энергию, массу и импульс фотона, если его длина волны  $1,6\text{ пм}$ .

**Задача 11.** Найти массу фотона, импульс которого равен импульсу молекулы водорода при  $T=20^\circ\text{C}$ . Массу молекулы водорода считать равной  $2,35\cdot 10^{-27}\text{ кг}$ , а ее скорость считать равной средней квадратичной скорости.

**Задача 12.** Определить длину волны фотона, импульс которого равен импульсу электрона, пролетевшего ускоряющую разность потенциалов  $4,9\text{ В}$ .

**Задача 13.** Найти напряжение, при котором должна работать рентгеновская трубка, чтобы минимальная волна излучения была равна  $1\text{ нм}$ .

**Задача 14.** Длина волны рентгеновского излучения, падающего на вещество со свободными электронами,  $\lambda_0=0,003\text{нм}$ . Какую энергию приобретает комптоновский электрон отдачи при рассеянии фотона под углом  $60^\circ$ ?

**Задача 15.** Найти изменение длины волны света при рассеянии его под углом  $90^\circ$  на свободных первоначально покоившихся протонах.

**Задача 16.** Фотон при столкновении с релятивистским электроном рассеялся под углом  $60^\circ$ , а электрон потерял почти всю кинетическую энергию. Найти изменение длины волны фотона при рассеянии, если до столкновения он обладал энергией  $0,51\text{ МэВ}$ .

**Задача 17** Определить максимальные комптоновские изменения длины волны при рассеянии фотонов на свободных первоначально покоившихся электронах и ядрах атома атомов водорода.

**Задача 18.** Рентгеновское излучение с длиной волны  $56,3\text{ пм}$  рассеивается плиткой графита. Определить длину волны лучей рассеянных под углом  $120^\circ$  к первоначальному направлению рентгеновских лучей.

**Задача 19.** Определить наибольшую скорость электронов, которые тормозятся на антикатоде рентгеновской трубки, если наименьшая длина волны сплошного спектра рентгеновского излучения равна  $5\cdot 10^{-10}\text{ м}$ .

**Задача 20.** Определить скорость электрона в рентгеновской трубке, прошедшего разность потенциалов  $10\text{ кВ}$ .

**Задача 21.** Определить скорость электронов, падающих на антикатод рентгеновской трубки, если минимальная длина волны  $\lambda_{\min}$  в сплошном спектре излучения равна 1 пм.

**Задача 22.** Определить коротковолновую границу сплошного спектра рентгеновского излучения, если напряжение на рентгеновской трубке 30 кВ?

**Задача 23.** Вычислить наибольшую длину волны в K-серии характеристического излучения скандия ( $Z=21$ ).

**Задача 24.** Определить энергию фотона, соответствующего линии  $K_{\alpha}$  в характеристическом спектре марганца

**Задача 25.** Рентгеновская трубка работает под напряжением 1 МВ. Определить наименьшую длину волны рентгеновского излучения.

**Задача 26.** Вычислить длину волны и энергию фотона, принадлежащего  $K_{\alpha}$ -линии в спектре характеристического рентгеновского излучения платины  $Z=78$ .

**Задача 27.** Наименьшая длина волны сплошного спектра рентгеновских лучей, полученного в результате торможения электронов на антикатоде рентгеновской трубки 0,5 нм. Какова наибольшая скорость электронов?

**Задача 28.** Антикатоде рентгеновской трубки бомбардируется электронами, скорость которых 100 Мм/с. Определить максимальную частоту излучения в сплошном рентгеновском спектре с учетом зависимости релятивистской массы электрона от скорости его движения.

**Задача 29.** Антикатоде рентгеновской трубки молибденовый. Найти минимальную разность потенциалов, которую необходимо приложить к трубке, чтобы в спектре рентгеновского излучения появилась линия K-серии молибдена. Постоянная экранирования для K-серии  $\sigma=1$ .

**Задача 30.** Если известно, что длина волны  $K_{\alpha}$ -линии железа равна 193 пм, подсчитать длину волны  $K_{\alpha}$ -линии меди.

**Задача 31.** Определить интервал длин волн между  $K_{\alpha}$ -линией и коротковолновой границей сплошного рентгеновского спектра с медным антикатодом при напряжении 20 кВ.

**Задача 32.** Найти постоянную экранирования  $\sigma$  для L-серии рентгеновских лучей, если известно, что при переходе в атоме вольфрама с M- на L-слой испускаются рентгеновские лучи с длиной волны 143 пм.



**Задача 33.** Найти длину волны  $K_{\alpha}$ -линии алюминия.

**Задача 34.** При переходе электрона в атоме с L- на K-слой испускаются рентгеновские лучи с длиной волны 78,8 пм. Какой это атом? Для K-серии постоянная экранирования  $\sigma=1$ .

**Задача 35.** При упругом рассеянии излучения с длиной волны  $\lambda = 0,07$  нм угол рассеяния  $2\theta = 60^\circ$ . Какой импульс приобрела квазичастица от рассеивателя? Как изменится угол рассеяния при той же передаче импульса для длин волн  $\lambda = 0,055$  и  $0,154$  нм? Каково максимально возможное изменение импульса при рассеянии для указанных длин волн?

**Задача 36.** При заданном направлении и длине волны  $\lambda_0$  падающего пучка изобразите возможные направления векторов рассеяния при условии, что их длина постоянна ( $|\mathbf{q}_1| = \text{const}$ ), и соответствующие направления волновых векторов рассеянных волн.  $\mathbf{q}_1$  - вектор рассеяния,  $|\mathbf{q}_1| = |\mathbf{K} - \mathbf{K}_0| = 2 \sin\theta / \lambda$ ,  $|\mathbf{K}_0| = |\mathbf{K}| = 1 / \lambda$ ,  $2\theta$  - угол между волновыми векторами рассеянной  $\mathbf{K}$  и падающей  $\mathbf{K}_0$  волн.

**Задача 37.** Излучение с длиной волны  $\lambda$  распространяется вдоль оси [110] кристаллической пластинки германия толщиной  $X$ , срезанной по плоскости (110). Для каких узлов, лежащих в плоскости (110) ОР, можно наблюдать дифракционные максимумы: 1)  $\lambda = 5 \cdot 10^{-3}$  нм,  $X = 1 \cdot 10^3$  нм; 2)  $\lambda = 4 \cdot 10^{-3}$  нм,  $X = 5 \cdot 10^2$  нм. Изменится ли количество максимумов в первом и втором случаях, если вместо германия поставить пластинку антимонида индия с той же ориентацией?

**Задача 38.** Перпендикулярно тонкой пластине совершенного монокристалла падает параллельный полихроматический пучок рентгеновских лучей диаметром 0,2 мм. Под углом  $2\theta_0 = 30$  и  $150^\circ$  на плоские пленки, перпендикулярные падающему пучку, фиксируются оба дифракционных максимума. Расстояние от образца до фотопленок  $A = 100$  мм. Как изменится вид пятна на рентгенограммах, если отражающие атомные плоскости в облучаемом объеме будут равномерно изогнуты так, что угол между крайними нормальными к этим плоскостям  $\delta = 1^\circ$ ? Рассмотрите три варианта:

1) ось изгиба параллельна линии пересечения лучевой плоскости с отражающей плоскостью – азимутальная разориентировка;

2) ось изгиба параллельна отражающей плоскости и перпендикулярна лучевой — радиальная разориентировка;

3) оба вида разориентировки имеются в облучаемом объеме одновременно.

Какой вид приобретут указанные пятна, если вместо непрерывного изгиба облучаемый объем разобьется на два совершенных субзерна, разориентированных на  $1^\circ$  в азимутальном или радиальном направлении?