

# **РАДИОАКТИВНЫЕ ИНДИКАТОРЫ В ХИМИИ**

## **Проведение эксперимента и обработка результатов**

---

Допущено  
Министерством высшего и среднего  
специального образования СССР  
в качестве учебного пособия  
для студентов университетов,  
обучающихся  
по специальности «Химия»



# Расчетные задачи

## 1. Радиоактивность

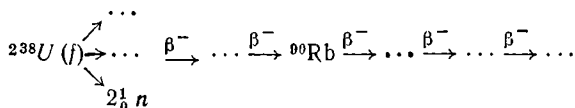
1. Вычислите энергию связи, приходящуюся на нуклон (в МэВ), в ядрах  $^{12}\text{C}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{133}\text{Cs}$  и  $^{238}\text{U}$ . Массы атомов изотопов соответственно равны 12,00000, 31,97391, 132,90509 и 238,05076. Масса электрона — 0,00055. Изменением массы за счет выделения энергии при образовании атомов из ядер и электронов можно пренебречь.

2. На каждые 1000 актов распада радиоактивного изотопа в среднем приходится 943  $\alpha$ -частицы с энергией 4,777 МэВ, 57  $\alpha$ -частиц с энергией, 4,589 МэВ и 57  $\gamma$ -квантов с энергией 0,188 МэВ. Постройте схему распада изотопа, если известно, что полная энергия распада 4,777 МэВ.

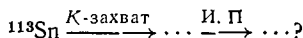
3. Постройте схему распада радиоактивного изотопа, испускающего  $\beta$ -частицы с  $E_{\max} = 0,271, 0,462, 1,560$  МэВ и  $\gamma$ -кванты с  $E_{\gamma} = 0,191, 1,098$  и 1,289 МэВ, если известно, что полная энергия распада составляет 1,560 МэВ.

4. Постройте схему распада радиоактивного изотопа, испускающего  $\alpha$ -частицы с энергией 4,195 (77%) и 4,145 (23%) МэВ и  $\gamma$ -кванты с энергией 0,050 МэВ. Полная энергия распада 4,195 МэВ.

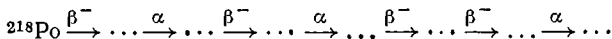
5. Впишите недостающие члены цепочки:



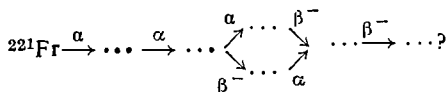
6. Какие изотопы образуются в результате превращений:



7. Укажите изотопы, образующиеся в ряду



8. Какие изотопы возникают в результате превращений:



9. Сколько  $\alpha$ -и  $\beta$ -частиц образуется при переходе:



10. Считая, что на образование одной пары ионов затрачивается 34 эВ, найдите полное число пар ионов, создаваемых  $\alpha$ -частицей с начальной энергией 4,2 МэВ. Приблизительно оцените величину пробега в воздухе (см)  $\alpha$ -частиц такой энергии.

11. Определите величину максимального пробега в алюминии  $\beta$ -частиц  $^{89}\text{Sr}$ , пользуясь графиком, таблицей и эмпирическими формулами.

12. Определите максимальную энергию  $\beta$ -спектра, если известно, что максимальный пробег  $\beta$ -частиц в алюминии составляет 62 мг/см<sup>2</sup>.

13. Были получены следующие данные по ослаблению в алюминии  $\beta$ -частиц неизвесгного изотопа:

Толщина поглотителя, мг/см <sup>2</sup> . . . . .	20	42	64	86	109	131	153	176	193	220	242	264	287	309	331	359	
Регистрируемое детектором число частиц (вместе с фоном) . . . . .	13	876	8235	5086	3213	1922	1220	699	409	197	110	56	38	26	21	19	20

Постройте кривую ослабления в полулогарифмических координатах. Определите максимальную энергию  $\beta$ -частиц по слою половинного ослабления и величине максимального пробега.

14. Снят начальный участок кривой ослабления  $\beta$ -частиц радиоактивного изотопа. Результаты (за вычетом фона) следующие:

Толщина алюминия, мг/см <sup>2</sup>	3,3	4,7	6,1	7,5	8,9
Регистрируемое детектором число частиц . . . . .	2510	1720	1213	837	568

Определите максимальную энергию  $\beta$ -частиц этого изотопа.

15. Рассчитайте, каков пробег в воздухе (в см при комнатной температуре и нормальном давлении)  $\beta$ -излучения <sup>90</sup>Y.

16. Определите, в какой степени будет ослаблено излучение <sup>89</sup>Sr стенками счетчика ядерных частиц, если толщина стенок составляет 60 мг/см<sup>2</sup>.

17. Препарат, содержащий смесь изотопов <sup>35</sup>S и <sup>48</sup>Ca, был покрыт слоем алюминия, достаточным для поглощения излучения <sup>35</sup>S. Подсчитайте, как ослабится при этом излучение <sup>48</sup>Ca.

18. Параллельные моноэнергетические пучки  $\alpha$ -частиц и электронов проходят через экраны, толщина которых равна половине пробега для каждого вида излучения. Как изменится при этом число  $\alpha$ -частиц и электронов? Как изменится в условиях данной задачи число  $\beta$ -частиц, имеющих непрерывный энергетический спектр? (Дайте количественные ответы).

19. Определите энергию  $\gamma$ -квантов, если известно, что слой половинного ослабления  $\gamma$ -излучения в алюминии составляет 1,9 см.

20. Вычислите, насколько будет ослаблено  $\gamma$ -излучение <sup>65</sup>Zn стенками стеклянного (плотность 2,7 г/см<sup>3</sup>) счетчика, толщина которых составляет 0,325 г/см<sup>2</sup>.

21. Рассчитайте толщину защитной стенки из свинца, достаточную для 500-кратного ослабления  $\gamma$ -излучения с энергией 1,25 МэВ.

22. Определите массу 1 Ки <sup>40</sup>K и 1 Ки <sup>42</sup>K.

23. Определите удельную активность <sup>238</sup>U.

24. Абсолютная активность 1 мг естественной смеси изотопов самария за счет распада радиоактивных ядер <sup>147</sup>Sm, составляет 1194 расп/мин. Определите период полураспада <sup>147</sup>Sm, принимая во внимание, что содержание этого изотопа в естественной смеси 15,07%.

25. Рассчитайте активность (в Ки) трития, занимающего при нормальных условиях объем, равный 1 см<sup>3</sup>.

26. Какой максимальный промежуток времени можно затратить на транспортировку иода-131, если уменьшение активности за время транспортировки не должно превышать 20%.

27. Приготовлен препарат <sup>32</sup>P. За какой промежуток времени распадается 3% изотопа и через какой промежуток времени останется 3% изотопа?

28. В препарате содержится 10<sup>14</sup> ядер изотопа <sup>35</sup>S. Определите активность (в Ки) препарата. Какое число ядер <sup>35</sup>S распадется за месяц?

29. Можно ли, используя раствор радиоактивного вещества, удельная активность которого 0,5 мКи/л, а концентрация — 25 мг/мл, получить образец удельной активностью 100 мКи/г?

30. Какое количество радиоактивного вещества удельной активностью 5 мКи/мл следует взять, чтобы приготовить 250 мл раствора того же вещества удельной активностью 0,5 мКи/мл?

31. Чему равна средняя продолжительность жизни изотопа, если за 2 суток распадется 30% от его начального количества?

32. Радиоактивный препарат содержит 100 мКи  $^{64}\text{Cu}$  и 20 мКи  $^{32}\text{P}$ . Через какое время активности обоих изотопов в препарате сравняются между собой?

33. Измерение активности препарата, содержащего изотоп  $^{80}\text{Br}$  ( $T_{1/2} = 18$  мин), начали через 7 мин после приготовления. В течение 10 следующих минут непрерывной регистрации было зарегистрировано 54 820 импульсов. Определите регистрируемую активность препарата (число импульсов в 1 мин) в момент приготовления.

34. Определите период полураспада изотопа на основании следующих данных:

Время, дни . . . . .	1	2	4	6	9	12	15
Регистрируемая активность без фона, имп/мин . . . . .	522	479	400	340	261	198	156

Пользуясь табл. П.1, определите, о каком изотопе может идти речь в данном случае.

35. Оцените периоды полураспада изотопов на основании следующих данных:

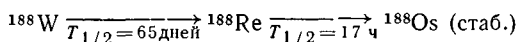
Время, мин . . . . .	2	4	8	12	22	32	52	72
Регистрируемая активность без фона, имп/мин . . . . .	3259	3133	2942	2680	2510	2321	2124	1850

36. Определите период полураспада дочернего изотопа, накапливающегося из долгоживущего изотопа, на основании приведенных результатов ( $a_2/a_1$  — отношение активностей дочернего и материнского изотопов в момент времени  $t$ ):

Время $t$ , дни . . . . .	1	2	3	4	6	9	12	15	18	22	26	30	30 $\infty$
$a_2/a_1$ . . . . .	0,166	0,304	0,420	0,516	0,663	0,804	0,886	0,934	0,962	0,981	0,991	0,996	1,00

Пользуясь табл. П.1, идентифицируйте изотоп.

37. Учитывая схемы превращения:



определите, через какой промежуток времени в препарате  $^{188}\text{W}$  накопится 80% от равновесного количества  $^{188}\text{Re}$ .

38. Определите время накопления максимального количества  $^{112}\text{Ag}$  ( $T_{1/2} = 3,2$  ч), образующегося из  $^{112}\text{Pd}$  ( $T_{1/2} = 21$  ч).

39. Приготовлен препарат  $^{140}\text{Ba}$ , свободный от продуктов распада, с начальной активностью 12 мКи. Определите активность препарата через 5 суток.

40. Соотношение постоянных распада материнского и дочернего изотопов отвечает случаю векового равновесия. Материнский изотоп предварительно очищен от дочернего. Удалось провести только 2 измерения активности дочернего изотопа, накапливающегося из материнского. Первое измерение было сделано через 3 ч, а второе — через 6 ч. Измеренная активность составила соответственно 1820 и 3410 имп/мин. Оцените период полураспада дочернего изотопа. Какова будет регистрируемая активность по достижении векового равновесия?

41. Через какое время активность  $^{90}\text{Y}$ , находящегося в равновесии со  $^{90}\text{Sr}$ , уменьшится в 8 раз?

42. Как уменьшится  $\alpha$ -активность  $^{238}\text{U}$  за время, по прошествии которого активность каждого из дочерних продуктов будет отличаться от равновесной не более чем на 0,1%?

43. 1 г чистого радия вместе с короткоживущими продуктами распада выделяет в год  $172 \text{ мм}^3$  гелия, измеренного при нормальных условиях. Пользуясь этими данными, найдите значение числа Авогадро.

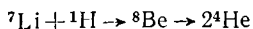
44. Рассчитайте количество  $^{210}\text{Po}$ , находящегося в равновесии с 1 г  $^{238}\text{U}$ .

45. Какие ядерные реакции возможны при облучении  $\text{KMnO}_4$  медленными нейтронами радий-бериллиевого источника?

46. По каким ядерным реакциям можно получить: а)  $^{35}\text{S}$ , б)  $^{60}\text{Co}$ , в)  $^{82}\text{Br}$ ? Какие в каждом случае возможны радиоактивные примеси?

47. Какие радиоактивные изотопы и по каким реакциям можно получить исходя из серы?

48. Определите энергию  $\alpha$ -частиц, полученных по реакции



принимая массы равными:  $m_{\text{H}} = 1,007273$ ,  $m_{{}^7\text{Li}} = 7,016008$ ,  $m_{{}^8\text{Be}} = 8,0053119$  и  $m_{{}^4\text{He}} = 4,002603$ .

49. При делении ядра урана-235 на два осколка наряду с двумя нейтронами образовалось радиоактивное ядро  $^{140}\text{Xe}$ . Изотопом какого элемента является второй осколок? В результате каких радиоактивных превращений он переходит в стабильный изотоп?

50. Изотоп  $^{194}\text{Ir}$  ( $T_{1/2} = 19 \text{ ч}$ ) получают облучением стабильного иридия медленными нейтронами по реакции  $^{193}\text{Ir}(n, \gamma)^{194}\text{Ir}$ . Рассчитайте, каково сечение этой реакции, если после облучения мишени толщиной 0,1 мм и площадью  $1 \text{ см}^2$  в течение 19 мин активность  $^{194}\text{Ir}$  составила 93 мкКи. Плотность потока нейтронов примите равной  $10^{10}$  нейтронов/см $^2$ ·с.

## 2. Регистрация излучения. Влияние свойств исследуемого изотопа и условий измерения на величину регистрируемой активности

51. В ионизационную камеру каждую секунду попадает 1000  $\alpha$ -частиц, испускаемых препаратом  $^{210}\text{Po}$ . Считая, что энергия  $\alpha$ -частиц полностью поглощается в камере, рассчитайте ионизационный ток насыщения. Какой должна быть величина нагрузочного сопротивления, чтобы падение напряжения на нем составляло 0,5 В?

52. Сила тока насыщения, протекающего через ионизационную камеру, в которую введен  $^{222}\text{Rn}$ , составляет  $1,8 \cdot 10^{-9}$  А. Сила тока, протекающего через камеру при отсутствии в ней радиоактивного препарата (фон камеры),  $5,5 \cdot 10^{-11}$  А. Рассчитайте абсолютную активность радона в микрокюри (при расчете следует принять, что все  $\alpha$ -частицы поглощаются внутри камеры).

53. На радиометрической установке измерили скорости счета четырех радиоактивных препаратов, располагая каждый из них в предназначенном для него гнезде измерительной кассеты, имеющей четыре ячейки. Скорости счета оказались равными соответственно 5600; 5800; 6900 и 7100 имп/мин. Затем в таких же условиях измерили общую скорость счета  $I_{\text{общ}}$ , обусловленную четырьмя препаратами при их одновременном измерении на установке, которая составила 25 000 имп/мин. Скорость счета, обусловленная фоном,  $I_{\text{ф}} = 50$  имп/мин. Считая, что при измерении скоростей счета отдельных препаратов регистрируются все импульсы, определите разрешающее время установки.

54. Имеется раствор, содержащий  $^{32}\text{P}$ , с объемной удельной активностью 10 мкКи/мл. Какой объем этого раствора следует взять, чтобы, разбавив его в колбе на 50 мл, получить раствор с объемной скоростью счета 1000 имп/мин · мл (измерения активности проводятся на счетчике СТС-6 с толщиной стенок 60 мг/см $^2$ ; геометрический коэффициент примите равным 0,05)?

55. С помощью счетчика СТС-6, толщина стенок которого 60 мг/см $^2$ , в идентичных условиях зарегистрирована одинаковая скорость счета при измерении двух препаратов, первый из которых испускает  $\gamma$ -кванты с энергией 2 МэВ,

а второй —  $\beta$ -частицы такой же максимальной энергии. Препараты находились на расстоянии 60 мм от счетчика. Рассчитайте, как отличаются абсолютные активности этих препаратов. При расчете пренебречь рассеянием излучения от подложки и самоослаблением излучения в материале препаратов.

56. Можно ли регистрировать торцовым счетчиком с толщиной окна 1 мг/см<sup>2</sup> излучение препарата <sup>14</sup>C, расположенного на расстоянии 20 см от детектора (условия нормальные)?

57. Можно ли проводить измерение скоростей счета препаратов, содержащих тритий, на торцовом счетчике с толщиной окна 1,4 мг/см<sup>2</sup>?

58. Может ли торцовый счетчик с толщиной окна 3 мг/см<sup>2</sup> регистрировать излучение препарата <sup>35</sup>S, расположенного на расстоянии 100 мм от детектора (воздух находится при нормальных условиях)?

59. Какая доля попавших в счетчик  $\beta$ -частиц не будет сосчитана, если радиометрическим прибором с разрешающим временем  $5 \cdot 10^{-6}$  мин зарегистрировано 10 000 имп/мин?

60. На торцовом счетчике измеряется радиоактивность препарата Са<sub>3</sub>(<sup>32</sup>РO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> толщиной 30 мг/см<sup>2</sup>. Рассчитайте значение поправочного коэффициента самоослабления для этого препарата.

61. На торцовом счетчике проводят измерение активности препарата <sup>45</sup>СаСО<sub>3</sub> толщиной 17 мг/см<sup>2</sup> и Са<sup>14</sup>СО<sub>3</sub> толщиной 5 мг/см<sup>2</sup>. В каком случае значение поправочного коэффициента самоослабления больше?

62. На радиометрической установке со счетчиком Гейгера — Мюллера выполнены два измерения скорости счета препарата с постоянной активностью. Оба измерения проводили при напряжениях на счетчике, соответствующих области плато счетной характеристики: первое — при 1750 В, а второе — при 1900 В. Скорость счета, определенная в первом измерении, составила 15 700 имп/мин (без фона). Наклон плато 0,04% на 1 В. Разрешающее время радиометрической установки  $\tau = 1,6 \cdot 10^{-4}$  с. Определите, что больше: число незарегистрированных импульсов, обусловленное наличием разрешающего времени, или разность скоростей счета препарата, вызванная изменением напряжения на счетчике.

63. На счетчике СТС-6 с толщиной стенок 60 мг/см<sup>2</sup> измерена скорость счета, обусловленная радиохимически чистым препаратом <sup>90</sup>Sr, которая оказалась равной 16 500 имп/мин (без фона). Рассчитайте число импульсов, не зарегистрированных в данном случае из-за наличия разрешающего времени установки ( $\tau = 2,5 \cdot 10^{-6}$  мин), и число  $\beta$ -частиц, поглощенных в стенках счетчика.

64. На торцовом счетчике Т-25-БФЛ (диаметр окна 25 мм) провели измерения двух радиоактивных препаратов. Первый имел диаметр 10 мм и был расположен на расстоянии 45 мм от окна счетчика; второй, находящийся на расстоянии 16 мм от счетчика, имел диаметр 5 мм. В каком случае препарат можно считать точечным? Для точечного препарата рассчитайте значение геометрического коэффициента.

65. В строго идентичных условиях проведены измерения активности двух препаратов <sup>45</sup>Са одинакового диаметра. Толщина первого препарата 120 мг/см<sup>2</sup>, второго — 200 мг/см<sup>2</sup>. Скорости счета оказались соответственно равны 2000 и 3000 имп/мин. Каково отношение абсолютных активностей препаратов?

66. В строго идентичных условиях проведены измерения активности двух препаратов <sup>185</sup>W одинакового диаметра. Толщина первого 250 мг/см<sup>2</sup>, второго — 150 мг/см<sup>2</sup>; скорости счета соответственно 5000 и 10 000 имп/мин. Чему равно отношение удельных активностей этих препаратов?

67. При измерении препарата природного калия (содержащего <sup>40</sup>K) на счетчике СТС-6 с толщиной стенок 60 мг/см<sup>2</sup> зарегистрирована скорость счета 170 имп/мин. Величина фона составляет 40 имп/мин, геометрический коэффициент  $\eta = 0,054$ . Считая, что поправки на обратное рассеяние и на коэффициент самоослабления равны 1, рассчитайте содержание калия в препарате.

68. На счетчике Т-25-БФЛ с толщиной окна 2 мг/см<sup>2</sup> предполагается провести регистрацию скорости счета препарата <sup>59</sup>Fe с абсолютной активностью, 0,2 мкКи. Толщина препарата 0,1 мг/см<sup>2</sup>, величина геометрического коэффициента  $\eta = 0,045$ . Для приготовления препарата использована подложка из тон-

кой органической пленки. Препарат будет находиться на расстоянии 45 мм от окна счетчика. Рассчитайте ожидаемую величину скорости счета. Нужно ли вводить в результаты измерения поправку на разрешающее время, равное  $3,4 \cdot 10^{-4}$  с?

69. Схема распада радиоактивного изотопа  $^{56}\text{Mn}$  имеет вид, показанный на рис. 58. Препарат  $^{56}\text{Mn}$  толщиной  $1 \text{ мг/см}^2$  нанесен на подложку из папиросной бумаги. Скорость счета этого препарата, измеренная с помощью счетчика СТС-6 (толщина стенок  $60 \text{ мг/см}^2$ ), равна  $148 \text{ имп/мин}$ . Геометрический коэффициент  $\eta = 0,24$ . Расстояние от препарата до счетчика 30 мм. Найдите абсолютную активность препарата.

### 3. Радиационная безопасность

70. На расстоянии 2 м от источника, содержащего  $^{60}\text{Co}$ , скорость счета, измеренная сцинтилляционным детектором с кристаллом  $\text{NaI (Tl)}$  диаметром 40 мм и высотой 25 мм, составляет  $5170 \text{ имп/мин}$  (без фона). Рассчитайте дозу, создаваемую в этой точке пространства  $\gamma$ -излучением  $^{60}\text{Co}$  за 3 ч.

71. С помощью счетчика Гейгера — Мюллера, имеющего площадь  $60 \text{ см}^2$  и толщину катода  $352 \text{ мг/см}^2$ , найдено, что скорость счета, создаваемая излучением точечного источника  $^{59}\text{Fe}$ , составляет  $500 \text{ имп/с}$ . Определите мощность дозы, создаваемой  $\gamma$ -излучением  $^{59}\text{Fe}$  в области, где расположен детектор.

72. Рассчитайте, какая плотность потока моноэнергетических  $\gamma$ -квантов с  $E = 1 \text{ МэВ}$  необходима для создания экспозиционной дозы мощностью  $1 \text{ Р/с}$ .

73. Не пользуясь графиком, приведенным на рис. 1, определите величину гамма-постоянной для  $^{51}\text{Cr}$ .

74. Определите гамма-постоянную для изотопов:  $^{86}\text{Nb}$ , испускающего  $\gamma$ -кванты с энергией  $0,768 \text{ МэВ}$  ( $100\%$ ), и  $^{224}\text{Ra}$ , испускающего  $\gamma$ -кванты с энергией  $0,241 \text{ МэВ}$  ( $4,17\%$ ).

75. Найдите гамма-постоянную для изотопа  $^{24}\text{Na}$ .

76. Рассчитайте, какова мощность дозы на расстоянии  $0,5 \text{ м}$  от точечного образца  $^{65}\text{Zn}$  активностью  $8 \text{ мКи}$ . При расчете следует учесть, что при аннигиляции позитрона образуется в среднем  $2 \gamma$ -кванта с энергией  $0,51 \text{ МэВ}$  каждый.

77. Определите, какую дозу создает точечный образец  $^{60}\text{Co}$  активностью  $5 \text{ мКи}$  на расстоянии  $0,5 \text{ м}$  в течение  $6 \text{ ч}$ .

78. Активность препарата, содержащего  $^{56}\text{Mn}$ , измеряли счетчиком СТС-6 (толщина стенок  $60 \text{ мг/см}^2$ ), причем геометрический коэффициент составлял  $0,2$ . Регистрируемая скорость счета (за вычетом фона) оказалась равной  $2000 \text{ имп/мин}$ . Рассчитайте дозу, создаваемую на расстоянии  $0,5 \text{ м}$  от такого препарата за  $2 \text{ ч}$ .

79. Рассчитайте активность (в  $\text{мКи}$ ) образцов  $^{60}\text{Co}$  и  $^{65}\text{Zn}$ , если известно, что гамма-эквивалент каждого из них равен  $1 \text{ мг-экв радия}$ .

80. Рассчитайте мощность дозы (в  $\text{мкР/с}$ ), создаваемой на расстоянии  $1 \text{ м}$  от источника, гамма-эквивалент которого равен  $0,5 \text{ мг-экв радия}$ .

81. Найдите отношение активностей препаратов  $^{59}\text{Fe}$  и  $^{131}\text{I}$ , имеющих одинаковую величину гамма-эквивалента.

82. Определите, чему равна доза, создаваемая за  $6 \text{ ч}$  на расстоянии  $2 \text{ м}$  от образца  $^{65}\text{Zn}$ , гамма-активность которого соответствует  $5 \text{ мг-экв радия}$ .

83. Оцените активность образца  $^{59}\text{Fe}$ , заключенного в свинцовый контейнер с толщиной стенки  $5 \text{ см}$ , если известно, что мощность дозы, измеренная у поверхности контейнера, составляет  $0,8 \text{ мкР/с}$ .

84. Образец  $^{32}\text{P}$  помещен в алюминиевый контейнер, выполненный в виде цилиндра, с толщиной стенки  $2 \text{ мм}$ . Скорость счета на поверхности контейнера, измеренная торцовым счетчиком Гейгера — Мюллера со слюдяным окном ди-

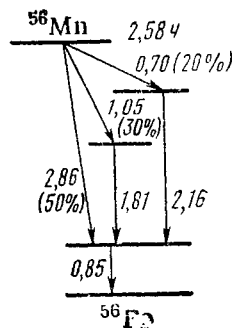


Рис. 58. Схема распада  $^{56}\text{Mn}$  (некоторые энергии  $\gamma$ -квантов на схеме опущены в целях упрощения задачи)

аметром 20 мм и толщиной 5 мг/см<sup>2</sup>, равнялась 10 000 имп/мин (без фона). Оцените дозу, полученную рукой работника, который нес этот контейнер в течение 10 мин?

85. Определите мощность дозы, получаемую участком кожи при облучении точечным источником <sup>204</sup>Tl активностью 1 мКи, расположенным на расстоянии 10 см.

86. Определите дозу, создаваемую за 20 мин β- и γ-излучением образца <sup>59</sup>Fe активностью 2 мКи на расстоянии 5 см.

87. Имеется образец <sup>60</sup>Co, гамма-эквивалент которого равен 2 мг-экв радия. Рассчитайте дозу, создаваемую за полтора часа β-и γ-излучением этого образца на расстоянии 1 м.

88. Работу с источником <sup>56</sup>Mn активностью, 2,5 мКи предполагается проводить без защитного экрана на расстоянии 30 см от источника. Какова максимальная продолжительность работы, если доза, полученная экспериментатором, не должна превышать 0,1 бэр?

89. Определите наименьшее расстояние от источника <sup>65</sup>Zn активностью 10 мКи, на котором можно находиться без защитного экрана в течение 1 ч, если величина полученной дозы не должна превышать 2,8 бэр.

90. Рассчитайте, с каким количеством радиоактивного изотопа (в мг-экв радия) можно постоянно (в течение года) работать, не используя защитный экран, на расстоянии 30 см от источника, если продолжительность рабочей недели 36 ч.

91. Вычислите мощность дозы (мкР/с), создаваемой за экраном неколлимированным источником <sup>131</sup>I активностью 0,5 мКи, если свинцовый экран толщиной 3,0 см расположен на расстоянии 20 см от источника.

92. Определите, обеспечит ли свинцовый экран толщиной 8,3 см снижение мощности дозы от источника <sup>60</sup>Co до 0,8 мкР/с, если мощность дозы без экрана 80 мкР/с (см. пример 10).

93. Проверьте, достаточен ли слой 10,1 см свинца для того, чтобы обеспечить безопасную работу в течение года на расстоянии 25 см от источника <sup>59</sup>Fe активностью 100 мКи, если каждую неделю предполагается работать с радиоактивностью по 20 ч (см. пример 11).

94. Рассчитайте толщину защитного экрана из свинца, необходимого для того, чтобы снизить дозу, создаваемую в течение 6-часового рабочего дня на расстоянии 0,5 м от источника <sup>124</sup>Sb активностью 10 мКи, до уровня 0,017 бэр/дн.

95. Найдите толщину свинцового экрана для источника <sup>131</sup>I, если требуемая кратность ослабления равна 150.

96. Радиометром «ТИСС» с блоком для измерения β-активности (эффективная поверхность детектора 150 см<sup>2</sup>, толщина стенки счетных трубок 60 мг/см<sup>2</sup>) при проверке чистоты стола, на котором проводилась работа с изотопом <sup>32</sup>P, была зарегистрирована скорость счета 1 000 имп/мин (без фона). Определите, превышает ли загрязнение предельно допустимый уровень, если принять, что геометрический коэффициент равен 0,2.

97. Предполагается перегнать 40 мл воды, меченной тритием. Общая активность жидкости 100 мКи. К какому классу работ относится эта операция?

98. Разрешается ли в соответствии с «Основными санитарными правилами» (ОСП-72) работать с сухим открытым препаратом <sup>90</sup>SrCO<sub>3</sub> активностью 2 мКи в лаборатории III класса?

99. Какую максимальную активность иода-131 можно хранить в лаборатории III класса?

#### 4. Изотопный обмен

100. К 30 мл насыщенного при 25° С раствора K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, содержащего 10 г кристаллов K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, добавили 0,1 мл насыщенного раствора K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, содержащего <sup>35</sup>S с общей активностью 6,6 · 10<sup>4</sup> имп/мин. Смесь 12 ч перемешивали при 25° С, а затем измерили активность 1 мл раствора, которая оказалась равной 2000 имп/мин · мл. Условия всех измерений радиоактивности идентичны. Наступило ли равнораспределение изотопа <sup>35</sup>S в кристаллах и растворе? Растворимость K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при 25° С 12,05 г на 100 г воды, плотность насыщенного при этой температуре раствора K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1,08 г/см<sup>3</sup>.



101. Неактивный образец  $\text{BaCO}_3$  массой 0,58 г внесли в ампулу объемом 20  $\text{см}^3$ , наполненную  $\text{CO}_2$  при давлении 900 мм рт. ст. и при температуре 20°C. Двуокись углерода содержала изотоп  $^{14}\text{C}$  и имела удельную активность 8000 имп/мин ·  $\text{см}^3$ . Ампулу запаляли и нагрели до 300°C, а затем охладили до 20°C и вновь измерили активность  $\text{CO}_2$ , которая оказалась равной 7500 имп/мин ·  $\text{см}^3$ . Рассчитайте степень обмена и определите удельную активность (в имп/мин ·  $\text{см}^3$ )  $\text{CO}_2$  при равномерном распределении изотопа  $^{14}\text{C}$  в системе.

102. Для синтеза 80 мл меченого иодом-131 третиного иодистого бутила использовали реакцию изотопного обмена неактивного трет- $\text{C}_4\text{H}_9\text{I}$  с 0,2 г  $\text{Na}^{131}\text{I}$  удельной активностью 8 · 10<sup>5</sup> имп/мин · г. С какой максимальной удельной активностью (имп/мин · мл) можно получить трет- $\text{C}_4\text{H}_9\text{I}$ ? Плотность трет- $\text{C}_4\text{H}_9\text{I}$  1,37 г/ $\text{см}^3$ .

103. Проведено изучение изотопного обмена  $^{131}\text{I}$  между изо- $\text{C}_3\text{H}_7\text{I}$  и  $\text{Na}^{131}\text{I}$  в 90%-ном этанольном растворе при концентрации каждого вещества 0,1 М и при температурах 40, 60 и 80°C. Периоды полуобмена  $\tau_{1/2}$  оказались равны соответственно 6,27 · 10<sup>4</sup>, 6,88 · 10<sup>3</sup> и 1,67 · 10<sup>3</sup> с. Найдите энергию активации процесса.

104. Изучен изотопный обмен атомами брома-82 в растворе между  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{BrCOOH}$  и  $\text{LiBr}$  при 22°C и при концентрации каждого из веществ, равной 0,333 М. Вся исходная активность содержалась в  $\text{LiBr}$ , причем удельная активность исходного 0,333 М раствора  $\text{Li}^{82}\text{Br}$  составляла 8900 имп/мин · мл. Результаты измерений удельной активности раствора  $\text{CH}_3\text{CH}_2^{82}\text{BrCOOH}$ , проведенных по истечении времени  $t$  с момента начала обмена, следующие:

Время с момента начала обмена $t$ , мин . . .	10	25	40	50	60	70	90	100
Удельная активность $I_t$ , имп/мин · мл . . . .	748	1968	2416	2799	3168	3333	3693	3849

Значения удельной активности растворов  $\text{CH}_3\text{CH}_2^{82}\text{BrCOOH}$  приведены к моменту времени, в который измеряли исходную удельную активность раствора  $\text{Li}^{82}\text{Br}$ . Условия всех измерений идентичны между собой. Определите период полуобмена и константу скорости бимолекулярной реакции изотопного обмена.

## 5. Особенности поведения радиоактивных веществ

105. В 50 мл раствора  $^{133}\text{BaCl}_2$  без носителя удельной активностью 0,5 мКи/мл внесли 2 г мелкокристаллического стабилизированного (т. е. неспособного к перекристаллизации) осадка  $\text{BaSO}_4$ . Рассчитайте, насколько понизится удельная активность раствора за счет первичной адсорбции  $^{133}\text{Ba}$  на осадке  $\text{BaSO}_4$ , если средний диаметр частиц  $\text{BaSO}_4$   $5 \cdot 10^{-4}$  см, плотность 4,5 г/ $\text{см}^3$ , а площадь, занимаемая одной молекулой  $\text{BaSO}_4$  на поверхности,  $2 \cdot 10^{-15}$   $\text{см}^2$ . Для простоты следует принять, что не происходит дополнительного растворения  $\text{BaSO}_4$ , так как равновесие при первичной адсорбции устанавливается очень быстро, а растворение  $\text{BaSO}_4$  — сравнительно медленный процесс.

106. В 50 мл насыщенного при 25°C раствора  $\text{PbI}_2$ , меченого  $^{131}\text{I}$ , внесли 2,5 г мелкодисперсного стабилизированного осадка  $\text{PbI}_2$ . Рассчитайте, во сколько раз понизится удельная активность исходного раствора за счет первичной адсорбции  $^{131}\text{I}$  на кристаллах осадка, если средний диаметр внесенных частиц  $\text{PbI}_2$   $6 \cdot 10^{-4}$  см, плотность 6,16 г/ $\text{см}^3$ , растворимость в воде при 25°C — 1,6 ммоль/л, а площадь, занимаемая одной молекулой  $\text{PbI}_2$  на поверхности,  $2,5 \cdot 10^{-15}$   $\text{см}^2$ .

107. В 100 мл насыщенного при 30°C раствора  $\text{CaSO}_4$  внесли 3 г стабилизированного мелкодисперсного осадка  $^{133}\text{BaSO}_4$  удельной активностью 10 мКи/г. Рассчитайте, какова будет объемная удельная активность раствора после установления адсорбционного обменного равновесия и достижения равновесной растворимости  $\text{BaSO}_4$ , если средний диаметр исходных частиц  $\text{BaSO}_4$   $2 \times 10^{-4}$  см, растворимость  $\text{CaSO}_4$  при 30°C 0,209 г в 100 мл воды, а растворимость при 30°C  $\text{BaSO}_4$  в 100 мл насыщенного раствора  $\text{CaSO}_4$   $1,7 \cdot 10^{-9}$  г. Плотность  $\text{BaSO}_4$  4,5 г/ $\text{см}^3$ , а коэффициент  $D$ , характеризующий переход  $\text{CaSO}_4$ ,

на поверхность  $\text{BaSO}_4$ , равен 0,1. Площадь, занимаемую на поверхности  $\text{BaSO}_4$  одной молекулой  $\text{BaSO}_4$  ( $\text{CaSO}_4$ ), примите равной  $1,8 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$ . Для простоты следует считать, что растворение шарообразных частиц  $\text{BaSO}_4$  происходит равномерно по всей их поверхности.

108. Какое количество (в мКи)  $^{95}\text{Nb}$  без носителя может максимально адсорбироваться на  $1 \text{ см}^2$  поверхности стекла при мономолекулярной адсорбции, если площадь одного иона  $^{95}\text{Nb}$ , занимаемая им на поверхности стекла,  $8 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$ ? (В состав каждого иона входит по одному атому  $^{95}\text{Nb}$ ).

109. Во сколько раз понизится удельная активность нейтрального раствора церия -144 в результате адсорбции, если 100 мл раствора  $^{144}\text{CeCl}_3$  без носителя удельной активностью 2 мКи/мл приведены в соприкосновение с поверхностью стекла площадью 45  $\text{см}^2$ . В результате адсорбции стекло может быть покрыто плотным мономолекулярным слоем ионов  $\text{Ce}^{3+}$ , а площадь, занимаемая при этом одним ионом  $\text{Ce}^{3+}$ , равна  $9 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ .

110. В 100 мл насыщенного при  $25^\circ \text{C}$  раствора  $\text{KCl}$ , который содержал 5 мКи радиоактивного  $^{86}\text{Rb}$  без носителя, ввели 5 г мелкозернистых кристаллов  $\text{KCl}$ . Рассчитайте, какова будет удельная активность твердой фазы после установления в системе истинного термодинамического равновесия, если 1 мл насыщенного раствора  $\text{KCl}$  при  $25^\circ \text{C}$  содержит 0,29 г соли, а коэффициент сокристаллизации  $D$  (отношение количества  $^{86}\text{Rb}$  в 1 г осадка к его количеству в 1 г соли в растворе) равен 0,1.

111. Для некоторой системы микрокомпонент — макрокомпонент —  $\text{H}_2\text{O}$  известно, что величина коэффициентов сокристаллизации  $D = \Lambda = 4$ . Проведены две независимые кристаллизации макрокомпонента из равных объемов его насыщенного раствора, содержащего равные количества микрокомпонента. Количество макрокомпонента, перешедшее в осадок, в обоих случаях оказалось одинаковым (равно  $1/2$  от первоначально имевшегося в растворе). В первом случае кристаллизация проведена таким образом, что микрокомпонент оказался распределенным в кристаллах гомогенно (равновесное распределение по Хлопину), во втором случае — в соответствии с логарифмическим распределением Дёрнера — Госкинса. Рассчитайте, в каком случае в осадок перейдет большее количество микрокомпонента.

112. Определите, подчиняется ли процесс осаждения на платиновом катоде радиоактивного  $^{210}\text{Pb}$  ( $\text{RaD}$ ) уравнению Нернста, если критические потенциалы осаждения свинца, определенные для его  $10^{-6}$  и  $10^{-10}$  М растворов при  $18^\circ \text{C}$ , оказались соответственно  $+0,044$  и  $+0,16$  В. Нормальный электродный потенциал свинца  $E_0 = -0,13$  В.

113. Рассчитайте, каков критический потенциал осаждения  $^{115m}\text{Cd}$  при  $25^\circ \text{C}$  из  $5 \cdot 10^{-7}$  М  $^{115m}\text{Cd}$  ( $\text{NO}_3$ )<sub>2</sub> на платиновом электроде, если процесс осаждения подчиняется уравнению Нернста, а нормальный электродный потенциал кадмия  $E_0 = -0,40$  В.

114. При облучении атомов  $^{81}\text{Br}$  медленными нейтронами протекает ( $n, \gamma$ ) реакция и испускаются  $\gamma$ -кванты с энергией 5,1 МэВ. Определите, будет ли разорвана химическая связь брома с молекулой при образовании изотопа  $^{82}\text{Br}$ , если первоначально атом брома входил в состав а) молекулы  $\text{HBr}$  (энергия связи 2,2 эВ), б) молекулы  $\text{C}_2\text{H}_5 \text{ Br}$  (энергия связи  $\text{C—Br}$  2,6 эВ).

115. При облучении  $\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl}$  медленными нейтронами протекает ядерная реакция  $^{37}\text{Cl}$  ( $n, \gamma$ ) $^{38}\text{Cl}$ , сопровождающаяся испусканием  $\gamma$ -квантов с энергией 6,2 МэВ. Определите, во сколько раз после эффекта отдачи атома  $^{38}\text{Cl}$  энергия поступательного движения молекулы  $\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl}$  будет отличаться от энергии, пошедшей на ее возбуждение. Будет ли при этом разорвана связь  $\text{C—Cl}$ , энергия которой 3,1 эВ?

## 6. Методы выделения, разделения и концентрирования радиоактивных изотопов

116. Найдите коэффициент распределения радиоактивного вещества при экстракции по следующим данным: объемы водной и органической фаз равны соответственно 8 и 3 мл; скорость счёта (за вычетом фона) 0,5 мл исходного раствора 1700 имп/мин, а скорость счёта 1,0 мл водного раствора после установле-

ния экстракционного равновесия 1000 имп/мин. Определите значение фактора извлечения радиоактивного вещества в органическую фазу при однократной экстракции.

117. В результате экстракции радиоактивного вещества из 10 мл водного раствора 8 мл органического растворителя радиоактивность водной фазы уменьшилась в 3 раза. Рассчитайте коэффициент распределения радиоактивного вещества.

118. Коэффициент распределения радиоактивного вещества при экстракции органическим растворителем равен 2,5. Экстрагирование из 5 мл водного раствора проводили двумя способами: однократно 40 мл экстрагента и четырехкратно порциями по 10 мл экстрагента. Рассчитайте, какая доля радиоактивного вещества останется в водном растворе в каждом случае.

119. Проводится экстракция радиоактивного вещества из 12 мл водного раствора порциями органического экстрагента по 4 мл. Определите, сколько нужно провести последовательных экстракций, чтобы обеспечить значение фактора извлечения радиоактивного вещества, равное 98%, если коэффициент распределения 3,6.

120. Коэффициент распределения радиоактивного вещества А при экстракции органическим растворителем 3,0, а коэффициент распределения вещества В в тех же условиях 1,2. Рассчитайте, какое значение фактора обогащения вещества А по сравнению с В в экстракте может быть получено в результате проведения одной и пяти последовательных экстракций (объемы органической и водной фаз считать равными).

121. Коэффициенты распределения веществ А и В между водной и органической фазами, соответственно,  $K_{p(A)} = 3,0$  и  $K_{p(B)} = 0,08$ . Определите фактор обогащения вещества А по отношению к веществу В в экстракте и вещества В по отношению к веществу А в рафинате при однократной экстракции и при четырех последовательных экстракциях, если объемы органической и водной фаз равны.

122. Известно, что коэффициент распределения радиоактивного вещества А между водной и органической фазами равен 4,0, а коэффициент распределения вещества В — 0,1. Рассчитайте число последовательных экстракций, которые нужно провести для того, чтобы доля вещества В в рафинате была не менее 0,95, а доля вещества А не превышала 0,01, если объем водной фазы — 40 мл, а объем органической фазы — 20 мл.

123. Определите коэффициент распределения  $^{144}\text{Ce}$  между анионитом и водно-ацетоновым раствором азотной кислоты, если при распределении микроколичеств  $^{144}\text{Ce}$  между 0,05 г анионита и 10 мл раствора ( $t = 25^\circ\text{C}$ ) активность 1,0 мл исходного раствора составляла 1000 имп/мин, а активность 0,5 мл равновесного раствора — 380 имп/мин.

124. Найдите, чему равен коэффициент распределения радиоактивного изотопа между ионитом и раствором, если удельная активность раствора после установления равновесия стала в 4 раза меньше удельной активности исходного раствора. Объем раствора равен 10 мл, количество ионита 0,5 г.

## 7. Применение радиоактивных изотопов в аналитической химии

125. Рассчитайте, какова чувствительность определения изотопов  $^{212}\text{Pb}$  ( $T_{1/2} = 10,7$  ч) и  $^{115}\text{In}$  ( $T_{1/2} = 6 \cdot 10^{14}$  лет), если известно, что с помощью радиометрической установки, имеющейся в распоряжении экспериментатора, можно надежно регистрировать скорость счета 10 имп/мин над фоном, а коэффициент регистрации равен 0,08.

126. Процедура определения количества  $\alpha$ -радиоактивного изотопа методом микроавтордиографии заключается в том, что эмульсию пропитывают анализируемым раствором, а через некоторый промежуток времени (время экспозиции) фотопластинку проявляют и подсчитывают среднее число треков в объеме поля зрения микроскопа. Оцените минимальную концентрацию  $^{238}\text{U}$ , кото-

рию можно определить методом автордиографии, если анализируемый раствор содержит равновесные количества  $^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{U}$ , время экспозиции 3 сут., объем поля зрения микроскопа  $2,25 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3$ , а среднее число треков в объеме поля зрения должно быть не меньше 10. Концентрацию радиоактивного вещества в эмульсии примите равной концентрации его в растворе.

127. Радиоактивный изотоп  $^{40}\text{K}$ , содержание которого в природной смеси изотопов калия составляет 0,012%, характеризуется схемой распада, показанной на рис. 59. Оцените чувствительность определения калия по радиоактивности  $^{40}\text{K}$ , если коэффициент регистрации равен 0,25, а скорость счета, которую можно надежно зарегистрировать с помощью имеющегося детектора, составляет 30 имп/мин.

128. Найдите чувствительность определения лютеция по излучению его радиоактивного изотопа  $^{176}\text{Lu}$ , характеризующегося следующими табличными данными:  $T_{1/2} = 2,4 \cdot 10^{10}$  лет; содержание в природной смеси изотопов лютеция 2,6%, тип излучения  $\beta^-$ ,  $\gamma$ ; энергия излучения: 0,215 МэВ ( $\beta^-$ ), 0,180 МэВ ( $\gamma$ ), 0,270 МэВ ( $\gamma$ ). Измерения проводят при помощи торцового счетчика Гейгера — Мюллера с окном толщиной 2 мг/см<sup>2</sup>. Геометрический коэффициент равен 0,3. В качестве подложек используют диски из тантала толщиной 1 мм. Фон составляет 20 имп/мин. Надежно можно измерять скорость счета препарата, вдвое меньшую, чем фон.

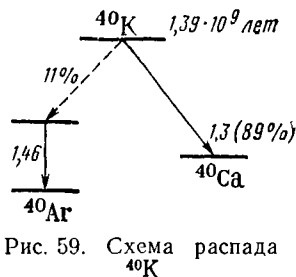


Рис. 59. Схема распада  $^{40}\text{K}$

129. В распоряжении экспериментатора имеется цилиндрический счетчик Гейгера — Мюллера с толщиной стенок 60 мг/см<sup>2</sup>. Порошковую пробу анализируемого вещества, содержащего калий, помещали в кювету площадью 40 см<sup>2</sup>, распределяя вещество равномерным слоем. Кювету располагали в измерительном домике таким образом, что геометрический коэффициент составлял 0,19. Скорость счета пробы массой 20 г оказалась равна (за вычетом фона) 95 имп/мин. Рассчитайте процентное содержание калия в анализируемой пробе.

130. Анализируемый раствор содержал природную смесь изотопов урана в равновесии с короткоживущими продуктами распада. Активность препарата, приготовленного из 0,45 мл анализируемого раствора, измеряли с помощью счетчика Гейгера — Мюллера, толщина стенок которого 60 мг/см<sup>2</sup>. Скорость счета препарата при геометрическом коэффициенте, равном 0,22, составила 200 имп/мин (без фона). Полагая, что эффектами самоослабления, ослабления в воздухе и обратного рассеяния излучения можно пренебречь, определите концентрацию урана (г/л) в анализируемом растворе.

131. Вычислите процентное содержание урана в пробе, если при измерении  $\beta$ -насыщенных слоев образцового и анализируемого веществ были зарегистрированы скорости счета (без фона) 980 и 1250 имп/мин соответственно. Содержание урана в образцовом веществе составляет 8%.

132. Определение калия по  $\beta$ -излучению  $^{40}\text{K}$  в порошковых пробах хлоридов проводили методом относительных измерений. Скорости счета (без фона) трех образцовых препаратов, содержавших 1,0, 1,5 и 2,0% калия, были равны соответственно 240, 340 и 436 имп/мин. Измеренные в тех же условиях скорости счета трех препаратов, которые были приготовлены из анализируемой пробы, за вычетом фона составляли 333, 362, 345 имп/мин. Толщина всех измеряемых препаратов была выше слоя насыщения для  $\beta$ -излучения  $^{40}\text{K}$ . Найдите процентное содержание калия в анализируемой пробе.

133. Для определения содержания тория в руде проводили относительные измерения по  $\gamma$ -излучению. Скорости счета (вместе с фоном) препарата, приготовленного из 12,5 г образцового вещества с содержанием тория 0,8%, были равны 1200 имп/мин, а скорость счета препарата, приготовленного из 7,8 г анализируемого вещества, составляла 4850 имп/мин. Фон радиометрической установки 70 имп/мин. Найдите процентное содержание тория в анализируемой пробе.

134. Если по содержанию урана и общему химическому составу образцовое вещество значительно отличается от анализируемой пробы, то для определения урана методом относительных измерений смешивают известные количества

образцового и анализируемого веществ с каким-нибудь неактивным наполнителем (например, с измельченным известняком). 0,5 г образцового вещества, содержащего 53% урана, смешали с 15 г наполнителя, а 1 г анализируемого вещества — с 2 г наполнителя. Регистрируемые активности обеих смесей (без фона) были равны соответственно 6450 и 1760 имп/мин. Рассчитайте процентное содержание урана в анализируемом веществе.

135. Методом относительных измерений определяли торий по торону. Активность воздуха, продуваемого через барботеры с образцовым раствором, содержащим 0,027 г тория, и с анализируемым раствором, измеряли с помощью сцинтилляционного счетчика; она оказалась равной (за вычетом фона) 676 и 1245 имп/мин соответственно. Найдите содержание тория в анализируемом растворе.

136. Рассчитайте чувствительность определения изотопа  $^{60}\text{Co}$ , если коэффициент регистрации излучения  $^{60}\text{Co}$  на используемой радиометрической установке 0,2, а активность, которую можно измерить достаточно надежно, равна 25 имп/мин (над фоном). Сравните полученный результат с чувствительностью определения кобальта, меченного изотопом  $^{60}\text{Co}$ , если при тех же условиях измерения удельная активность вещества (в расчете на элемент) равна 25 мКи/г.

137. Определите, какое минимальное количество углерода, серы и брома может быть обнаружено, если для проведения анализов используются вещества, меченные радиоактивными изотопами  $^{14}\text{C}$ ,  $^{35}\text{S}$  и  $^{82}\text{Br}$  соответственно, причем регистрируемая удельная активность в каждом случае составляет  $10^6$  имп/мин · г элемента, а скорость счета, которую можно достаточно надежно измерить, равна 50 имп/мин.

138. Оцените чувствительность определения углерода (меченного радиоактивным изотопом  $^{14}\text{C}$ ), серы (меченной изотопом  $^{35}\text{S}$ ) и брома (меченной изотопом  $^{82}\text{Br}$ ), если для измерения активности используется торцовый счетчик с диаметром окна 30 мм и толщиной слюды 3 мг/см<sup>2</sup>. Препараты, которые можно рассматривать как «точечные», расположены на расстоянии 40 мм от окна счетчика. В качестве подложек используются тонкие органические пленки. Удельная активность в каждом случае 0,25 мКи/г элемента, а регистрируемая активность, которую можно надежно измерить, равна 50 имп/мин.

139. Ставится задача определения количества меди в растворах, содержащих  $\sim 10^{-5}$  г меди в 1 л, с помощью  $^{64}\text{Cu}$ . Для измерения активности располагают установкой с коэффициентом регистрации 0,04. Предполагается измерять активность 10 мл раствора. Для надежной регистрации минимальная регистрируемая активность должна быть не меньше 100 имп/мин. Рассчитайте минимальное значение удельной активности: а) в имп/мин · мл и б) в мКи/г меди.

140. Для оценки методом радиоактивных индикаторов толщины цинкового электролитического покрытия на металлических дисках диаметром 12 мм использовался раствор  $^{65}\text{ZnCl}_2$  без носителя с объемной удельной активностью 864 000 имп/мин · мл. Перед электролизом к 20 мл электролита (0,1 н. по отношению к цинку) добавили 0,1 мл радиоактивного раствора  $^{65}\text{ZnCl}_2$ . После электролиза несколько раз измерили активность диска. Среднее регистрируемое значение скорости счета составило 498 имп/мин. Все измерения активности проводились в идентичных условиях. Определите толщину покрытия (плотность цинка 7,0 г/см<sup>3</sup>).

141. Для определения степени соосаждения циркония с сульфидом висмута к раствору, содержащему 20 ммоль висмута, прибавили  $^{95}\text{ZrCl}_4$  с удельной активностью 738 000 имп/мин · моль. После пропускания сероводорода в кислой (3 н. HCl) среде в осадке обнаружена активность, равная 2952 имп/мин. Определите отношение циркония и висмута в осадке, полагая, что висмут осажден количественно.

142. С помощью радиоактивного изотопа  $^{65}\text{Zn}$  контролировали степень очистки некоторой соли от примеси цинка. Цинк удаляли из раствора соли путем соосаждения с коллектором. К исходному раствору прибавили 1 мл 0,0232 М раствора  $^{65}\text{ZnCl}_2$  с удельной активностью  $8,6 \cdot 10^8$  имп/мин · моль. После удаления цинка активность раствора составила  $I_p = 18$  имп/мин (без фона). Определите, во сколько раз уменьшилось содержание цинка в растворе.

143. При анализе методом изотопного разбавления раствора, содержащего ионы стронция, к раствору добавили 1,5 мл 0,2 М раствора  $^{89}\text{SrCl}_2$  с удель-

ной активностью  $2,7 \cdot 10^6$  имп/мин · моль. Осадив часть стронция в виде сульфата, нашли, что удельная активность полученного осадка равна  $9,3 \cdot 10^5$  имп/мин · моль. Определите количество стронция в анализируемой пробе.

144. Для определения кобальта методом изотопного разбавления в стаканы № 1 и 2 поместили 2 и 5 мл пробы соответственно. В стакан № 3 прибавили 10 мл 0,2 н.  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ , меченного  $^{59}\text{Co}$ , с объемной удельной активностью 630 имп/мин · мл. Этот же раствор и в том же количестве был прибавлен в стакан № 1 и 2. В стакан № 3 по каплям добавляли 1%-ный спиртовой раствор диметилглиоксима и нашли объем, необходимый для полного осаждения металла. Точно такие же объемы реагента прибавили в стаканы № 1 и 2. Найдите нормальность раствора кобальта, если активности осадков, выделенных из стаканов № 1, 2, 3, составили соответственно, 2100, 1033 и 6300 имп/мин.

145. К раствору, содержащему неизвестное количество  $\text{NaI}$ , прибавили 0,1 мл 0,01 н.  $\text{Na}^{131}\text{I}$  с объемной удельной активностью 3 240 000 имп/мин · мл и 5 мл 0,01 н.  $\text{AgNO}_3$ . Активность осадка составила 2760 имп/мин. Определите массу  $\text{NaI}$  в пробе, если известно, что иодид-ион выделен не полностью.

146. Для определения содержания нафталина в угле к 10 г пробы прибавили 10 мг нафталина, меченного  $^{14}\text{C}$ , с общей активностью  $10^6$  имп/мин. После нагревания в замкнутом объеме и тщательного перемешивания смеси из нее выделили часть нафталина массой 120 мг и активностью 240 000 имп/мин. Определите процентное содержание нафталина в угле.

147. Определите массу бария в сплаве его со стронцием на основании данных анализа методом изотопного разбавления. К раствору анализируемой смеси бария и стронция (стакан № 1) было прибавлено некоторое количество раствора  $^{133}\text{Ba}$  без носителя. Такой же объем радиоактивного раствора был добавлен к смеси, содержащей 2 мл 0,5 н.  $\text{BaCl}_2$  и некоторое количество  $\text{Sr}$  (стакан № 2). Из каждого раствора была выделена часть бария в виде хромата. При этом массы осадков составили 100 и 161 мг, а их активности оказались равны 940 и 1240 имп/мин, соответственно.

148. Для определения содержания иодид-ионов в растворе методом изотопного разбавления к 10 мл анализируемого раствора прибавили 1 мл раствора,  $^{131}\text{I}$  без носителя. Такой же объем активного раствора прилили в другой стакан, содержащий 10 мл 0,05 н.  $\text{NaI}$ . К обоим растворам прилили по 4 мл 0,05 н.  $\text{AgNO}_3$ . Активность отфильтрованных осадков оказалась равной, соответственно, 4200 имп/мин и 8820 имп/мин. Найдите нормальность анализируемого раствора, учитывая, что иодид-ион в исследуемой пробе осажден не полностью.

149. Для определения церия методом изотопного разбавления отобрали 3 пробы раствора по 10 мл, добавили в каждую по 1 мл раствора  $^{141}\text{Ce}$  (количеством носителя в растворе  $^{141}\text{Ce}$  практически можно пренебречь) и осадили церий в виде оксалата, прибавив 1,2 и 10 мл 0,3 н. щавелевой кислоты. Для определения величины добавленной активности к раствору, содержащему 20 мг-экв церия, прилили 1 мл того же раствора  $^{141}\text{Ce}$  и 3 мл 0,3 н. раствора щавелевой кислоты. Определите среднее содержание церия в пробе, если активности осадков, полученных при использовании 1, 2, 3 и 10 мл осадителя, равны, соответственно, 1220, 2408, 1560 и 3180 имп/мин (без фона).

150. Для определения количества сульфат-иона к раствору прибавили 100 мг  $\text{BaCl}_2$ , осадок  $\text{BaSO}_4$  отфильтровали и к фильтрату прибавили 100 мг радиоактивного  $\text{BaCl}_2$ , содержащего  $^{140}\text{Ba}$  (очищенный от дочернего  $^{140}\text{La}$ ) общей активностью 6650 имп/мин. Из полученного раствора выделили часть  $\text{BaSO}_4$ . Измерения показали, что активность 20 мг этого осадка составляет 618 имп/мин. Определите содержание сульфат-ионов в исходном растворе.

151. К двум одинаковым объемам анализируемого раствора церия добавили соответственно 3 и 5 мл раствора  $^{144}\text{CeCl}_3$ , содержащего 20 мкг церия в 1 мл. Прибавлением одинакового, но недостаточного для полного осаждения церия количества плавиковой кислоты выделили осадки, активность которых (измеренная спустя 3 ч после выделения) составила 3350 и 4870 имп/мин. Определите содержание церия в пробе.

152. Для определения магния его осадили 10 мл 0,1 н.  $(\text{NH}_4)_2\text{H}_3\text{PO}_4$  с удельной активностью 1000 имп/мин · мг фосфора. Отношение  $\text{Mg} : \text{PO}_4$

в осадке равно 1 : 1. Активность фильтра оказалась равной 16 600 имп/мин. Определите массу магния в растворе.

153. К раствору соли бария объемом 10 мл прибавили 10 мл 0,01 М.  $\text{Na}_2^{35}\text{SO}_4$  с объемной удельной активностью 2400 имп/мин·мл. Активность 2 мл фильтрата, отделенного от осадка, составила 1440 имп/мин. Определите молярную концентрацию бария в анализируемом растворе.

154. Проводили определение титана методом радиометрического титрования. Анализируемый раствор содержал Ti (IV), меченный изотопом  $^{51}\text{Ti}$ , с объемной удельной активностью 2870 имп/мин·мл. К 10 мл этого раствора добавили 2,7 мл 0,05 н.  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ . Активность 1 мл раствора, полученного после отделения осадка, 1650 имп/мин (в значения регистрируемой активности введены поправки на фон). Рассчитайте содержание титана в анализируемой пробе.

155. В две центрифужные пробирки внесено по 3 мл анализируемого раствора  $\text{AgNO}_3$  и прибавлено в первую 3, а во вторую 6 мл 0,2 н.  $\text{Na}^{131}\text{I}$ . Объем растворов доведен водой до 10 мл. Осадки отцентрифугированы и из каждой пробирки отобраны пробы раствора объемом по 1 мл. Среднее значение активности проб составило (за вычетом фона) 920 и 3760 имп/мин соответственно. Определите концентрацию раствора  $\text{AgNO}_3$ .

156. Проводили радиометрическое титрование ртути, меченной изотопом  $^{203}\text{Hg}$ , раствором диэтилдитиокарбамата натрия ( $\text{NaL}$ ) в слабокислой среде, встряхивая порции по 10 мл анализируемого раствора с равным объемом органической фазы. Органическую фазу готовили смешиванием титрованного раствора  $\text{NaL}$  (0,37 моль/л) в  $\text{CCl}_4$  с  $\text{CCl}_4$  таким образом, чтобы общий объем органической фазы в каждом опыте составлял 10 мл. Продукт реакции  $^{203}\text{HgL}_2$  накапливался в органической фазе. Получены следующие результаты:

Объем титрованного раствора Диэтилдитиокарбамата натрия, мл	Активность фаз, имп/мин (без фона)	
	органической	водной
1	900	2020
2	1740	1254
3	2664	341
4	2996	0
5	3020	0
6	3002	0

Определите точку эквивалентности на основании данных измерения активности органической и водной фазы и рассчитайте содержание ртути (в г) в анализируемой пробе.

157. Рассчитайте чувствительность определения меди методом нейтронного активационного анализа при облучении образца потоком нейтронов  $4,3 \cdot 10^{11}$  нейтронов/см<sup>2</sup>·с, если с помощью имеющейся аппаратуры можно надежно регистрировать активность порядка  $3 \cdot 10^{-4}$  мкКи. В природной смеси изотопов меди содержится  $^{63}\text{Cu}$  (69,09%) и  $^{65}\text{Cu}$  (30,91%), а эффективные сечения ( $n, \gamma$ )-реакций для этих изотопов составляют соответственно 4,3 и 2,1 барна. Периоды полураспада образующихся изотопов  $^{64}\text{Cu}$  и  $^{66}\text{Cu}$  соответственно равны 12,8 ч и 5,1 мин.

158. Оцените отношение регистрируемых активностей радиоактивных изотопов натрия, рубидия и цезия, образующихся при облучении нейтронами в течение месяца металлического натрия, содержащего 10<sup>-4</sup>% рубидия и 10<sup>-7</sup>% цезия. Поток нейтронов составляет 10<sup>13</sup> нейтронов /см<sup>2</sup>·с. Минимальная активность, которую можно надежно зарегистрировать, равна 45 имп/мин, коэффициент регистрации — 0,1.

159. Для активационного анализа диспрозия облучили нейтронами два образцовых и один анализируемый препарат. Активности образовавшегося изотопа  $^{165}\text{Dy}$  ( $T_{1/2} = 2,36$  ч), приведенные к одинаковому моменту времени, составили:

Препарат	Содержание диспрозия, г	Активность, имп/мин
№ 1	1,0	1830
№ 2	0,01	170
Анализируемый	x	540

Определите содержание диспрозия в анализируемом препарате.

160. Для определения содержания  $Q_x$  европия в окиси гадолиния измерены активности анализируемого и образцовых препаратов равной массы. Получены следующие значения скоростей счета  $I$ , отнесенные к одинаковому моменту времени:

Содержание европия $Q$ ,									
%	$Q_x$	0,002	0,010	0,027	0,046	0,060	0,077	0,10	
$I$ , имп/мин	620	75	180	460	850	980	1290	1380	

Найдите процентное содержание европия в анализируемой пробе.

161. Для определения содержания серебра в старинной монете ее облучали тепловыми нейтронами в течение 10 мин. Предварительно было установлено, что возбужденная активность принадлежит изотопу  $^{108}\text{Ag}$  с  $T_{1/2} = 2,3$  мин. Измерение начали через 3 мин после конца облучения, продолжительность измерения составляла 5 мин, общее число зарегистрированных импульсов (без фона) было равно 4560. В тех же условиях был облучен образцовый препарат с содержанием серебра 12,4%. Измерение было начато через 3 мин после окончания облучения и продолжалось 4 мин; всего было зарегистрировано 2370 имп (без фона). Определите содержание серебра и в монете.

162. Для определения примеси молибдена в двуокиси германия анализируемую пробу и образец сравнения, содержащий 8,6 мкг Мо, облучали нейтронами в одинаковых условиях. Облученные препараты растворили и для определения радиоактивности молибдена воспользовались методом изотопного разбавления. Для этого к растворам прибавили по 100 мг Мо и выделили часть молибдена добавлением  $\alpha$ -бензоиноксима и азотной кислоты. Активность и масса выделенных препаратов приведены в таблице:

Облученный объект	Содержание Мо, мкг	Масса молибдена в выделенном препарате, мг	Активность выделенной части молибдена, имп/мин
Анализируемая проба . . .	$m_x$	45	6400
Образец сравнения . . .	8,6	62	5740

Рассчитайте массу молибдена в анализируемой пробе.

163. При определении бора по поглощению нейтронов найдено, что ослабление потока нейтронов, проходящего через образцовый препарат с содержанием бора 0,6 г, составляет 0,72, а ослабление потока нейтронов, проходящего через анализируемый препарат, равно 0,58. Найдите массу бора в анализируемом препарате.

164. Определение содержания железа в руде проводили методом обратного рассеяния  $\beta$ -излучения. Скорость счета образцового препарата, содержащего 5,8% железа, составила 4200 имп/мин, а анализируемой пробы — 5760 имп/мин. Полагая на этом участке линейную зависимость скорости счета от содержания железа  $Q$ , определите  $Q_x$  для анализируемой пробы.



## 8. Применение радиоактивных изотопов в неорганической, физической и органической химии

165. Для определения растворимости  $\text{SrMoO}_4$  в воде при  $17^\circ\text{C}$  использовали препарат, меченный изотопом  $^{89}\text{Sr}$ , с удельной активностью  $1,3 \cdot 10^7$  имп/мин · г. После установления равновесия в растворе оказалось, что активность  $^{89}\text{SrMoO}_4$ , содержащегося в 2 мл, составляет 5280 имп/мин. Измерения активности  $\text{SrMoO}_4$ , находившегося в растворе, проводили в тех же условиях, что и измерения активности исходного вещества, но по истечении 16 дней. Найдите молярную растворимость  $\text{SrMoO}_4$  в воде при  $17^\circ\text{C}$ .

166. Для определения растворимости  $\text{CaF}_2$  в воде предполагается использовать осадок, полученный из  $\text{CaCl}_2$ , который содержал радиоактивный изотоп  $^{45}\text{Ca}$ . Какую минимальную массовую удельную активность должен иметь исходный  $^{45}\text{CaCl}_2$ , если ориентировочное значение растворимости  $\text{CaF}_2$   $2 \cdot 10^{-5}$  г/мл и необходимо, чтобы регистрируемая активность остатка, полученного выпариванием не более 10 мл раствора  $\text{CaF}_2$ , составляла по меньшей мере 2000 имп/мин? Коэффициент регистрации  $\phi$  равен 0,2.

167. Определение растворимости  $\text{CoS}$  в 0,1 М водном растворе  $\text{KNO}_3$  при  $18^\circ\text{C}$  проводили, используя соединение, меченное радиоактивным изотопом  $^{60}\text{Co}$ . Удельная активность взятого  $^{60}\text{CoS}$   $5,26 \cdot 10^7$  имп/мин · г. В ходе определения растворимости каждый час отбирали пробу жидкости объемом 5 мл каждая. После отделения частиц осадка измеряли активность высущенных проб в одинаковых условиях. При этом были получены следующие результаты (в порядке отбора проб): 628, 760, 850, 890, 920, 960, 1005, 1020, 985, 992, 1017 и 998 имп/мин. Какова растворимость  $\text{CoS}$  в воде (мг/мл) при указанных условиях? Определите величину произведения растворимости  $\text{CoS}$  при указанной температуре.

168. Установите, можно ли определить точное значение растворимости  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  в воде при  $25^\circ\text{C}$ , если приближенно растворимость  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  равна  $5 \cdot 10^{-7}$  г/мл, а для получения  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  предполагается использовать  $\text{FeCl}_3$ , меченный радиоактивным изотопом  $^{59}\text{Fe}$ . В продаже имеются растворы  $^{59}\text{FeCl}_3$  с содержанием иона  $\text{Fe}^{3+}$  в 1 мл не менее 3 мг и удельной активностью от 1 до 10 мКи/мл. Максимальный объем пробы для измерения активности раствора не должен превышать 10 мл. Регистрацию излучения предполагается проводить с помощью счетчика СТС-6 (толщина стенок 60 мг/см<sup>2</sup>) в условиях, когда геометрический коэффициент 0,05, а поправочные коэффициенты обратного рассеяния и самоослабления равны 1. Минимальная скорость счета каждой пробы (без фона) должна составлять 200 имп/мин.

169. Для определения растворимости  $\text{BaCO}_3$  в воде нужно синтезировать 100 мг карбоната, меченного радиоактивным изотопом  $^{140}\text{Ba}$ . Регистрационная удельная активность исходного  $^{140}\text{BaCO}_3$  должна составлять  $2 \cdot 10^6$  имп/мин · г. В распоряжении экспериментатора имеется очищенный раствор  $^{140}\text{BaCl}_2$  без носителя с удельной активностью 25 мКи/мл. Коэффициент регистрации излучения при измерении активности проб  $\phi = 0,2$ . Какое количество исходного раствора  $^{140}\text{BaCl}_2$  требуется для синтеза нужного осадка  $^{140}\text{BaCO}_3$ ? Каким путем наиболее целесообразно отобрать это количество раствора?

170. При центрифугировании, которое проводится при  $25^\circ\text{C}$ , нужно отделить от водного раствора все частицы с размером  $\geq 4 \cdot 10^{-5}$  см. Скорость центрифугирования составляет 5000 об/мин, плотность частиц  $1,042$  г/см<sup>3</sup>. Расстояние от оси вращения до поверхности раствора в центрифужной пробирке и до дна пробирки соответственно 5 и 12 см. Рассчитайте минимальное время центрифугирования, принимая во внимание, что частицы имеют шарообразную форму, вязкость раствора равна вязкости чистой воды при  $25^\circ\text{C}$  и составляет  $8,94 \cdot 10^{-3}$  пуаз, а плотность раствора  $0,998$  г/см<sup>3</sup>.

171. Рассчитайте, во сколько раз при центрифугировании минимальное время, необходимое для полного удаления из раствора частиц с размером  $\geq 3 \cdot 10^{-4}$  см, больше времени, необходимого для полного удаления из того же раствора аналогичных частиц с размером  $\geq 9 \cdot 10^{-3}$  см.

172. Проведено определение растворимости  $\text{K}_2\text{PtCl}_6$  в воде при  $4^\circ\text{C}$  методом Михеева, причем в качестве радиоактивного индикатора был выбран радио-

активный изотоп  $^{86}\text{Rb}$ . Из литературы известно, что  $\text{K}_2\text{PtCl}_6$  и  $\text{Rb}_2\text{PtCl}_6$  представляют собой изоморфные соли. Общий объем раствора составлял 200 мл. Полученные результаты измерения активности проб графически показаны на рис. 60. Используя результаты опытов, определите молярную растворимость  $\text{K}_2\text{PtCl}_6$  в воде при  $4^\circ\text{C}$ .

173. Для определения произведения растворимости  $\text{TlCl}$  использован радиоактивный препарат  $^{204}\text{TlCl}$  удельной активностью 520 000 имп/мин · г. В качестве растворителя применен 0,2 М  $\text{KClO}_4$  в воде. Равновесная удельная активность раствора при  $25^\circ\text{C}$  оказалась равной 1560 имп/мин · мл (без фона). Рассчитайте произведение растворимости  $\text{TlCl}$  в воде при  $25^\circ\text{C}$ .

174. Давление насыщенного пара над твердым  $\text{FeCl}_3$  при  $60^\circ\text{C}$  определяли статическим методом с использованием двухсекционной ампулы, которую по

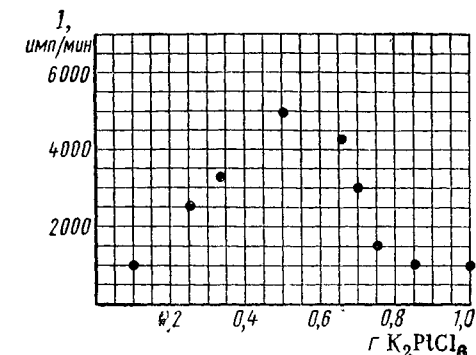


Рис. 60. Изменение активности раствора по мере добавления в него  $\text{K}_2(^{86}\text{Rb}_2)\text{PtCl}_6$

истечении определенного времени переплавляли по перетяжке. Взятый для опытов  $\text{FeCl}_3$ , меченный радиоактивным изотопом  $^{59}\text{Fe}$ , имел удельную активность  $7 \cdot 10^5$  имп/мин · г. Активность паров, сконденсировавшихся в отпаянной части ампулы (объем которой составлял 300 мл), оказалась равной 820 имп/мин (без фона). Рассчитайте давление пара над твердым  $\text{FeCl}_3$  при  $60^\circ\text{C}$ , приняв, что пары  $\text{FeCl}_3$  состоят при этой температуре из димерных молекул.

175. Давление насыщенных паров  $\text{I}_2\text{g}$  определяли статическим методом, измеряя с помощью радиометра радиоактивное излучение, проникающее через

стенки нагревательной печи. В качестве радиоактивного индикатора служил изотоп  $^{131}\text{I}$ . Калибровку прибора (определение зависимости между регистрируемой активностью пара и концентрацией атомов иода в паре) проводили с помощью элементарного иода, меченного  $^{131}\text{I}$ . В ходе этих опытов в стеклянную ампулу помещали порцию иода и измеряли скорости счета, соответствующие равновесным давлением пара над твердым иодом при 60,2, 70,5, 80,5, 91,1 $^\circ\text{C}$ , которые оказались равными соответственно 67, 126, 217, и 397 имп/с (без фона). Из литературы известно, что пар над твердым иодом состоит из молекул состава  $\text{I}_2$ , а зависимость давления насыщенного пара над твердым иодом от температуры в интервале 25—95 $^\circ\text{C}$  описывается уравнением

$$\lg p \text{ (мм рт. ст.)} = 8,884 - \frac{2843}{T},$$

где  $T$  — температура, К.

В ходе дальнейших опытов в ту же ампулу помещали количество брома, точно соответствующее тому, которое было необходимо для количественного превращения иода в  $\text{I}_2\text{g}$ . Для того чтобы реакция протекала полностью, ампулу 10 ч нагревали при  $50^\circ\text{C}$ . Образовавшийся  $\text{I}_2\text{g}$  отгоняли на дно ампулы, укрепляли ампулу в приборе (положение ампулы в нем строго фиксировалось) и находили скорости счета, отвечающие равновесию при температурах 38,2, 46,1, 65,9 $^\circ\text{C}$ , которые оказались равными соответственно 172, 274 и 589 имп/с (в эти результаты внесены поправки на фон и на распад атомов  $^{131}\text{I}$ ). По полученным результатам рассчитайте давление паров  $\text{I}_2\text{g}$  при трех указанных температурах, приняв, что пар состоит только из молекул состава  $\text{I}_2\text{g}$ , а их диссоциация в указанных условиях столь мала, что ею можно пренебречь.

176. Определение давления пара над твердым цинком при  $252^\circ\text{C}$  проводили методом Кнудсена. Использованный цинк содержал радиоактивный индикатор  $^{65}\text{Zn}$  и имел удельную активность  $4,6 \cdot 10^8$  имп/мин · г. Активность пара, испарившегося в камере за 4 ч через отверстие диаметром  $4,4 \cdot 10^{-2}$  см, соста-

вила 1150 имп/мин. Коэффициент Клаузинга в данном случае равен 0,325. Рассчитайте давление пара цинка при 252° С, приняв, что его пары одноатомны.

177. Для изучения самодиффузии атомов меди на чистую поверхность монокристалла меди толщиной 2,5 см нанесли электролизом тонкий слой меди, содержащий атомы радиоактивного изотопа  $^{64}\text{Cu}$ . Образец в течение  $4,1 \cdot 10^4$  с выдерживали при 1336 К, а затем измеряли концентрацию радиоактивных атомов в слоях, расположенных на различном расстоянии от поверхности. Результаты измерений оказались следующими:

Глубина слоя, $l \cdot 10^{-2}$ см . . .	1,5	2,0	2,7	3,3	4,4	5,5
Удельная активность слоя, имп/мин·г (все результаты измерений приведены к одному моменту времени) . . . . .	750	540	320	180	45	10

Так как глубина снятых слоев значительно меньше общей толщины использованного монокристалла, можно принять, что в данном случае имеет место диффузия в полубесконечный слой. Определите по результатам опыта коэффициент самодиффузии атомов меди.

178. Капиллярным методом с использованием радиоактивного изотопа  $^{36}\text{Cl}$  определяли коэффициент самодиффузии иона  $\text{Cl}^-$  в 1 М водном растворе  $\text{LiCl}$  при 15° С. Длина использованного капилляра 2,2 см, начальная активность раствора в капилляре 8000 имп/мин, опыт продолжался 30 ч, активность раствора в капилляре по окончании опыта 3190 имп/мин. Найдите коэффициент самодиффузии иона  $\text{Cl}^-$ .

179. Капиллярным методом с использованием радиоактивного изотопа  $^{36}\text{Cl}$  предстоит определить коэффициент самодиффузии иона  $\text{Cl}^-$  в 0,5 М  $\text{CsCl}$  при 30° С. Какова должна быть минимальная продолжительность опыта, если предполагаемое значение коэффициента самодиффузии  $2 \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/с, а в распоряжении имеются капилляры длиной 25 мм?

180. Капиллярным методом предполагается определять коэффициенты самодиффузии галогенид-ионов в водном растворе. Имеются капилляры длиной 0,8 и 4,2 см. При использовании каких капилляров минимальная продолжительность опытов будет меньше? Во сколько раз? По каким причинам может оказаться необходимым использование капилляров, работа с которыми требует больших затрат времени?

181. В среде 0,5 н.  $\text{HCl}$  при 25° С коэффициент диффузии иона, содержавшего полоний, оказался равным  $9,2 \cdot 10^{-6}$  см<sup>2</sup>/с. Определите заряд иона, если его подвижность равна  $0,7 \cdot 10^{-3}$ .

182. В 50 мл насыщенного при 20° С водного раствора  $\text{PbI}_2$  внесли 0,53 г хорошо стабилизированного осадка  $\text{PbI}_2$  и затем добавили 1 каплю раствора  $\text{K}^{131}\text{I}$  (без носителя), активность которой  $4 \cdot 10^6$  имп/мин. Жидкости с осадком перемешивали и каждые 5 мин определяли удельные объемные активности раствора, которые оказались в порядке отбора проб): 6800, 6340, 6018, 5950, 5964, 5947, 5971, 5942 имп/мин · мл (без фона). Считая, что в изотопном обмене участвует только один поверхностный слой осадка, найдите его удельную поверхность. При расчетах плотность  $\text{PbI}_2$  примите равной 6,16 г/см<sup>3</sup>, а растворимость при 20° С —  $6,3 \cdot 10^{-4}$  г/мл.

183. Для определения поверхности осадка  $\text{Ce}(\text{IO}_3)_4$  использовали 100 мл насыщенного при 20° С водного раствора этого соединения, содержавшего радиоактивный изотоп  $^{141}\text{Ce}$ , с удельной активностью 5600 имп/мин · мл. В раствор вносили 0,35 г неактивного осадка  $\text{Ce}(\text{IO}_3)_4$  и далее суспензию перемешивали. Каждые 10 мин отбирали пробы жидкой фазы и определяли удельную активность раствора. При этом были получены следующие результаты (в порядке отбора проб): 4800, 4600, 4450, 4400, 4365, 4331, 4300, 4270 и 4235 имп/мин · мл (с учетом фона). Приняв, что в первой (быстрой) стадии обмена участвуют только ионы церия, входящие в поверхностный монослой частиц твердой фазы, определите относительную удельную поверхность использованного осадка. При расчетах растворимость  $\text{Ce}(\text{IO}_3)_4$  в воде при 20° С примите равной  $1,5 \cdot 10^{-4}$  г/мл.

184. Для определения константы устойчивости комплекса  $\text{Sr}^{2+}$  с гликолятионом  $[\text{SrGluk}]^+$  при 20° С в водном растворе использовали метод Шуберта. В ка-

честве радиоактивного индикатора брали раствор  $^{90}\text{SrCl}_2$  (без носителя). В каждом случае количество катионита, взятого для опыта, составляло 0,1 г, а объем раствора 20 мл. Для поддержания в растворе постоянной ионной силы, равной 2,0, использовали  $\text{NaClO}_4$ , нужное значение pH поддерживали с помощью раствора аммиака. При изучении распределения  $^{90}\text{Sr}$  в отсутствие комплексообразователя исходная удельная активность раствора составляла 7200 имп/мин. После добавления смолы и установления равновесия удельная активность раствора падала до 1800 имп/мин·мл. В присутствии комплексообразователя (гликолята натрия), концентрация которого 0,01 моль/л, удельная активность раствора до прибавления смолы была равна 6570 имп/мин·мл, а после добавления смолы и достижения равновесия — 1800 имп/мин·мл. Оцените из этих данных величину константы образования комплекса  $[\text{SrGluk}]^+$ .

185. Определение состава и константы образования комплекса  $\text{Ca}^{2+}$  с анионом малоновой кислоты  $\text{CH}_2(\text{COO})_2^-$  при  $20^\circ\text{C}$  и pH 8,5 проводили методом Шуберта, так как из литературных данных можно было заключить, что в данном случае образуется только один комплекс. Роль радиоактивного индикатора играл изотоп  $^{45}\text{Ca}$ . В каждом опыте использовали по 50 мл раствора и по 0,2 г катионита, взятого в натриевой форме. Для поддержания в растворе постоянной ионной силы, равной 1,0 использовали  $\text{KClO}_4$ . При изучении распределения  $^{45}\text{Ca}$  между смолой и раствором в отсутствие комплексообразователя исходная удельная активность раствора составила 6580 имп/мин·мл, а удельная активность раствора после добавления смолы и установления равновесия — 740 имп/мин·мл. В опытах с использованием комплексообразователя удельная активность исходных растворов во всех случаях была равна 7896 имп/мин·мл. Результаты измерения активности растворов после добавления смолы оказались следующими:

Концентрация малоната калия в растворе, моль/л . . . . .	0,052	0,1	0,14	0,23	0,35	0,55
Удельная активность раствора после достижения равновесия, имп/мин·мл . . . . .	1945	2634	3170	3908	4598	5378

Определите состав комплекса и величину его константы образования.

186. Для изучения комплекса цинка с ацетат-ионом при  $18^\circ\text{C}$  и pH 8,5 применили метод Шуберта, так как на основании литературных данных ожидали, что ион  $\text{Zn}^{2+}$  дает с ионом  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  только один комплекс. В качестве радиоактивной метки использовали изотоп  $^{65}\text{Zn}$ . Для создания в растворе постоянной ионной силы, равной 1,0, использовали  $\text{NaClO}_4$ , нужное значение pH устанавливали раствором аммиака. В каждом опыте брали равные объемы растворов и равные количества катионита в натриевой форме. В ходе опытов была найдена следующая зависимость доли поглощенного цинка от концентрации комплексообразователя в растворе:

Концентрация $\text{CH}_3\text{COONa}$ , моль/л . .	0	0,025	0,05	0,08	0,16	0,32
Равновесная доля цинка, перешедшая на катиониз раствора (по отношению к исходному содержанию цинка в растворе), % . . . . .	86,5	74,0	64,5	56,2	41,6	27,5

На основании результатов опыта определите состав комплекса и величину его константы нестойкости.

187. Определение чисел переноса ионов в 100%-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , меченной радиоактивным изотопом  $^{35}\text{S}$ , проводили в электролитической ячейке, зоны анода и катода которой были отделены от центральной зоны пористыми перегородками. До начала электролиза в зоне у анода содержалось 0,125, а в зоне у катода—

0,110 моля  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , исходная удельная активность в центральной зоне ячейки 8250 имп/мин · мл. В ходе электролиза через ячейку было пропущено 600 Кл электричества. После завершения электролиза удельные активности в анодной и катодной зонах составили (с учетом диффузии) соответственно 8 и 211 имп/мин · мл. Так как перенос радиоактивной  $^{35}\text{S}$  из центральной зоны в анодную и катодную зоны был незначительным, можно считать, что удельная активность кислоты в центральной зоне оставалась все время одинаковой. Определите числа переноса катионов и анионов, принимавших участие в электролизе.

188. Для определения числа переноса аниона в 0,132 М водном растворе  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , меченной радиоактивным изотопом  $^{32}\text{P}$ , использовали электролитическую ячейку, описанную в задаче 187. До начала электролиза в анодной зоне содержалось 20,65 ммольей  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , а удельная активность раствора в центральной зоне ячейки составляла 5000 имп/мин · мл. В ходе электролиза через ячейку было пропущено 620 Кл электричества. Удельная активность раствора в анодной зоне по окончании электролиза стала равной 100 имп/мин · мл (с учетом поправки на диффузию). Определите число переноса аниона, считая, что в ходе электролиза удельная активность раствора в центральной зоне ячейки практически не меняется.

189. В серии последовательных превращений получают меченный по углероду-14 хлорбензол. Требуется получить 30 г хлорбензола удельной активностью 0,3 мКи/г. Какова должна быть общая активность взятого для синтеза углерода-14 (в мКи), если химический выход меченого хлорбензола 67%, а радиохимический выход 63%?

190. Исходя из  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  синтезируют пропионовую кислоту, меченную в карбоксиле углеродом-14. Скорость счета препарата, содержащего 60 мг исходного вещества, составляла 400 имп/мин. Какова будет молярная удельная активность меченой пропионовой кислоты, если выход кислоты 70%?

191. Для изучения механизма окисления использовали фумаровую кислоту, меченную углеродом-14 в обоих карбоксилах, причем удельная активность карбоксильного углерода составляла 4000 имп/мин на 1 мг углерода. В результате окисления фумаровой кислоты  $\text{KMnO}_4$  получили окись углерода удельной активностью 2665 имп/мин на 1 мг углерода, воду и неактивную органическую кислоту. На основании полученных данных определите место разрыва связей в исходной молекуле и укажите, какая органическая кислота образуется при окислении фумаровой кислоты.

192. 4,65 г пропионовой кислоты, меченной углеродом-14, были подвергнуты окислению  $\text{KMnO}_4$  в щелочном растворе. По окончании реакции оксидативные осадки в форме  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ , а  $\text{CO}_2$  поглотили раствором  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ . Скорость счета препарата  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  массой 10,7 мг составила 1400 имп/мин, а скорость счета препарата  $\text{BaCO}_3$  массой 16,4 мг — 600 имп/мин. Какова вероятность разрыва связи  $\text{CH}_2 - \text{COO}$  в молекуле пропионовой кислоты при окислении в щелочной среде?

## 9. Обработка результатов измерения радиоактивности

193. Истинное значение регистрируемой скорости счета (имп/мин) равно 1230, а среднее квадратическое отклонение — 35. Найдите границы такого симметричного интервала, в который результат отдельного измерения может попасть с вероятностью 0,99.

194. Определите границы симметричного интервала, за пределами которого при многократном повторении наблюдений может оказаться лишь 10% результатов, если известно, что истинное значение скорости счета фона 25 имп/мин, а среднее квадратическое отклонение равно 5.

195. Было выполнено 10 измерений регистрируемой активности препарата продолжительностью по 1 мин и получены следующие значения скоростей счета: 1332; 1318; 1367; 1349; 1420; 1389; 1296; 1328; 1350; 1314 имп/мин. Рассчитайте для этой выборки среднее арифметическое, выборочную дисперсию и соответствующее ей среднее квадратическое отклонение, а также среднее квадрати-

ческое отклонение, обусловленное статистическим характером радиоактивного распада. Сопоставьте последнее значение с приближенными значениями  $\sigma_{\text{Пюассона}}$ , которые можно вычислить по данным отдельных измерений.

196. Из одного и того же радиоактивного раствора были приготовлены четыре одинаковых радиоактивных препарата. Их измерения, проводившиеся в идентичных условиях (каждый препарат измерял 2 мин), дали следующие значения скоростей счета: 731, 755, 864, 778 имп/мин. Рассчитайте относительное выборочное квадратическое отклонение, характеризующее суммарное рассеяние результатов эксперимента, и относительное квадратическое отклонение, обусловленное флуктуациями числа распадающихся ядер.

197. Известно, что рассеяние результатов при регистрации радиоактивности обусловлено только статистическим характером распада, а среднее число импульсов, регистрируемых детектором за время  $t$  (малое по сравнению с периодом полураспада измеряемого изотопа), равно 10. Рассчитайте вероятность того, что число импульсов  $N$ , сосчитанных за время отдельного измерения, будет не более 4.

198. Рассчитайте суммарную скорость счета препарата с фоном и скорость счета фона, а также соответствующие значения абсолютных и относительных квадратических флуктуаций, если при измерении препарата с фоном за 5 мин было зарегистрировано 2735 имп, а при измерении фона — 373 имп за 15 мин.

199. При измерении фона в течение 10 мин было зарегистрировано 312 имп. Найдите доверительный интервал для истинного значения скорости счета фона при доверительной вероятности  $\gamma = 0,99$ , если известно, что распределение числа регистрируемых прибором импульсов подчиняется закону Пуассона.

200. Изучая счетную характеристику детектора ядерных частиц, изменяли напряжение через 25 В и при каждом значении напряжения в течение 1 мин измеряли регистрируемую активность образца. На участке плато (400—500 В) были получены следующие результаты, соответствующие возрастающим значениям напряжения: 4320; 4380; 4300; 4230; 4290 имп/мин. Рассчитайте и нанесите на график доверительные интервалы для истинных значений скоростей счета при 95%-ной доверительной вероятности. Можно ли считать истинную скорость счета на плато постоянной?

201. Результаты определения железа в присутствии алюминия и хрома методом изотопного разбавления следующие: 79,4; 78,9; 85,6; 87,9; 80,6 мг  $\text{FeCl}_3$ . Найдите абсолютное и относительное отклонение среднего при 95%-ной доверительной вероятности.

202. При определении геометрического коэффициента счетной установки с помощью различных эталонных образцов получены значения: 0,052; 0,048; 0,051; 0,053. Каким образом следует записать результат измерений, если принятый уровень доверительной вероятности равен 0,95?

203. По данным задач 195 и 196 проверьте, подчиняются ли результаты измерений распределению Пуассона, и постройте доверительные интервалы для средних значений скоростей счета, совместимые с результатами эксперимента при 95%-ной доверительной вероятности.

204. Проведено 20 измерений скорости счета препарата продолжительностью по 1 мин. Получены следующие результаты: 361; 377; 436; 405; 378; 371; 372; 351; 339; 385; 380; 351; 381; 378; 370; 361; 337; 354; 346; 359 имп/мин. Рассчитайте доверительный интервал для среднего значения скорости счета при доверительной вероятности  $\gamma = 0,99$ .

205. На основании данных, приведенных в задаче 198, определите скорость счета препарата за вычетом фона и абсолютную квадратическую флуктуацию этой величины.

206. С какой относительной погрешностью (соответствующей 95%-ной доверительной вероятности) будет измерен препарат со скоростью счета 10 имп/мин при фоне 20 имп/мин, если каждое измерение препарата с фоном и фона проводилось в течение 20 мин?

207. При измерении фона в течение 7 мин было зарегистрировано 308 имп, а при измерении препарата вместе с фоном — 4284 имп за 17 мин. Рассчитайте, чему равна скорость счета препарата без фона, а также абсолютную и относительную флуктуации скорости счета препарата при доверительной вероятности  $\gamma = 0,95$ .

208. Найдите отношение регистрируемых активностей двух образцов, а также погрешность этого отношения, соответствующую 95%-ной доверительной вероятности, если скорость счета первого образца вместе с фоном измерялась в течение 15 мин и оказалась равной 375 имп/мин, скорость счета второго образца с фоном измерялась в течение 3 мин и составила 1009 имп/мин. При измерении фона в течение 5 мин была получена скорость счета 31 имп/мин.

209. Для определения объемной удельной активности исходного раствора использовали образец, приготовленный из 0,28 мл раствора, разбавленного в  $10^4$  раз. При измерении этого образца на 4л-счетчике в течение 15 мин было зарегистрировано 8287 имп, а при измерении фона — 130 имп за 4 мин. Далее из исходного раствора отбирали по 0,20 мл для приготовления образцовых радиоактивных препаратов. Рассчитайте, с какой точностью (при 95%-ной доверительной вероятности) будет установлена абсолютная активность образцовых препаратов, если принять, что относительная погрешность отбора проб при  $\gamma = 0,95$  не превышает 2% и погрешностью разведения можно пренебречь.

210. Проверьте, оптимальным ли образом выбрана продолжительность измерений в опытах, результаты которых приведены в задачах 198 и 207.

211. Определите оптимальную продолжительность измерений препарата с фоном и фона, если суммарная скорость счета препарата с фоном приблизительно 1300 имп/мин, скорость счета фона равна примерно 30 имп/мин, а относительная флуктуация результата при 95%-ной доверительной вероятности не должна превышать 2%.

212. Фон установки колеблется около 25 имп/мин. Рассчитайте продолжительность измерений препарата с фоном и фона, необходимую для того, чтобы получить результат с точностью 1% при доверительной вероятности  $\gamma = 0,95$ , если скорость счета препарата а) 25 имп/мин; б) 100 имп/мин; в) 1000 имп/мин.

213. Скорость счета препарата 1000 имп/мин при уровне фона 50 имп/мин. Рассчитайте оптимальную продолжительность измерений, если при доверительной вероятности  $\gamma = 0,99$  требуется получить значения скорости счета препарата за вычетом фона с точностью а) 1%; б) 2%; в) 5%.

214. Получены следующие значения суммарной скорости счета препарата с фоном  $I_c$ , и скорости счета фона  $I_\phi$  в зависимости от напряжения дискриминации  $U_d$ :

$U_d$ , В . . . . .	13	23	27	44	56
$I_c$ (имп/мин) . . . . .	38 606	38 617	37 354	29 941	26 885
$I_\phi$ (имп/мин) . . . . .	778	125	122	96	76

Найдите оптимальное значение порога дискриминации.

215. При изучении условий работы сцинтилляционного счетчика варьировали напряжение на ФЭУ, коэффициент усиления и уровень дискриминации. На основании приведенных ниже результатов выберите рабочий режим.

Напряжение на ФЭУ, В	Уровень дискриминации, В	Коэффициент усиления	$I_c$ , имп/мин	$I_\phi$ , имп/мин
950	5	50	20 930	230
950	5	500	38 660	860
950	15	50	300	80
950	15	500	29 880	310
1050	5	50	33 300	350
1050	5	500	86 480	49 860
1050	15	50	13 700	210
1050	15	500	37 400	520

216. При выполнении активационного анализа образца, содержащего марганец, были получены следующие данные:

Время от момента снятия с облучения, мин . . . . .	21	40	59	78	97
Скорость счета, имп/мин . . . . .	437	398	370	340	313

Рассчитайте период полураспада образовавшегося изотопа и величину регистрируемой активности в момент снятия с облучения, а также погрешности определения этих величин, соответствующие 95%-ной доверительной вероятности.

217. Исследовали давление насыщенного пара  $p$  двуокиси ниобия, используя радиоактивный индикатор  $^{95}\text{Nb}$ . Получены следующие значения  $p$  в зависимости от температуры  $T$ :

$T, \text{ К}$ . . . . .	1761	1817	1863	1999	
$p, \text{ мм рт.ст.}$ . . . . .	$1,03 \cdot 10^{-6}$	$4,41 \cdot 10^{-6}$	$2,06 \cdot 10^{-5}$	$4,05 \cdot 10^{-5}$	
$T, \text{ К}$ . . . . .	1935	1965	1996	2037	2067
$p, \text{ мм рт.ст.}$ . . . . .	$7,32 \cdot 10^{-5}$	$1,19 \cdot 10^{-4}$	$2,85 \cdot 10^{-4}$	$8,41 \cdot 10^{-4}$	$1,18 \cdot 10^{-3}$

Определите параметры уравнения  $\lg p = a + \frac{b}{T}$  и соответствующие погрешности при 95%-ной доверительной вероятности.

218. В литературе описаны три критерия выбора оптимального режима радиометрической аппаратуры. Предполагается, что оптимальный режим представляет собой такую совокупность радиотехнических характеристик аппаратуры, при которой достигает максимального значения одна из следующих функций:

$$K_1 = \frac{I}{I_{\Phi}}, \quad K_2 = \frac{I^2}{I_{\Phi}}, \quad K_3 = (\sqrt{I_c} - \sqrt{I_{\Phi}})^2,$$

где  $I$  определяется как разность скорости счета препарата с фоном  $I_c$  и скорости счета фона  $I_{\Phi}$ .

Рассчитайте значения относительных погрешностей каждой из указанных функций при 95%-ной доверительной вероятности для случаев: а)  $I = 1000$ ,  $I_{\Phi} = 100$  и б)  $I = 1000$ ,  $I_{\Phi} = 10$ . При вычислениях можно предполагать, что рассеяние результатов измерения обусловлено лишь статистическим характером радиоактивного распада, а продолжительность измерений препарата с фоном и фона в каждом случае равна 1 мин.

219. Активационный анализ может быть выполнен абсолютным или относительным способом. При абсолютном варианте активационного анализа массу определяемого элемента рассчитывают по формуле

$$m = \frac{I A_{\text{г-ат}} 100}{N_{\Lambda} q \varphi \Phi_0 \sigma (1 - e^{-\lambda t_1}) e^{-\lambda t_2}},$$

где  $I$  — значение регистрируемой активности облученного образца;  $\varphi$  — коэффициент регистрации;  $A_{\text{г-ат}}$  — грамм-атомная масса активированного изотопа;  $N_{\Lambda}$  — число Авогадро;  $q$  — процентное содержание активированного изотопа в природной смеси изотопов, образующих данный элемент;  $\Phi_0$  — поток бомбардирующих частиц;  $\sigma$  — эффективное сечение ядерной реакции;  $\lambda$  — постоянная распада активированного изотопа;  $t_1$  — продолжительность облучения;  $t_2$  — время между окончанием облучения и измерением образца.

При проведении активационного анализа относительным способом количество определяемого элемента находят по формуле

$$m = \frac{I}{I_{\text{ст}}} m_{\text{ст}},$$



где  $m_{ст}$  — содержание элемента в стандартном образце, облучаемом в месте с анализируемым;  $I$  и  $I_{ст}$  — регистрируемые активности анализируемого и стандартного образцов.

Некоторые (далеко не все) погрешности, которые могут отягощать результаты активационного анализа, приведены в таблице:

Источник погрешности	Относительная погрешность при 95%-ной доверительной вероятности, %	Источник погрешности	Относительная погрешность при 95%-ной доверительной вероятности, %
Масса анализируемой пробы	1	Постоянная распада образующегося изотопа	До 10
Масса стандартного образца	2	Продолжительность облучения (<1 мин)	3
Величина потока нейтронов	5	Калибровка счетчика	3
Эффективное сечение ядерной реакции	До 30	Измерение скорости счета	4

Пользуясь данными таблицы, найдите относительные погрешности определения процентного содержания элемента в пробе, соответствующие 95%-ной доверительной вероятности, для: а) относительного варианта активационного анализа; б) абсолютного варианта, если время облучения  $t_1$  очень велико по сравнению с периодом полураспада  $T_{1/2}$  образующегося изотопа (например,  $t_1 > 10 T_{1/2}$ ); в) абсолютного варианта, если время облучения  $t_1 < 1$  мин и мало по сравнению с  $T_{1/2}$ . Предполагается что измерение активности образцов проводится в момент окончания облучения.

220. Требуется, чтобы относительная флуктуация скорости счета препарата при 95%-ной доверительной вероятности не превышала 3%, а общее время измерения препарата с фоном и фона было не более 5 мин. Рассчитайте, какими должны быть скорости счета измеряемого препарата в тех случаях, когда фон составляет 30; 300; 3000 имп/мин.

# Литература

---

## К главе 1

- Иванов В. И. Курс дозиметрии. М., Атомиздат, 1970.
- Моисеев А. А., Иванов В. И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. М., Атомиздат, 1973.
- Кимель Л. Р., Мошкович В. П. Защита от ионизирующих излучений. Справочник. М., Атомиздат, 1972.
- Нормы радиационной безопасности НРБ-69. М., Атомиздат, 1972.
- Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72. М., Атомиздат, 1973.
- Защитное оборудование и приспособления для работы с радиоактивными веществами. М., Госатомиздат, 1961.
- Городинский С. М. Средства индивидуальной защиты для работ с радиоактивными веществами. М., Атомиздат, 1973.
- Тарасенко Н. Ю., Ходырева М. А., Воробьев А. М. Защита и очистка кожных покровов от радиоактивных загрязнений. М., «Медицина», 1972.

## К главам 2 — 3

- Злобинский Б. М. Безопасность работ с радиоактивными веществами. М., Металлургиздат, 1961.
- Коробков В. И., Лукьянов В. Б. Методы приготовления препаратов и обработка результатов измерений радиоактивности. М., Атомиздат, 1973.
- Лукьянов В. Б. Измерение и идентификация бета-радиоактивных препаратов. М., Госатомиздат, 1963.

## К главе 4

- Коробков В. И., Лукьянов В. Б. Методы приготовления препаратов и обработка результатов измерений радиоактивности. М., Атомиздат, 1973.
- Доерфель К. Статистика в аналитической химии. М., «Мир», 1969.
- Налимов В. В. Применение математической статистики при анализе вещества. М., Физматгиз, 1960.

## К главе 5

- Лукьянов В. Б., Бердоносков С. С., Богатырев И. О., Заборенко К. Б., Иофа Б. З. Радиоактивные индикаторы в химии. Основы метода. М., «Высшая школа», 1975.
- Руководство к практическим занятиям по физическим основам радиохимии. Под ред. Ан. Н. Несмеянова. М., «Химия», 1971.

Руководство к практическим занятиям по радиохимии. Под ред. Ан. Н. Несмеянова. М., «Химия», 1968.

Лабораторные работы по радиохимии. Под ред. И. А. Коршунова. М., «Высшая школа», 1970.

Герфорт Л. и Кох Г. Практикум по радиохимии. М., ИЛ, 1963.

### К главе 6

Лукьянов В. Б., Бердонос С. С., Богатырев И. О.,  
Заборенко К. Б., Иофа Б. З. Радиоактивные индикаторы  
в химии. Основы метода. М., «Высшая школа», 1975.

## ПРИЛОЖЕНИЯ\*

Таблица П.1

Характеристика некоторых радиоактивных изотопов\*\*

Порядковый номер элемента	Символ изотопа	Основные ядерные реакции получения и сечение в барнах (число справа)	Период полураспада, $T_{1/2}$	Тип распада	Энергия частиц, МэВ	Выход частиц на распад, %	Энергия $\gamma$ -квантов, МэВ	Выход $\gamma$ -квантов на распад, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$^3\text{H}$ , Т	$^6\text{Li} (n, \alpha) \text{T}$ ; 70	12,26 года	$\beta^-$	0,0176	100	Нет	—
6	$^{14}\text{C}$	$^{14}\text{N} (n, p) ^{14}\text{C}$ ; 1,81	5568 лет	$\beta^-$	0,158	100	Нет	—
11	$^{22}\text{Na}$	$^{24}\text{Mg} (d, \alpha) ^{22}\text{Na}$	2,58 года	$K (11\%)$ $\beta^\pm (89\%)$	0,540	89	1,275 0,511	100 180
11	$^{24}\text{Na}$	$^{23}\text{Na} (n, \gamma) ^{24}\text{Na}$ ; 0,53	14,9 ч	$\gamma$ $\beta^-$	1,400	100	2,75 1,37	100 100
15	$^{32}\text{P}$	$^{31}\text{P} (n, \gamma) ^{32}\text{P}$ ; 0,172 $^{32}\text{S} (n, p) ^{32}\text{P}$ ; 0,154	14,5 дня	$\beta^-$	1,711	100	Нет	—
16	$^{35}\text{S}$	$^{35}\text{Cl} (n, p) ^{35}\text{S}$ ; 0,19	87 дней	$\beta^-$	0,167	100	Нет	—
17	$^{36}\text{Cl}$	$^{35}\text{Cl} (n, \gamma) ^{36}\text{Cl}$ ; 30	$3,08 \cdot 10^5$ лет	$\beta^- (98,3\%)$ $K (1,7\%)$	0,714	98,3	Нет	—
19	$^{40}\text{K}$	Естественный (0,012% в природной смеси изотопов)	$1,39 \cdot 10^9$ лет	$K (11\%)$ $\beta^- (89\%)$	1,300	89	1,46	11
19	$^{42}\text{K}$	$^{41}\text{K} (n, \gamma) ^{42}\text{K}$ ; 1,2	12,46 ч	$\beta^-$ $\gamma$	3,550 1,900	~82 ~18	1,52 Другие	18 0,4
20	$^{45}\text{Ca}$	$^{44}\text{Ca} (n, \gamma) ^{45}\text{Ca}$ ; 0,72	153 дня	$\beta^-$	0,256	100	Нет	—

\* Периодическая система элементов с обозначением массовых чисел стабильных, долгоживущих радиоактивных и важнейших искусственных радиоактивных изотопов, а также ряды радиоактивных превращений с указанием периодов полураспада отдельных изотопов приведены на форзацах книги.

\*\* В столбцах 2 и 4 в скобках указаны короткоживущие дочерние изотопы и их периоды полураспада; сведения об излучении в этих случаях относятся к равновесной смеси материнского и дочернего изотопов.

Таблица П.1 (продолжение)

Порядковый номер элемента	Символ изотопа	Основные ядерные реакции получения и сечение в барнах (число справа)	Период полураспада, $T_{1/2}$	Тип распада	Энергия частиц, МэВ	Выход частиц на распад, %	Энергия $\gamma$ -квантов, МэВ	Выход $\gamma$ -квантов, на распад, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
24	$^{51}\text{Cr}$	$^{50}\text{Cr}(n, \gamma)^{51}\text{Cr}$ ; 16	27,8 дней	$K$ $\gamma$	—	—	0,325	9
25	$^{52}\text{Mn}$	$^{52}\text{Cr}(p, n)^{52}\text{Mn}$ $^{52}\text{Cr}(d, 2n)^{52}\text{Mn}$	5,7 дня	$K$ (67%) $\beta^+$ (33%) $\gamma$	0,580	33	1,434 1,332 1,246; 1,214 1,07 0,935 0,744 0,511 Другие	100 6 9 3 84 82 58 5
25	$^{56}\text{Mn}$	$^{55}\text{Mn}(n, \gamma)^{56}\text{Mn}$ ; 13	2,58 ч	$\beta^-$ $\gamma$	2,860 1,050 0,700	50 30 20	2,12 1,81 0,845 Другие	14,5 25,5 98,8 2
26	$^{59}\text{Fe}$	$^{58}\text{Fe}(n, \gamma)^{59}\text{Fe}$ ; 0,98 $^{59}\text{Co}(n, p)^{59}\text{Fe}$ ; 0,006	45,0 дня	$\beta^-$ $\gamma$	1,560 0,462 0,271	0,3 54 46	1,29 1,10 0,192 Другие	44 56 2,5 1
27	$^{58}\text{Co}$	$^{58}\text{Ni}(n, p)^{58}\text{Co}$ ; 0,225	71,3 дня	$K$ (~86%) $\beta^+$ (14,5%) $\gamma$	0,485	14,5	0,805 0,511 Другие	100 29 2
27	$^{60}\text{Co}$	$^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$ ; 36,6	5,27 года	$\beta^-$ $\gamma$	0,309	~100	1,333 1,172	100 99

Таблица П.1 (продолжение)

Порядковый номер элемента	Символ изотопа	Основные ядерные реакции получения и сечение в барнах (число справа)	Период полураспада, $T_{1/2}$	Тип распада	Энергия частиц, МэВ	Выход частиц на распад, %	Энергия $\gamma$ -квантов, МэВ	Выход $\gamma$ -квантов на распад, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
29	$^{64}\text{Cu}$	$^{63}\text{Cu}(n, \gamma)^{64}\text{Cu}$ ; 4,3	12,8 ч	$K$ (43%) $\beta^+$ (19%) $\beta^-$ (38%) $\gamma$	0,656 0,573	19 38	0,511	38
30	$^{65}\text{Zn}$	$^{64}\text{Zn}(n, \gamma)^{65}\text{Zn}$ ; 0,77	245 дней	$K$ (98,5%) $\beta^+$ (1,5%) $\gamma$	0,325	1,5	1,120 0,511	49 3,4
33	$^{74}\text{As}$	$^{75}\text{As}(n, 2n)^{74}\text{As}$	17,5 дня	$K$ (40,2%) $\beta^+$ (27,8%) $\beta^-$ (32%) $\gamma$	1,530 1,360 0,920 0,690	2,8 16 25 16	0,635 0,596 0,511 Другие	16 63 55 1
33	$^{76}\text{As}$	$^{76}\text{As}(n, \gamma)^{76}\text{As}$ ; 4,3	27,6 ч	$\beta^-$ $\gamma$	2,960 2,410 1,760 Другие	55 32 8 5	1,21 0,65 0,56 Другие	4,7 6,3 38 3
35	$^{82}\text{Br}$	$^{81}\text{Br}(n, \gamma)^{82}\text{Br}$ ; 3,1	36 ч	$\beta^-$ $\gamma$	0,450	100	1,478 1,320 1,041 0,828 0,780 0,700 0,617 0,554 Другие	19,3 31 30 24 80 24 42 67 1
37	$^{86}\text{Rb}$	$^{85}\text{Rb}(n, \gamma)^{86}\text{Rb}$ ; 0,91	18,7 дня	$\beta^-$ $\gamma$	1,760 0,790	91,5 9,5	1,079	9,8

Порядковый номер элемента	Символ изотопа	Основные ядерные реакции получения и сечения в барнах (число справа)	Период полураспада, $T_{1/2}$	Тип распада	Энергия частиц, МэВ	Выход частиц на распад, %	Энергия $\gamma$ -квантов, МэВ	Выход $\gamma$ -квантов на распад, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
38	$^{89}\text{Sr}$ ( $+^{89m}\text{Y}$ )	$U(n, f)^{89}\text{Sr}$	50,5 дня (16,1 с)	$\beta^-$ $\gamma$ (слабое)	1,462	~100		
38	$^{90}\text{Sr}$	$U(n, f)^{90}\text{Sr}$	28,4 года	$\beta^-$	0,535	100	Нет	—
39	$^{90}\text{Y}$	$^{90}\text{Sr} \xrightarrow{\beta^-} ^{90}\text{Y}$	64,8 ч	$\beta^-$ $\gamma$ (слабое)	2,260	~100		
39	$^{91}\text{Y}$	$U(n, f)^{91}\text{Y}$	57,5 дня	$\beta^-$ $\gamma$	1,550 0,360	99,6 0,4	1,22	0,3
40	$^{95}\text{Zr}$ ( $+^{95m}\text{Nb}$ )	$U(n, f)^{95}\text{Zr}$ $^{94}\text{Zr}(n, \gamma)^{95}\text{Zr}$ ; 0,08	65 дней (90 ч)	$\beta^-$ $\gamma$	0,888 0,396 0,364	3 43 54	0,757 0,724 0,231	43 55 2
41	$^{95}\text{Nb}$	$^{95}\text{Zr} \xrightarrow{\beta^-} ^{95}\text{Nb}$	35 дней	$\beta^-$ $\gamma$	0,162	100	0,768	100
44	$^{106}\text{Ru}$ ( $+^{106}\text{Rh}$ )	$U(n, f)^{106}\text{Ru}$	1,0 год (30 с)	$\beta^-$ $\gamma$	3,550 2,950 0,039 Другие	90 3 100 7	0,624 0,513 Другие	12 29,3 4
47	$^{110m}\text{Ag}$ ( $+^{110}\text{Ag}$ )	$^{109m}\text{Ag}(n, \gamma)^{110m}\text{Ag}$ ; 3,2	253 дней (24,5 с)	$\beta^-$ $\gamma$	2,860 2,200	82 18	1,506; 1,476 1,384	19 26

Таблица П.1 (продолжение)

Порядко- вый номер элемента	Символ изотопа	Основные ядерные реакции получения и сечение в барнах (число справа)	Период полурас- пада, $T_{1/2}$	Тип распада	Энергия частиц, МэВ	Выход частиц, на распад, %	Энергия $\gamma$ -квантов, МэВ	Выход $\gamma$ -квантов на распад, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
					0,529 0,087	36 61	0,935 0,885 0,818 0,762; 0,742 0,705; 0,686; 0,677 0,619 0,556 0,447 Другие	29 69 8 26 31 5 95 5 2
47	$^{111}\text{Ag}$	$^{110}\text{Pd} (d, n) ^{111}\text{Ag}$	7,6 дня	$\beta^-$ $\gamma$	1,040 0,800 0,700	91 1 8	0,340 0,247	5,6 1,0
51	$^{124}\text{Sb}$	$^{123}\text{Sb} (n, \gamma) ^{124}\text{Sb}$ ; 4,44	60,9 дня	$\beta^-$ $\gamma$	2,390 1,680 1,070 0,630 0,280	22 6 4 56 12	2,088 1,690 1,450 1,370 1,047 0,969 0,723; 0,714 0,646 0,609 Другие	6,5 50 2,1 3,6 2,4 2,5 13,7 7,5 98,6 2
53	$^{131}\text{I}$	$^{130}\text{Te} (n, \gamma) ^{131}\text{Te}$ ; 0,22 $^{131}\text{Te} \xrightarrow{\beta^-} ^{131}\text{I}$ $\text{U} (n, f) ^{131}\text{I}$	8,08 дня	$\beta^-$ $\gamma$	0,812 0,610 0,340 0,250 Другие	0,7 86 9,3 2,8 1,2	0,722 0,637 0,364 0,284 0,00	3 9 78,4 5 0,7



Таблица П.1 (продолжение)

Порядковый номер элемента	Символ изотопа	Основные ядерные реакции получения и сечение в барнах (число справа)	Период полураспада, $T_{1/2}$	Тип распада	Энергия частиц, МэВ	Выход частиц на распад, %	Энергия $\gamma$ -квантов, МэВ	Выход $\gamma$ -квантов на распад, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	$^{134}\text{Cs}$	$^{138}\text{Cs} (n, \gamma) ^{134}\text{Cs}$ ; 30	2,2 года	$\beta^-$ $\gamma$	0,657 0,410 0,210 0,078	68 5 2 25	1,370 1,170 0,801; 0,796 0,605 0,569; 0,563 Другие	3,3 2,5 90 95 24 2
55	$^{137}\text{Cs}$ (+ $^{137m}\text{Ba}$ )	$U (n, f) ^{137}\text{Cs}$	26,6 года (2,6 мин)	$\beta^-$ $\gamma$	1,200 0,520	$\sim 8$ $\sim 92$	0,661	82,5
56	$^{138}\text{Ba}$	$^{138}\text{Cs} (d, 2n) ^{138}\text{Ba}$	7,5 года	$K$ $\gamma$	—	—	0,627 0,386; 0,356 0,301; 0,276 0,162 0,080; 0,054	6 68,6 14 3 39
56	$^{140}\text{Ba}$	$U (n, f) ^{140}\text{Ba}$	12,8 дня	$\beta^-$ $\gamma$	1,020 0,480	60 40	0,537 0,436 0,304 0,162; 0,132 0,030	25 5 4,6 6,4 16
57	$^{140}\text{La}$	$^{140}\text{Ba} \xrightarrow{\beta^-} ^{140}\text{La}$ $^{139}\text{Ba} (n, \gamma) ^{140}\text{La}$ ; 8,2	40,2 ч	$\beta^-$ $\gamma$	2,200 1,620 1,360 1,150 0,860 0,420	8 14 30 20 12 16	2,515 1,597 0,923 0,868 0,815 0,748 0,491 0,400 0,323 Другие	3,5 95 9,1 5 18,6 3,3 40 2,8 20 1

Таблица П I (продолжение)

Порядковый номер элемента	Символ изотопа	Основные ядерные реакции получения и сечение в барнах (число справа)	Период полураспада, $T_{1/2}$	Тип распада	Энергия частиц, МэВ	Выход частиц на распад, %	Энергия $\gamma$ -квантов, МэВ	Выход $\gamma$ -квантов на распад, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
58	$^{141}\text{Ce}$	$^{140}\text{Ce}(n, \gamma)^{141}\text{Ce}$ ; 0,6	33,1 дня	$\beta^-$ $\gamma$	0,591 0,447	33 67	0,142	43
58	$^{144}\text{Ce}$	$\text{U}(n, f)^{144}\text{Ce}$	285 дней	$\beta^-$ $\gamma$	0,320 0,245 0,184 Другие	60 5 30 5	0,134 Другие	5,9 1
59	$^{144}\text{Pr}$	$^{144}\text{Ce} \xrightarrow{\beta^-} ^{144}\text{Pr}$	17,27 мин	$\beta^-$ $\gamma$	3,150 2,450 0,900	95 3 2	2,19 1,49 0,696	0,8 0,3 1,2
63	$^{155}\text{Eu}$	$^{154}\text{Sm}(n, \gamma)^{155}\text{Sm}$ ; 5,5 $^{155}\text{Sm} \xrightarrow{\beta^-} ^{155}\text{Eu}$	1,7 года	$\beta^-$ $\gamma$	0,240 0,150	~21 79	0,132; 0,125 0,106; 0,100 0,087; 0,061	22,2 57,9 97,1
69	$^{170}\text{Tm}$	$^{169}\text{Tm}(n, \gamma)^{170}\text{Tm}$ ; 130	129 дней	$\beta^-$ (~100%) $K$ (0,15%) $\gamma$	0,950 0,867	76 24	0,084	2,5
74	$^{185}\text{W}$	$^{184}\text{W}(n, \gamma)^{185}\text{W}$ ; 2,1	73,2 дня	$\beta^-$ $\gamma$ (слабое)	0,425	100		
77	$^{192}\text{Ir}$	$^{191}\text{Ir}(n, \gamma)^{192}\text{Ir}$ ; 1120	74,34 дня	$\beta^-$ (~96%) $K$ (4%) $\gamma$	0,673 0,537 0,257	48 41 7	0,613; 0,604; 0,588 0,485; 0,468 0,417; 0,375 0,316; 0,308; 0,296 0,206 Другие	22,9 50,4 2,7 136,6 2,7 1

Таблица П.1 (продолжение)

Порядковый номер элемента	Символ изотопа	Основные ядерные реакции получения и сечение в барнах (число справа)	Период полураспада, $T_{1/2}$	Тип распада	Энергия частиц, МэВ	Выход частиц на распад, %	Энергия $\gamma$ -квантов, МэВ	Выход $\gamma$ -квантов на распад, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
80	$^{203}\text{Hg}$	$^{202}\text{Hg} (n, \gamma) ^{203}\text{Hg}$ ; 5,04	46,9 дня	$\beta^-$ $\gamma$	0,220	100	0,279	81,5
81	$^{204}\text{Tl}$	$^{203}\text{Tl} (n, \gamma) ^{204}\text{Tl}$ ; 8	3,56 года	$\beta^-$ (97,4%) K (2,6%)	0,760	97,4	Нет	—
83	$^{210}\text{Bi}$	$^{238}\text{U} \rightarrow \dots \rightarrow ^{226}\text{Ra} \rightarrow \dots \rightarrow$ $\rightarrow ^{210}\text{Pb} \xrightarrow{\beta^-} ^{210}\text{Bi}$	5 дней	$\beta^-$	1,161	~100	Нет	—
84	$^{210}\text{Po}$	$^{210}\text{Bi} \xrightarrow{\beta^-} ^{210}\text{Po}$	138,4 дня	$\alpha$ $\gamma$ (слабое)	5,305	100		
86	$^{222}\text{Rn}$	$^{226}\text{Ra} \xrightarrow{\alpha} ^{222}\text{Rn}$	3,825 дня	$\alpha$ $\gamma$ (слабое)	5,481	100		
90	$^{231}\text{Th}$	$^{235}\text{U} \xrightarrow{\alpha} ^{231}\text{Th}$	1,06 дня	$\beta^-$ $\gamma$	0,302 0,218 0,138 0,090	52 20 22 6	0,169; 0,164 0,096; 0,085; 0,081 0,073; 0,066; 0,058 Другие	27,1 38,4 73,5 3
90	$^{234}\text{Th}$	$^{238}\text{U} \xrightarrow{\alpha} ^{234}\text{Th}$	24,1 дня	$\beta^-$ $\gamma$	0,193 0,103	66 34	0,093; 0,064 0,029	6,8 0,3

Таблица П.1 (продолжение)

Порядковый номер элемента	Символ изотопа	Основные ядерные реакции получения и сечение в барнах (число справа)	Период полураспада, $T_{1/2}$	Тип распада	Энергия частиц, МэВ	Выход частиц на распад, %	Энергия $\gamma$ -квантов, МэВ	Выход $\gamma$ -квантов на распад, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
91	$^{234m}\text{Pa}$	$^{234}\text{Th} \xrightarrow{\beta^-} ^{234m}\text{Pa}$	1,14 мин	$\beta^-$ (99,85%) И. П. (0,15%) $\gamma$	2,305 1,500 0,600	96,4 2,3 1,4	1,205 0,940; 0,870 0,805; 0,780; 0,770 0,265; 0,255 0,220; 0,205 Другие	3,8 6,4 10,1 9 5 7
91	$^{234}\text{Pa}$	$^{234m}\text{Pa} \xrightarrow{\text{И.П.}} ^{234}\text{Pa}$	6,7 ч	$\beta^-$ $\gamma$	1,350 1,020 0,730 0,512 0,230	1 5 7 46 41	1,680 1,430 0,924; 0,877 0,566 0,368 0,225 0,153; 0,125 0,099; 0,043 Другие	2,5 3,5 39 7 3,5 13 22 34 0,5
92	$^{235}\text{U}$	Естественный (0,72% в природной смеси изотопов)	$7,1 \cdot 10^8$ лет	$\alpha$ $\gamma$	4,580 4,545 4,394 4,360 4,215	4 4 74 14 4	0,200; 0,185 0,165; 0,143 0,110; 0,095	59 16 14
92	$^{238}\text{U}$	Естественный (99,27% в природной смеси изотопов)	$4,5 \cdot 10^9$ лет	$\alpha$ $\gamma$	4,195 4,145	77 23	0,048	19

Функция  $e^{-x}$ 

$x$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	1,000	0,990	0,980	0,970	0,961	0,951	0,942	0,932	0,923	0,914
0,1	0,905	0,896	0,887	0,878	0,869	0,861	0,852	0,844	0,835	0,827
0,2	0,819	0,811	0,803	0,795	0,787	0,779	0,771	0,763	0,756	0,748
0,3	0,741	0,733	0,726	0,719	0,712	0,705	0,698	0,691	0,684	0,677
0,4	0,670	0,664	0,657	0,651	0,644	0,638	0,631	0,625	0,619	0,613
0,5	0,607	0,601	0,595	0,589	0,583	0,577	0,571	0,566	0,560	0,554
0,6	0,549	0,543	0,538	0,533	0,527	0,522	0,517	0,512	0,507	0,502
0,7	0,497	0,492	0,487	0,482	0,477	0,472	0,468	0,463	0,458	0,454
0,8	0,449	0,445	0,440	0,436	0,432	0,427	0,423	0,419	0,415	0,411
0,9	0,407	0,403	0,399	0,395	0,391	0,387	0,383	0,379	0,375	0,372
1,0	0,368	0,364	0,361	0,357	0,354	0,350	0,346	0,343	0,340	0,336
1,1	0,333	0,330	0,326	0,323	0,320	0,317	0,313	0,310	0,307	0,304
1,2	0,301	0,298	0,295	0,292	0,289	0,287	0,284	0,281	0,278	0,275
1,3	0,273	0,270	0,267	0,264	0,262	0,259	0,257	0,254	0,252	0,249
1,4	0,247	0,244	0,242	0,239	0,237	0,235	0,232	0,230	0,228	0,225
1,5	0,223	0,221	0,219	0,217	0,214	0,212	0,210	0,208	0,206	0,204
1,6	0,202	0,200	0,198	0,196	0,194	0,192	0,190	0,188	0,186	0,185
1,7	0,183	0,181	0,179	0,177	0,176	0,174	0,172	0,170	0,169	0,167
1,8	0,165	0,164	0,162	0,160	0,159	0,157	0,156	0,154	0,153	0,151
1,9	0,150	0,148	0,147	0,145	0,144	0,142	0,141	0,139	0,138	0,137
2,0	0,135	0,134	0,133	0,131	0,130	0,129	0,128	0,126	0,125	0,124
2,1	0,122	0,121	0,120	0,119	0,118	0,117	0,115	0,114	0,113	0,112
2,2	0,111	0,110	0,109	0,108	0,107	0,105	0,104	0,103	0,102	0,101
2,3	0,100	0,099	0,098	0,097	0,096	0,095	0,094	0,093	0,093	0,092
2,4	0,091	0,090	0,089	0,088	0,087	0,086	0,085	0,085	0,084	0,083
2,5	0,082	0,081	0,080	0,080	0,079	0,078	0,077	0,077	0,076	0,075
2,6	0,074	0,074	0,073	0,072	0,071	0,071	0,070	0,069	0,069	0,068
2,7	0,067	0,067	0,066	0,065	0,065	0,064	0,063	0,063	0,062	0,061
2,8	0,061	0,060	0,060	0,059	0,058	0,058	0,057	0,057	0,056	0,056
2,9	0,055	0,054	0,054	0,053	0,053	0,052	0,052	0,051	0,051	0,050
$x$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
3	0,050	0,045	0,041	0,037	0,033	0,030	0,027	0,025	0,022	0,020
4	0,018	0,017	0,015	0,014	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007
5	0,007	0,006	0,006	0,005	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003
6	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
$x$	7	7,5	8	8,5	9	10	15			
$e^{-x}$	0,00091	0,00055	0,00034	0,00020	0,00012	0,00005	0,0000003			

Таблица П.3

## Распад и накопление радиоактивного изотопа

$\frac{t}{T_{1/2}}$	$e^{-\lambda t}$	$1 - e^{-\lambda t}$	$\frac{t}{T_{1/2}}$	$e^{-\lambda t}$	$1 - e^{-\lambda t}$
0,02	0,985	0,015	1,05	0,483	0,517
0,04	0,972	0,028	1,10	0,467	0,533
0,06	0,959	0,041	1,15	0,451	0,549
0,08	0,946	0,054	1,20	0,435	0,565
0,10	0,933	0,067	1,25	0,420	0,580
0,12	0,920	0,080	1,30	0,406	0,594
0,14	0,907	0,093	1,35	0,392	0,608
0,16	0,894	0,106	1,40	0,379	0,621
0,18	0,882	0,118	1,45	0,366	0,634
0,20	0,870	0,130	1,50	0,354	0,646
0,22	0,858	0,142	1,60	0,330	0,670
0,24	0,846	0,154	1,70	0,308	0,692
0,26	0,835	0,165	1,80	0,288	0,712
0,28	0,823	0,177	1,90	0,268	0,732
0,30	0,812	0,188	2,00	0,250	0,750
0,32	0,801	0,199	2,10	0,233	0,767
0,34	0,790	0,210	2,20	0,218	0,782
0,36	0,779	0,221	2,30	0,203	0,797
0,38	0,769	0,231	2,40	0,190	0,810
0,40	0,758	0,242	2,50	0,177	0,823
0,42	0,748	0,252	2,60	0,165	0,835
0,44	0,737	0,263	2,70	0,154	0,846
0,46	0,727	0,273	2,80	0,144	0,856
0,48	0,717	0,283	2,90	0,134	0,866
0,50	0,707	0,293	3,00	0,125	0,875
0,55	0,683	0,317	3,20	0,109	0,891
0,60	0,659	0,341	3,40	0,095	0,905
0,65	0,637	0,363	3,60	0,083	0,917
0,70	0,615	0,385	3,80	0,072	0,928
0,75	0,594	0,406	4,00	0,062	0,938
0,80	0,574	0,426	4,20	0,054	0,946
0,85	0,555	0,445	4,40	0,047	0,953
0,90	0,536	0,464	4,60	0,041	0,959
0,95	0,518	0,482	4,80	0,036	0,964
1,00	0,500	0,500	5,00	0,031	0,969

$t$  — время распада или накопления радиоактивного изотопа;  
 $T_{1/2}$  — период полураспада радиоактивного изотопа;  
 $\lambda$  — постоянная распада.

Таблица П.4

Максимальные пробеги  $R_{\max}$ , слои половинного ослабления  $d_{1/2}$  и массовые коэффициенты ослабления  $\mu$   $\beta$ -излучения в алюминии

Максимальная энергия $\beta$ -частиц, МэВ	$R_{\max}$ , мг/см <sup>2</sup>	$d_{1/2}$ , мг/см <sup>2</sup>	$\mu$ , см <sup>2</sup> /г
0,01	0,16	0,1	6930
0,02	0,70	0,3	2310
0,05	3,9	0,8	866
0,10	14	1,8	385
0,20	42	3,9	178
0,30	76	7,0	99
0,40	115	11,7	59
0,50	160	17,5	40
0,60	220	24	29
0,70	250	30	23
0,80	310	37	19
0,90	350	45	15
1,00	410	53	13
1,25	540	74	9,4
1,50	670	97	7,1
1,75	800	119	5,8
2,00	950	140	5,0
2,50	1220	173	4,0

Таблица П.5

Линейные коэффициенты ослабления  $\mu'$  (см<sup>-1</sup>) узкого пучка  $\gamma$ -излучения в свинце и алюминии

$E_\gamma$ , МэВ	$\mu'$ для свинца	$\mu'$ для алюминия	$E_\gamma$ , МэВ	$\mu'$ для свинца	$\mu'$ для алюминия
0,1	60,0	0,444	1,4	0,60	0,141
0,15	24,4	0,362	1,5	0,58	0,137
0,2	11,8	0,323	1,6	0,55	0,131
0,3	4,76	0,278	1,7	0,54	0,128
0,4	2,51	0,251	1,8	0,53	0,124
0,5	1,72	0,228	1,9	0,52	0,120
0,6	1,37	0,210	2,0	0,51	0,117
0,7	1,12	0,196	3,0	0,46	0,094
0,8	0,99	0,184	4,0	0,47	0,084
0,9	0,86	0,176	5,0	0,49	0,075
1,0	0,79	0,166	6,0	0,51	0,072
1,1	0,72	0,158	7,0	0,53	0,070
1,2	0,68	0,152	8,0	0,55	0,068
1,3	0,64	0,146	9,0	0,58	0,063
			0,0	0,60	0,062

Таблица П.6

Линейные коэффициенты истинного поглощения  $\mu'_e \cdot 10^5$ ,  
 $\text{см}^{-1}$ , рентгеновского или  $\gamma$ -излучения в воздухе

$E_\gamma$ , МэВ	$\mu'_e \cdot 10^5$ , $\text{см}^{-1}$	$E_\gamma$ , МэВ	$\mu'_e \cdot 10^5$ , $\text{см}^{-1}$	$E_\gamma$ , МэВ	$\mu'_e \cdot 10^5$ , $\text{см}^{-1}$	$E_\gamma$ , МэВ	$\mu'_e \cdot 10^5$ , $\text{см}^{-1}$
0,03	18,00	0,25	3,63	1,1	3,51	2,5	2,87
0,04	7,96	0,30	3,72	1,2	3,44	3,0	2,72
0,05	4,86	0,35	3,77	1,3	3,38	4,0	2,50
0,06	3,70	0,40	3,80	1,4	3,32	5,0	2,35
0,08	3,05	0,50	3,80	1,5	3,28	6,0	2,24
0,10	3,00	0,6	3,78	1,6	3,23	8,0	2,10
0,125	3,11	0,7	3,77	1,7	3,18	10,0	2,01
0,15	3,23	0,8	3,75	1,8	3,14		
0,175	3,35	0,9	3,68	1,9	3,10		
0,20	3,47	1,0	3,57	2,0	3,05		

Таблица П.7

Полные гамма-постоянные  $K_\gamma$  некоторых радиоактивных изотопов,  $\frac{\text{Р} \cdot \text{см}^2}{\text{ч МКП}}$

Изотоп	$K_\gamma$	Изотоп	$K_\gamma$	Изотоп	$K_\gamma$
$^{22}\text{Na}$	11,89	$^{82}\text{Br}$	14,47	$^{140}\text{Ba}$	1,16
$^{24}\text{Na}$	18,55	$^{86}\text{Rb}$	0,55	$^{140}\text{La}$	11,14
$^{40}\text{K}$	0,80	$^{89}\text{Sr} + ^{89m}\text{Y}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$^{141}\text{Ce}$	0,29
$^{42}\text{K}$	1,36	$^{91}\text{Y}$	0,02	$^{144}\text{Ce}$	0,04
$^{51}\text{Cr}$	0,16	$^{95}\text{Zr} + ^{95m}\text{Nb}$	4,10	$^{144}\text{Pr}$	0,14
$^{52}\text{Mn}$	18,03	$^{95}\text{Nb}$	4,31	$^{153}\text{Eu}$	0,86
$^{56}\text{Mn}$	8,28	$^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$	1,54	$^{170}\text{Tm}$	0,01
$^{59}\text{Fe}$	6,25	$^{110}\text{mAg} + ^{110}\text{Ag}$	14,25	$^{185}\text{W}$	$3 \cdot 10^{-4}$
$^{60}\text{Co}$	5,47	$^{111}\text{Ag}$	0,12	$^{192}\text{Ir}$	4,65
$^{60}\text{Co}$	12,93	$^{124}\text{Sb}$	9,70	$^{203}\text{Hg}$	1,25
$^{64}\text{Cu}$	1,12	$^{131}\text{I}$	2,15		
$^{65}\text{Zn}$	3,02	$^{134}\text{Cs}$	8,58		
$^{74}\text{As}$	4,43	$^{137}\text{Cs} + ^{137m}\text{Ba}$	3,10		
$^{76}\text{As}$	1,98	$^{138}\text{Ba}$	2,01		



Таблица П.8

Дозовые факторы накопления для точечного источника  
с изотропным  $\gamma$ -излучением

Свинец						
$E_{\gamma}$ , МэВ	$\mu' l$					
	1	2	4	7	10	15
0,5	1,24	1,42	1,69	2,00	2,27	2,65
1,0	1,37	1,69	2,26	3,02	3,74	4,81
2,0	1,39	1,76	2,51	3,66	4,84	6,87
3,0	1,34	1,68	2,43	3,75	5,30	8,44
4,0	1,27	1,56	2,25	3,61	5,44	9,80
6,0	1,18	1,40	1,97	3,34	5,69	13,8
8,0	1,14	1,30	1,74	2,89	5,07	14,1
10,0	1,11	1,23	1,58	2,52	4,34	12,5

## Алюминий (бесог)

Алюминий (бесог)						
$E_{\gamma}$ , МэВ	$\mu' l$					
	1	2	4	7	10	15
0,5	2,37	4,24	9,47	21,5	39,8	80,8
1,0	2,02	3,31	6,57	13,1	21,2	37,9
2,0	1,75	2,61	4,62	8,05	11,9	18,7
3,0	1,64	2,32	3,78	6,14	8,65	13,0
4,0	1,53	2,08	3,22	5,01	6,88	10,1
6,0	1,42	1,85	2,70	4,06	5,49	7,97
8,0	1,34	1,68	2,37	3,45	4,58	6,56
0,0	1,28	1,55	2,12	3,01	3,96	5,63

Толщина защиты из свинца в зависимости от кратности ослабления и энергии  $\gamma$ -излучения  
(широкий пучок), см

Кратность ослабления, $k$	Энергия $\gamma$ -излучения $E_\gamma$ , МэВ																		
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2	3	4	6	8	10
1,5	0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,95	1,1	1,2	1,2	1,3	1,2	1,0	0,9	0,9
2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,15	1,3	1,5	1,7	1,85	2,0	2,1	2,0	1,6	1,5	1,35
5	0,2	0,4	0,6	0,9	1,1	1,5	1,9	2,2	2,5	2,8	3,4	3,8	4,1	4,3	4,6	4,5	3,8	3,3	3,0
10	0,3	0,55	0,9	1,3	1,6	2,1	2,6	3,05	3,5	3,8	4,5	5,1	5,6	5,9	6,5	6,4	5,5	4,9	4,2
20	0,3	0,6	1,1	1,5	2,0	2,6	3,25	3,85	4,4	4,9	5,8	6,6	7,2	7,6	8,3	8,2	7,1	6,3	5,6
50	0,4	0,85	1,4	1,95	2,6	3,25	3,95	4,6	5,3	6,0	7,2	8,2	9,0	9,6	10,6	10,5	9,2	8,3	7,3
100	0,5	1,0	1,6	2,3	3,0	3,85	4,7	5,5	6,3	7,0	8,45	9,65	10,6	11,3	12,2	12,1	10,9	9,9	8,7
200	0,6	1,25	1,9	2,6	3,4	4,4	5,3	6,3	7,2	8,0	9,65	11,1	12,2	12,9	14,0	13,8	12,6	11,4	10,2
500	0,65	1,4	2,2	3,1	4,0	5,1	6,1	7,2	8,2	9,2	11,3	12,9	14,2	15,0	16,3	16,1	14,9	13,3	11,9
1·10 <sup>3</sup>	0,7	1,5	2,4	3,3	4,4	5,7	6,95	8,1	9,2	10,2	12,3	14,1	15,5	16,5	18,0	17,8	16,5	15,1	13,3
2·10 <sup>3</sup>	0,85	1,7	2,7	3,8	5,0	6,3	7,6	8,8	10,0	11,1	13,5	15,4	16,8	17,9	19,7	19,5	18,1	16,6	14,8
5·10 <sup>3</sup>	0,9	1,9	3,0	4,2	5,5	7,0	8,5	9,9	11,2	12,4	14,9	17,0	18,6	19,8	21,9	21,7	20,3	18,5	16,6
1·10 <sup>4</sup>	1,05	2,1	3,3	4,55	5,9	7,5	9,1	10,6	12,0	13,3	16,1	18,3	20,1	21,3	23,5	23,4	22,0	20,1	18,0
2·10 <sup>4</sup>	1,1	2,2	3,5	4,85	6,3	8,0	9,7	11,3	12,8	14,2	17,2	19,5	21,4	22,7	25,1	25,0	23,6	21,7	19,5
5·10 <sup>4</sup>	1,15	2,35	3,7	5,2	6,9	8,7	10,5	12,3	14,0	15,6	18,8	21,4	23,3	24,7	27,3	27,2	25,8	23,7	21,5
1·10 <sup>5</sup>	1,15	2,4	3,8	5,4	7,2	9,2	11,1	13,0	14,8	16,5	20,1	22,7	24,7	26,2	28,9	28,9	27,5	25,3	22,9
1·10 <sup>6</sup>	1,45	3,0	4,7	6,5	8,7	10,9	13,1	15,3	17,5	19,5	23,5	26,8	29,2	31,0	34,3	34,4	33,0	30,4	27,7

Таблица П.10

Величины  $t_{\gamma}$  для различных значений доверительной вероятности  $\gamma$

Число степеней свободы $f$	Доверительная вероятность $\gamma$			
	0,90	0,95	0,99	0,999
1	6,314	12,706	63,657	636,619
2	2,920	4,303	9,925	31,598
3	2,353	3,182	5,841	12,941
4	2,132	2,776	4,604	8,610
5	2,015	2,571	4,032	6,859
6	1,943	2,447	3,707	5,959
7	1,895	2,365	3,499	5,405
8	1,860	2,306	3,355	5,041
9	1,833	2,262	3,250	4,781
10	1,812	2,228	3,169	4,587
11	1,796	2,201	3,106	4,437
12	1,782	2,179	3,055	4,318
13	1,771	2,160	3,012	4,221
14	1,761	2,145	2,977	4,140
15	1,753	2,131	2,947	4,073
16	1,746	2,120	2,921	4,015
17	1,740	2,110	2,898	3,965
18	1,734	2,101	2,878	3,922
19	1,729	2,093	2,861	3,883
20	1,725	2,086	2,845	3,850
21	1,721	2,080	2,831	3,819
22	1,717	2,074	2,819	3,792
23	1,714	2,069	2,807	3,767
24	1,711	2,064	2,797	3,745
25	1,708	2,060	2,787	3,725
26	1,706	2,056	2,779	3,707
27	1,703	2,052	2,771	3,690
28	1,701	2,048	2,763	3,674
29	1,699	2,045	2,756	3,659
30	1,697	2,042	2,750	3,646
40	1,684	2,021	2,704	3,551
60	1,671	2,000	2,660	3,460
120	1,658	1,980	2,617	3,373
$\infty$	1,645	1,960	2,576	3,291

Значения  $\chi^2$  для 5%-ного уровня значимости

Число степеней свободы $f$	$\chi^2_{0,05}$	Число степеней свободы $f$	$\chi^2_{0,05}$
1	3,841	21	32,671
2	5,991	22	33,924
3	7,815	23	35,172
4	9,488	24	36,415
5	11,070	25	37,652
6	12,592	26	38,885
7	14,067	27	40,113
8	15,507	28	41,337
9	16,919	29	42,557
10	18,307	30	43,773
11	19,675	32	46,194
12	21,026	34	48,602
13	22,362	36	50,998
14	23,685	38	53,384
15	24,996	40	55,758
16	26,296		
17	27,587		
18	28,869		
19	30,144		
20	31,410		

**Определение суммарного числа импульсов, обеспечивающего заданную точность регистрации  
при 95%-ной доверительной вероятности**

$\frac{I_c}{I_\Phi}$	$\delta_{0,95}=1\%$		$\delta_{0,95}=2\%$		$\delta_{0,95}=3\%$		$\delta_{0,95}=5\%$		$\delta_{0,95}=10\%$	
	$N_\Phi$	$N_c$	$N_\Phi$	$N_c$	$N_\Phi$	$N_c$	$N_\Phi$	$N_c$	$N_\Phi$	$N_c$
1,3	920 000	1350 000	230 000	340 000	110 000	150 000	37 000	54 000	9 200	14 000
1,5	350 000	630 000	86 000	160 000	38 000	70 000	14 000	26 000	3 500	6 300
1,7	190 000	400 000	46 000	100 000	21 000	45 000	7 300	16 000	1 900	4 000
2,0	93 000	270 000	24 000	66 000	11 000	30 000	3 700	11 000	930	2 700
3,0	26 200	140 000	6 600	34 000	3 000	16 000	1 100	5 500	270	1 400
5,0	7 800	87 000	2 000	22 000	860	9 800	310	3 500	80	870
7,0	3 900	72 000	1 000	18 000	430	8 000	160	2 900	40	720
10,0	2 000	63 000	500	16 000	220	7 000	80	2 500	20	630
20,0	600	54 000	150	14 000	70	6 000	30	2 200	6	540
30,0	300	49 000	80	13 000	40	5 400	12	2 000	3	490
50,0	130	46 000	40	12 000	15	5 100	6	1 900	—	460
100,0	50	43 000	11	11 000	5	4 800	—	1 800	—	430
500,0	4	41 000	—	11 000	—	4 500	—	1 700	—	410

## Десятичные логарифмы

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0127	0170	0212	0253	0294	0334	0374	4	9	13	17	22	26	30	35	39
											4	9	13	17	21	25	30	34	38
											4	8	12	16	21	25	29	33	37
											4	8	12	16	20	24	28	32	36
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	4	8	12	16	20	24	27	31	35
											4	8	11	15	19	23	27	30	34
											4	7	11	15	18	22	26	29	33
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	3	7	11	14	18	21	25	28	32
											4	7	11	14	17	21	24	28	31
											3	7	10	14	17	20	24	27	30
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	3	7	10	13	17	20	23	27	30
											3	6	10	13	16	19	23	26	29
											3	6	9	13	16	19	22	25	28
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	3	6	9	13	16	19	22	25	28
											3	6	9	12	15	18	21	24	27
											3	6	9	11	14	17	20	23	26
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	3	6	9	11	14	17	20	23	26
											3	5	8	11	14	16	19	22	25
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	3	5	8	11	13	16	19	21	24
											3	5	8	10	13	15	18	20	23
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	3	5	8	10	13	15	18	20	23
											2	5	7	10	12	15	17	19	22
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	2	5	7	9	12	14	16	19	21
											2	5	7	9	11	13	16	18	20
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	2	4	7	9	11	14	16	18	20
											2	4	6	8	11	13	15	17	19
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3202	2	4	6	8	11	13	15	17	19
											2	4	6	8	10	12	14	17	19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2	4	6	8	10	12	14	16	18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2	4	6	8	10	12	14	15	17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2	4	6	7	9	11	13	15	17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2	4	5	7	9	11	12	14	16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2	3	5	7	9	10	12	14	15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2	3	5	7	8	10	11	13	15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2	3	5	6	8	9	11	13	14
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2	2	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1	3	4	6	7	9	10	11	13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1	3	4	6	7	8	10	11	12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1	3	4	5	7	8	9	11	12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5299	1	3	4	5	6	8	9	10	12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1	3	4	5	6	8	9	10	11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	9	10	11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	8	10	11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5686	1	2	3	5	6	7	8	9	11
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1	2	3	5	6	7	8	9	10
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1	2	3	4	5	7	8	9	10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1	2	3	4	5	6	8	9	10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1	2	3	4	5	6	7	7	8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1	2	3	4	5	5	6	7	8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	4	5	6	7	8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	4	5	6	7	8
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	5	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	3	4	5	5	6

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	5	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	5	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	5	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	2	3	4	4	5	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8491	8797	8802	1	1	2	2	3	3	4	5	5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	3	4	5	5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	4	4	5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	4	4	5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	4	4	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	4	4	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	4	4	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	4	4	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	4	4	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	4	4	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	4	4	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	4	4	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	3	3	4	4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	2	2	3	3	4	4
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0	1	1	2	2	3	3	4	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	2	2	3	3	4	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	2	2	3	3	4	4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0	1	1	2	2	3	3	4	4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	2	2	3	3	4	4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	0	1	1	2	2	3	3	4	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	2	2	3	3	4	4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0	1	1	2	2	3	3	4	4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	2	2	3	3	4	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0	1	1	2	2	3	3	4	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0	1	1	2	2	3	3	3	4
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9



## Квадраты двузначных чисел

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	1	4	9	16	25	36	49	64	81
10	100	121	144	169	196	225	256	289	324	361
20	400	441	484	529	576	625	676	729	784	841
30	900	961	1024	1089	1156	1225	1296	1369	1444	1521
40	1600	1681	1764	1849	1936	2025	2116	2209	2304	2401
50	2500	2601	2704	2809	2916	3025	3136	3249	3364	3481
60	3600	3721	3844	3969	4096	4225	4356	4489	4624	4761
70	4900	5041	5184	5329	5476	5625	5776	5929	6084	6241
80	6400	6561	6724	6889	7056	7225	7396	7569	7744	7921
90	8100	8281	8464	8649	8836	9025	9216	9409	9604	9801

## Основные обозначения

## Глава I

- $a$  — абсолютная радиоактивность  
 $B_D$  — дозовый фактор накопления  
 $D_{п}$  — поглощенная доза  
 $D_{пд}$  — предельно допустимая доза  
 $D_{\text{о}}$  — экспозиционная доза  
 $D_{\text{экв}}$  — эквивалентная доза  
 $E$  — энергия ядерного излучения  
 $\Delta \mathcal{E}_{e, \text{погл}}$  — энергия корпускулярного излучения, поглощаемая в облучаемом объекте  
 $\Delta \mathcal{E}_{\gamma, e}$  — часть энергии квантового излучения, преобразованная в кинетическую энергию фотоэлектронов, комптоновских электронов, электронно-позитронных пар  
 $F$  — плотность потока излучения  
 $J$  — регистрируемая активность (скорость счета)  
 $y$  — интенсивность потока излучения  
 $K_{\gamma}$  — ионизационная, или гамма-постоянная (полная)  
 $K_{\gamma_i}$  — дифференциальная гамма-постоянная  
 $K_{\gamma_i}^*$  — ионизационная постоянная, соответствующая энергии  $i$ -й линии спектра при условии выхода в 1  $\gamma$ -квант на 1 распад  
 $k$  — кратность ослабления дозы  
 $l$  — толщина, см  
 $M$  — активность препарата, мКи  
 $m$  — масса; гамма-эквивалент источника, мг-экв радия  
 $n_i$  — доля частиц или квантов с энергией  $E_i$   
 $P$  — мощность дозы  
 $p_i$  — число частиц или квантов данной энергии, приходящихся в среднем на 1 акт распада (поправка на схему распада)  
 $q_{\text{сл}}$  — коэффициент сложности операции  
 $R_{\text{max}}$  — максимальный пробег  $\beta$ -частиц в веществе  
 $r$  — радиус

- $s$  — площадь  
 $t$  — время  
 $Z$  — атомный номер  
 $\alpha, \beta, \gamma$  — радиоактивные излучения  
 $\varepsilon$  — эффективность регистрации  
 $\mu$  — массовый коэффициент ослабления,  $\text{см}^2/\text{г}$   
 $\mu'$  — линейный коэффициент ослабления,  $\text{см}^{-1}$   
 $\mu_e$  — массовый коэффициент истинного поглощения (электронного преобразования),  $\text{см}^2/\text{г}$   
 $\mu'_e$  — линейный коэффициент истинного поглощения (электронного преобразования),  $\text{см}^{-1}$   
 $\rho$  — плотность вещества  
 КК — коэффициент качества  
 ЛПЭ — линейная передача энергии  
 НРБ—69 — «Нормы радиационной безопасности», 1969 г.  
 ОСП—72 — «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений», 1972 г.  
 ПДД — предельно допустимая доза

## Глава 2

- $a_{\text{уд}}$  — абсолютная удельная радиоактивность  
 $E_{\text{max}}$  — максимальная энергия  $\beta$ -спектра  
 $T_{1/2}$  — период полураспада  
 $\Phi$  — коэффициент регистрации . . . . .

## Глава 3

- $a$  — абсолютная радиоактивность  
 $d$  — толщина,  $\text{г}/\text{см}^2$   
 $d_{\text{опт}}$  — оптимальная толщина катода  
 $h$  — расстояние от препарата до счетчика  
 $I$  — истинная скорость счета (регистрируемая активность)  
 $I_{\text{изм}}$  — измеренная прибором скорость счета  
 $I_c$  — суммарная скорость счета препарата с фоном, исправленная на разрешающее время  
 $I_{\Phi}$  — скорость счета фона  
 $k$  — поправочный коэффициент ослабления  
 $l$  — толщина,  $\text{см}$   
 $p$  — поправка на схему распада  
 $q$  — коэффициент обратного рассеяния  
 $R_{\text{max}}$  — максимальный пробег  $\beta$ -частиц  
 $r$  — радиус окна счетчика  
 $S$  — поправочный коэффициент самоослабления  
 $\varepsilon$  — поправочный коэффициент эффективности (эффективность регистрации)  
 $\eta$  — геометрический коэффициент  
 $\mu$  — массовый коэффициент ослабления  
 $\tau$  — разрешающее время  
 $\Phi$  — коэффициент регистрации

## Глава 4

- $a, b$  — коэффициенты регрессии  
 $f$  — число степеней свободы  
 $I$  — истинная скорость счета  
 $I_c$  — суммарная скорость счета препарата с фоном  
 $I_{\Phi}$  — скорость счета фона  
 $K$  — функция для выбора оптимального режима работы радиометрической аппаратуры  
 $m$  — число актов распада за время наблюдения; число эксперименталь-

- ных точек, каждой из которых соответствует эмпирическая величина  $y_i = f(x_i)$
- $N$  — число импульсов, регистрируемых детектором за время  $t$
- $N_t$  — число ядер, не распавшихся за время  $t$
- $N_0$  — число ядер в начальный момент времени
- $n$  — число измерений
- $P, p, q$  — вероятность
- $p$  — уровень значимости
- $s$  — выборочное среднее квадратическое отклонение
- $s^2$  — выборочная дисперсия
- $s_0^2$  — дисперсия, характеризующая рассеяние экспериментальных значений  $y_i$  относительно соответствующих точек на линии регрессии
- $T_n, \bar{T}_n$  — нижняя и верхняя границы доверительного интервала
- $t$  — время
- $t_c$  — продолжительность измерения препарата с фоном
- $t_\Phi$  — продолжительность измерения фона
- $\pm t_\gamma$  — границы доверительного интервала для случайной величины  $(x - \mu)/(s/\sqrt{n})$  при доверительной вероятности  $\gamma$  (коэффициент Стьюдента)
- $\pm u_\gamma$  — границы доверительного интервала для нормированной нормально распределенной случайной величины  $(x - \mu)/\sigma$  при доверительной вероятности  $\gamma$ .
- $w$  — относительное выборочное квадратическое отклонение
- $X$  — результат непосредственных измерений
- $x, y$  — случайная величина
- $\bar{x}$  — среднее арифметическое, выборочное среднее
- $\bar{Y}$  — результат косвенных измерений
- $\hat{y}_i$  — значение, предсказываемое уравнением регрессии
- $z$  — нормированная случайная величина
- $\gamma$  — вероятность того, что случайная величина примет значения внутри определенного интервала; доверительная вероятность
- $\Delta_\gamma$  — абсолютная погрешность среднего при доверительной вероятности  $\gamma$
- $\delta_\gamma$  — относительная погрешность среднего при доверительной вероятности  $\gamma$ ; относительная флуктуация скорости счета при доверительной вероятности  $\gamma$
- $\theta$  — параметр генеральной совокупности
- $\mu$  — истинное значение измеряемой величины, генеральное среднее
- $\sigma$  — генеральное среднее квадратическое отклонение
- $\sigma^2$  — генеральная дисперсия
- $\sigma_{\text{пуасс}}(I)$  — среднее квадратическое отклонение, обусловленное статистическим характером радиоактивного распада (абсолютная квадратическая флуктуация скорости счета)
- $\sigma_{\text{пуасс}}^2$  — дисперсия пуассоновского распределения
- $\nu_{\text{пуасс}}(I)$  — относительная квадратическая флуктуация скорости счета
- $\chi^2$  — значение случайной величины «хи-квадрат» («хи-квадрат» критерий)

## Главы 5—6

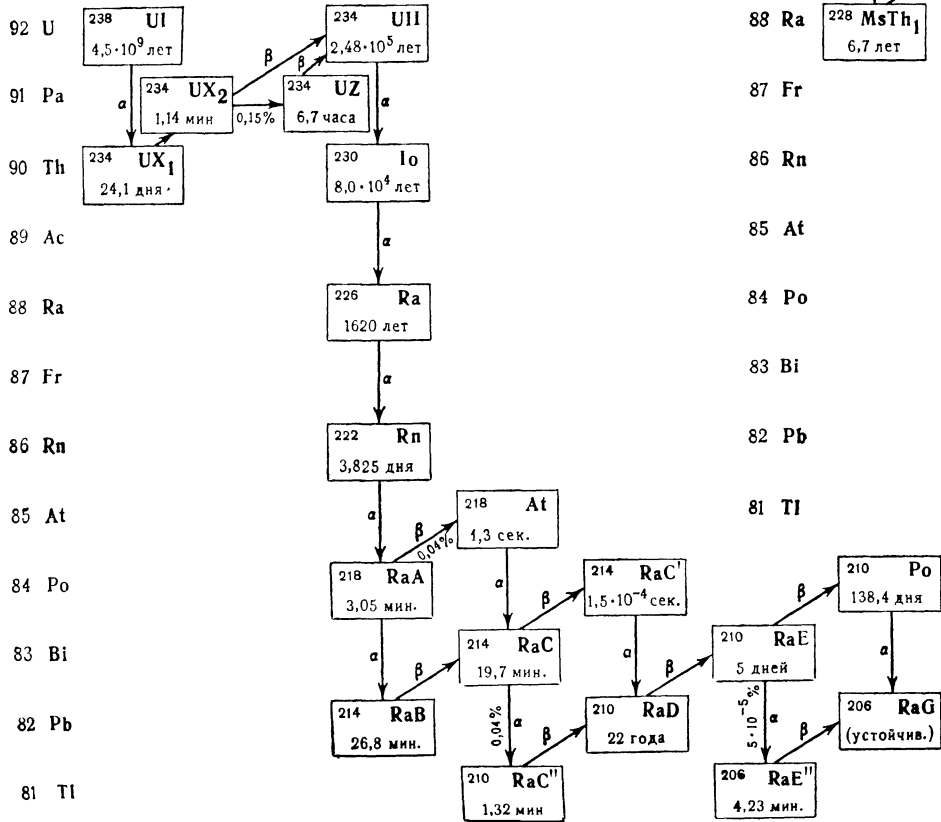
- $a$  — абсолютная радиоактивность
- $a, b$  — молярные концентрации соединений, между которыми протекает изотопный обмен
- $c$  — концентрация
- $E$  — энергия активации
- $F$  — степень изотопного обмена
- $f_{\text{отн}}$  — относительная удельная поверхность
- $I$  — регистрируемая активность (скорость счета)

- $I_p$  — регистрируемая активность вещества, содержащегося в определенном объеме насыщенного раствора
- $I_{уд}$  — регистрируемая удельная активность
- $K$  — функция для выбора оптимального режима работы радиометрической аппаратуры
- $K$  — кратность разбавления
- $K_{обр}$  — константа образования
- $K_p$  — коэффициент распределения
- $K_{разд}$  — коэффициент разделения
- $k$  — константа скорости реакции
- $L$  — растворимость, моль/л
- $l$  — длина
- $M, m$  — масса
- $m_{(+)}, m_{(-)}$  — грамм-ионная концентрация катнона и аниона в растворе
- $N$  — число импульсов, зарегистрированных за время  $t$
- $n$  — число лигандов, связанных в комплекс
- $Q$  — процентное содержание элемента в веществе
- $q$  — количество вещества, моль; коэффициент диффузии
- $R$  — скорость реакции; фактор извлечения вещества
- $R_g$  — газовая постоянная
- $R_f$  — отношение расстояния, пройденного зоной вещества, к расстоянию, пройденному фронтом растворителя
- $S$  — удельная поверхность, см<sup>2</sup>/г
- $s$  — растворимость, г/см<sup>3</sup>
- $s^2$  — выборочная дисперсия
- $T$  — абсолютная температура
- $T_{1/2}$  — период полураспада
- $t$  — коэффициент Стюдента
- $t$  — время
- $t_c$  — продолжительность измерения препарата с фоном
- $t_f$  — продолжительность измерения фона
- $U_p$  — рабочее напряжение
- $U_d$  — значение порога дискриминации
- $\Delta U$  — наименьшая протяженность плато
- $V$  — подвижность ионов
- $v$  — объем
- $v_0$  — эквивалентный объем
- $x, y$  — заряды ионов; молярные концентрации меченых молекул, принимающих участие в изотопном обмене
- $x_\infty, y_\infty$  — молярные концентрации меченых молекул, участвующих в изотопном обмене, при равновесии
- $\Gamma$  — количество адсорбированного вещества
- $\Gamma_\infty$  — предельное количество вещества, которое может быть адсорбировано на данной поверхности (емкость адсорбента)
- $\gamma(\pm)$  — усредненный коэффициент термодинамической активности
- $\Delta$  — поправка на изменение объема
- $\delta_{0,95}$  — абсолютная погрешность измеряемой величины при 95%-ной доверительной вероятности
- $\delta_{0,95}$  — относительная погрешность измеряемой величины при 95%-ной доверительной вероятности; относительная флуктуация скорости счета при 95%-ной доверительной вероятности
- $\lambda$  — постоянная распада
- $\mu$  — ионная сила раствора
- $\rho$  — плотность вещества
- $\sigma^2$  — площадь молекулы
- $\tau$  — разрешающее время
- $\tau_{1/2}$  — период полуобмена
- $\chi^2$  — «хи-квадрат» критерий
- $PR$  — произведение растворимости

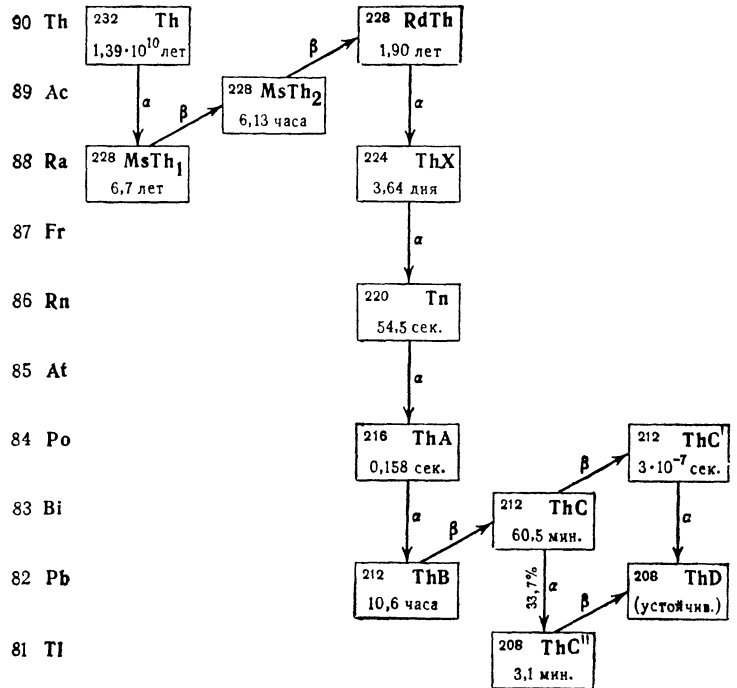
## Названия некоторых букв греческого алфавита

$\alpha$ — альфа	$\nu$ — ню
$\beta$ — бета	$\pi$ — пи
$\Gamma, \gamma$ — гамма	$\rho$ — ро
$\Delta, \delta$ — дельта	$\Sigma, \sigma$ — сигма
$\epsilon$ — эпсилон	$\tau$ — тау
$\eta$ — эта	$\upsilon$ — ипсилон
$\theta, \vartheta$ — тэта	$\varphi$ — фи
$\kappa$ — каппа	$\chi$ — хи
$\Lambda, \lambda$ — ламбда	$\Psi$ — пси
$\mu$ — мю	$\Omega, \omega$ — омега

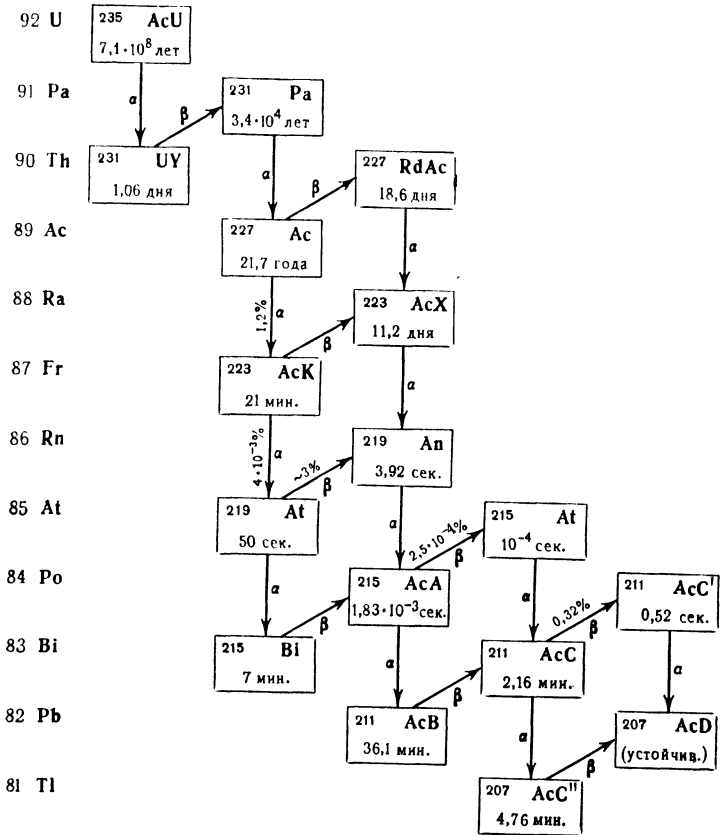
Ряд урана-радия



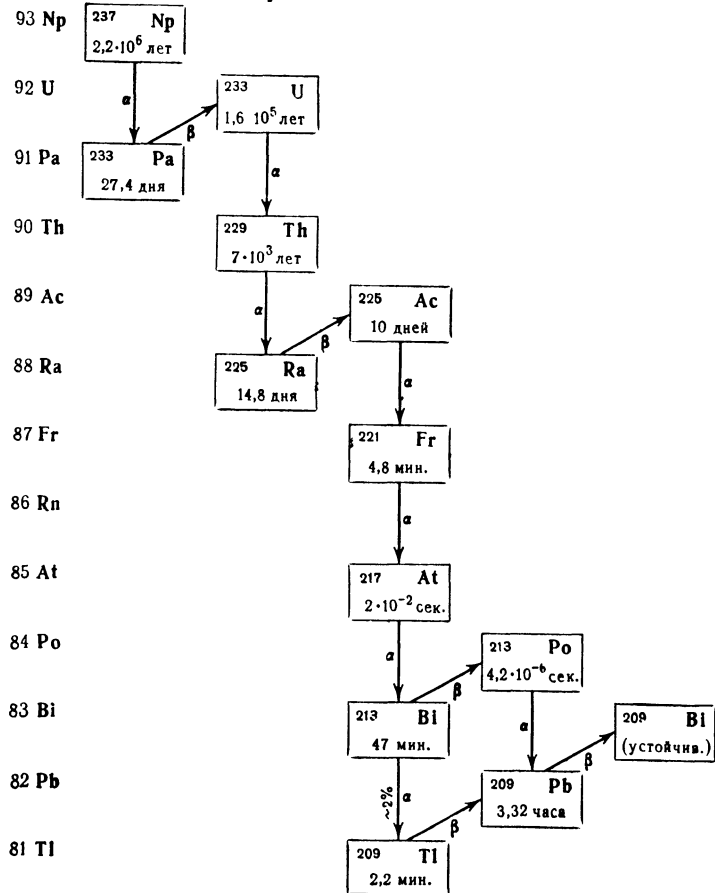
Ряд тория



Ряд актиноурана (235 U)



Ряд нептуния



Предисловие . . . . .	3
-----------------------	---

## ГЛАВА 1. ВОПРОСЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

§ 1. Действие излучения на организм . . . . .	5
1. Биологическое действие излучений . . . . .	5
2. Внешнее и внутреннее облучение . . . . .	7
§ 2. Основные понятия дозиметрии . . . . .	8
1. Поглощенная доза. Экспозиционная доза . . . . .	8
2. Коэффициент качества. Биологический эквивалент рада . . . . .	10
3. Предельно допустимые дозы . . . . .	12
§ 3. Расчет доз, создаваемых источниками (З-й $\beta$ -излучения . . . . .	14
1. Интенсивность и плотность потока излучения . . . . .	14
2. Доза, создаваемая параллельным потоком моноэнергетических $\gamma$ -квантов . . . . .	15
3. Доза от точечного источника со сложным составом $\gamma$ -излучения. Ионизационная постоянная и гамма-эквивалент . . . . .	17
4. Доза от внешнего источника (З-излучения)* . . . . .	19
§ 4. Защита от излучения . . . . .	22
1. Защита временем и расстоянием . . . . .	22
2. Защитное экранирование . . . . .	24
3. Расчет защиты от $\gamma$ -излучения . . . . .	25
§ 5. Приборы дозиметрического контроля . . . . .	30
§ 6. Оборудование для работ с радиоактивными веществами и средства защиты от облучения . . . . .	34
1. Классификация работ с радиоактивными веществами . . . . .	34
2. Оборудование и средства защиты, применяемые при работах II и III классов . . . . .	36
§ 7. Организация работ с радиоактивными веществами в лаборатории . . . . .	39
1. Правила работы с радиоактивными веществами . . . . .	39
2. Дезактивация и удаление радиоактивных отходов . . . . .	41
Вопросы . . . . .	45

## ГЛАВА 2. ТЕХНИКА РАБОТЫ С РАДИОАКТИВНЫМИ ИНДИКАТОРАМИ

§ 1. Подготовка к проведению эксперимента . . . . .	47
§ 2. Вскрытие упаковки радиоактивных веществ. Приготовление раствора требуемой активности . . . . .	51
§ 3. Очистка изотопа от радиоактивных примесей и определение его радиохимической частоты . . . . .	56
§ 4. Проведение основного эксперимента. Приготовление препаратов для измерения активности . . . . .	58
Вопросы . . . . .	63

## ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ИССЛЕДУЕМОГО ИЗОТОПА И УСЛОВИЙ ИЗМЕРЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ РЕГИСТРИРУЕМОЙ АКТИВНОСТИ

§ 1. Связь между абсолютной и регистрируемой активностью . . . . .	64
§ 2. Эффективность счетчиков к $\beta$ - и $\gamma$ -излучению . . . . .	66
§ 3. Ослабление излучения в стенках детектора и в слое воздуха между препаратом и детектором . . . . .	68



§ 4. Самоослабление излучения . . . . .	69
§ 5. Обратное рассеяние излучения . . . . .	71
§ 6. Поправка на схему распада изотопа . . . . .	73
§ 7. Учет геометрических условий измерения . . . . .	74
§ 8. Расчеты с использованием зависимости между абсолютной и регистрируемой активностью . . . . .	76
§ 9. Условия проведения относительных измерений . . . . .	80
Вопросы . . . . .	81

## Г Л А В А 4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ

§ 1. Погрешности измерений . . . . .	83
1. Виды погрешностей . . . . .	83
2. Случайные погрешности. Нормальный закон распределения . . . . .	86
3. Генеральная и выборочная совокупность. Расчет среднего и дисперсии по выборочным данным . . . . .	89
§ 2. Статистический характер радиоактивного распада и распределение Пуассона . . . . .	92
§ 3. Некоторые методы статистического анализа. . . . .	97
1. Основные понятия теории интервального оценивания. Оценка генерального среднего на основании выборочных данных . . . . .	97
2. Проверка гипотезы о пуассоновском характере распределения результатов измерения радиоактивности . . . . .	101
§ 4. Оценка точности результатов косвенных измерений . . . . .	103
1. Закон накопления погрешностей . . . . .	103
2. Выбор оптимальной продолжительности измерений препарата с фоном и фона . . . . .	106
3. Функция для выбора оптимального режима работы радиометрической аппаратуры . . . . .	109
§ 5. Оценка параметров линейной зависимости методами регрессионного анализа . . . . .	111
§ 6. Обработка результатов эксперимента . . . . .	118
Вопросы . . . . .	125

## Г Л А В А 5. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ . . . . . 127

Оформление лабораторных работ . . . . .	127
Работа 1. Измерение радиоактивности с помощью счетчиков ядерных излучений . . . . .	132
1. Установка со счетчиком Гейгера — Мюллера . . . . .	136
2. Установка со сцинтилляционным счетчиком. . . . .	140
Работа 2. Определение периодов полураспада радиоактивных изотопов по уменьшению активности . . . . .	144
1. Определение периода полураспада меди-66 . . . . .	145
2. Определение периода полураспада марганца-56 . . . . .	147
Работа 3. Измерение доз, получаемых при работе с радиоактивными веществами . . . . .	150
Работа 4. Определение абсолютной радиоактивности . . . . .	152
1. Определение абсолютной активности методом относительных измерений . . . . .	152
2. Определение абсолютной активности методом фиксированного телесного угла . . . . .	157
3. Определение общей абсолютной активности раствора . . . . .	160
Работа 5. Изучение кинетики гомогенного изотопного обмена . . . . .	161
Работа 6. Изучение изотопного обмена ионами I <sup>-</sup> между раствором и осадком PbI <sub>2</sub> . . . . .	164
Работа 7. Синтез меченой тиомочевины методом изотопного обмена . . . . .	166
Работа 8. Контроль разделения малых количеств веществ методом электрофореза на бумаге с использованием радиоактивных изотопов . . . . .	169

	<i>Стр.</i>
1. Разделение бария и лантана . . . . .	169
2. Разделение стронция и иттрия . . . . .	170
Работа 9. Метод изотопного разбавления. Количественное определение иодид-ионов в присутствии бромид-ионов . . . . .	171
Работа 10. Радиометрическое титрование . . . . .	174
1. Определение фосфора и магния . . . . .	175
2. Определение меди и цинка при их совместном присутствии . . . . .	177
3. Определение цинка . . . . .	179
Работа 11. Нейтронный активационный анализ . . . . .	181
1. Определение содержания марганца в породе. . . . .	181
2. Определение содержания диспрозия в присутствии гольмия . . . . .	183
3. Определение количества индия в растворе . . . . .	184
Работа 12. Определение бора по поглощению нейтронов . . . . .	186
Работа 13. Определение растворимости малорастворимых веществ . . . . .	187
1. Определение растворимости $\text{SrSO}_4$ в воде . . . . .	190
2. Определение растворимости $\text{PbI}_2$ в растворах $\text{NaI}$ . . . . .	192
Работа 14. Определение растворимости $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$ в растворах магниальной смеси методом Неймана . . . . .	193
Работа 15. Определение коэффициента самодиффузии иодид-иона в растворе иодида натрия . . . . .	196
Работа 16. Изучение адсорбции иода на активированном угле . . . . .	198
Работа 17. Определение удельной поверхности сульфата стронция методом поверхностного изотопного обмена . . . . .	201
Работа 18. Определение коэффициентов распределения и разделения элементов при их экстракции органическими растворителями . . . . .	203
1. Разделение стронция (II) и иттрия (III) . . . . .	204
2. Разделение железа (III) и кобальта (II) . . . . .	205
Работа 19. Применение радиоактивных индикаторов при ионообменном разделении элементов . . . . .	207
1. Разделение ионов $\text{Fe}^{3+}$ и $\text{Cr}^{3+}$ с помощью катионита . . . . .	207
2. Разделение ионов $\text{Ca}^{2+}$ и $\text{Sr}^{2+}$ на катионите . . . . .	211
Работа 20. Использование радиоактивных индикаторов для определения состава и констант образования комплексных соединений методом ионного обмена . . . . .	212
1. Изучение комплексных соединений стронция и кальция с лимонной кислотой . . . . .	214
2. Изучение комплексных соединений стронция и кальция с винной кислотой . . . . .	215
Работа 21. Изучение кинетики восстановления $\text{AsO}_4^{3-}$ иодид-ионами . . . . .	216
Работа 22. Синтез пропионовой кислоты, меченной $^{14}\text{C}$ в карбоксиле . . . . .	218
Работа 23. Изучение механизма окисления пропионовой кислоты . . . . .	222
1. Окисление дихроматом калия в кислой среде . . . . .	223
2. Окисление перманганатом калия в щелочной среде . . . . .	224

## Г Л А В А 6. РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАЧИ

1. Радиоактивность . . . . .	226
2. Регистрация излучения. Влияние свойств исследуемого изотопа и условий измерения на величину регистрируемой активности . . . . .	229
3. Радиационная безопасность . . . . .	231
4. Изотопный обмен . . . . .	232
5. Особенности поведения радиоактивных веществ . . . . .	233
6. Методы выделения, разделения и концентрирования радиоактивных изотопов . . . . .	234
7. Применение радиоактивных изотопов в аналитической химии. . . . .	235
8. Применение радиоактивных изотопов в неорганической, физической и органической химии. . . . .	241
9. Обработка результатов измерения радиоактивности . . . . .	245
Литература . . . . .	250
Приложения . . . . .	252
Основные обозначения . . . . .	273