**МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ДАННЫХ**

**О ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТАХ И СВОЙСТВАХ**

**ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

УДК 539. 166.3

**СТАНДАРТНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ**

РАДИОНУКЛИДЫ 206HG, 206, 207, 208, 209, 210TL, 209, 210, 211PB,210, 211, 213, 215BI, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 218PO, 211, 215, 217, 218, 219AT. ЭНЕРГИЯ, АБСОЛЮТНАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ ЭМИССИИ ЧАСТИЦ, ГАММА- И ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЙ И ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА. АКТУАЛИЗИРОВАННЫЕ ДАННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПАДА РАДИОНУКЛИДОВ

**ССД СНГ 413 – 2025 (ГСССД 413 – 2023)**

(**ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ, ШИФР ТЕМЫ: RU.3.005-2025)**

Москва – 2025

РАЗРАБОТАНЫ Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 180 «Межгосударственная служба стандартных справочных данных»

ВНЕСЕНЫ Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

АВТОР к. ф. – м. н. Н.К.  Кузьменко

СОГЛАСОВАНЫ С национальными органами по стандартизации стран СНГ

РЕКОМЕНДОВАНЫ Научно-технической комиссией по метрологии Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации

ПРИНЯТЫ Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 2025 г., № –2025)

УДК 539. 166.3

**МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ДАННЫХ**

**О ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТАХ И СВОЙСТВАХ**

**ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

|  |  |
| --- | --- |
| **Стандартные справочные данные** |  |
| Радионуклиды 206HG, 206, 207, 208, 209, 210TL, 209, 210, 211PB,210, 211, 213, 215BI, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 218PO, 211, 215, 217, 218, 219AT . Энергия, абсолютная вероятность эмиссии гамма- и характеристического рентгеновского излучений и период полураспада. Актуализированные данные характеристик распада радионуклидов | **ССД СНГ**  **413-2025**  **ГСССД**  **413 – 2023** |
| **Standard Reference Data** |  |
| Radionuclides 206HG, 206, 207, 208, 209, 210TL, 209, 210, 211PB,210, 211, 213, 215BI, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 218PO, 211, 215, 217, 218, 219AT. Energy, absolute emission probability of gamma-, X- rays and half-life. Updated decay data | **SSD CNG**  **413-2025**  **GSSSD**  **413 – 2023** |

**СОДЕРЖАНИЕ**

[Введение](#_Toc522267737) 5

1. Период полураспада 7

2. Период полураспада спонтанного деления 7

3. [Энергия гамма-излучения 7](#_Toc522267738)

[4. Абсолютная вероятность эмиссии гамма-излучения 7](#_Toc522267738)

[5. Энергия характеристического рентгеновского излучения](#_Toc522267738) 8

6. Абсолютная вероятность эмиссии характеристического

рентгеновского излучения 8

7. Энергия альфа-частиц……………………………………………………….....8

8. Абсолютная вероятность эмиссии альфа-частиц…………………………….8

9.  Граничная энергия бета-частиц…………………………………………….…8

10. Абсолютная вероятность эмиссии бета-частиц………………………..……8

11. Коэффициенты внутренней конверсии…………………………………..….8

12. Энергия конверсионных электронов ………………………………………..9

13. Абсолютная вероятность эмиссии конверсионных электронов …….….....9

14. Энергия Оже-электронов ………………….………………..……………......9

15. Абсолютная вероятность эмиссии Оже-электронов .………………...….....9

16. Стандартные справочные данные………….…………...……..................…10

17. Список литературы ………….………….………….………..………….…..22

**ВВЕДЕНИЕ**

Настоящие стандартные справочные данные (ССД) содержат оценённые значения энергии, абсолютной вероятности эмиссии гамма- и характеристического рентгеновского излучений и периода полураспада 206Hg, 206, 207, 208, 209, 210Tl, 209, 210, 211Pb210, 211, 213, 215Bi, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 218Po, 211, 215, 217, 218, 219At.

Достоверные (оцененные) ядерно-физические характеристики распада актинидов необходимы, так как многие актиниды и продукты их распада являются основными источниками долгосрочной радиационной опасности высокоактивных отходов излучения в отработавшем топливе.

Следует отметить также чрезвычайную токсичность большинства актинидов.  
ПДК для актинидов в воде и воздухе, как правило, в несколько тысяч раз меньше, чем для продуктов деления. При существенно бóльших периодах полураспада актинидов это обстоятельство крайне существенно в долгосрочных стратегиях обращения с отработанным ядерным топливом. С точки зрения практического применения некоторые актиниды, испускающие α-частицы, используются в источниках тока длительного действия (~ 10 лет и более).

Согласно материалам МАГАТЭ [1] последнее обновление оцененных (рекомендуемых) данных распада актинидов и их дочерних ядер было проведено в период времени с 2005 г. до 2011 г. международной коллаборацией DDEP (Decay Data Evaluation Project) [2] по оценке данных распада радионуклидов, в число участников которой входит Радиевый институт им. В.Г. Хлопина.

В обновлённых оценках периодов полураспада, энергий и интенсивностей всех типов излучений, возникающих при распаде рассматриваемых радионуклидов, были учтены все экспериментальные данные, опубликованные до 1 марта 2021 г. Из недавних важных публикаций, которые имеют общее значение для обновления оценённых данных всех рассматриваемых нуклидов, следует отметить две работы. В первой работе [3] представлены обновлённые оценки атомных масс всех известных нуклидов. Это приводит к необходимости обновления значений полной энергии распада и соответствующим изменениям в значениях энергии ядерных переходов.

Новая версия вычисления теоретических коэффициентов электронной конверсии во второй работе [4], опубликованной в 2008 году, позволяет уточнить коэффициенты внутренней конверсии, используемых при оценках данных распада, выполненных до 2008 года.

При отсутствии новых экспериментальных и теоретических публикаций в качестве рекомендуемых оценённых данных приняты результаты оценки, опубликованные в Nuclear Data Sheets [5], или в монографиях DDEP [6-10] с небольшой коррекцией в необходимых случаях.

Список указанных 26 радионуклидов сформирован по результатам обсуждения с экспертами Комиссии по аттестации стандартных справочных данных.

Список характеристик в таблицах содержит период полураспада, энергии и абсолютные вероятности эмиссии альфа-частиц, электронов, позитронов, рентгеновского характеристического и гамма-излучений (в процентах от числа распадов). Период полураспада для каждого нуклида дан в сутках и также в годах, если его значение превышает 1 тропический год (365,24219878 суток), или в часах, если его значение меньше 1 часа.

Оцененные данные (периоды полураспада, энергии и абсолютные вероятности эмиссии частиц, характеристического рентгеновского и гамма-излучений) получены с использованием аттестованной методики оценки ГСССД МО 268 – 2017 [11].

Погрешности всех величин в таблицах ССД даны в круглых скобках в единицах последней значащей цифры для доверительной вероятности 0,68 (1σ). Эта погрешность в настоящее время принята для оценки ядерных данных. При паспортизации и применении стандартных образцов и радионуклидных источников часто используется доверительная вероятность Р=0,95 (2σ). В этом случае погрешности ССД, приведённые в таблицах, следует увеличить вдвое.

Ниже для характеристик, включённых в ССД, приведены основные черты процедуры оценки их значений.

**1. Период полураспада**

*Периоды полураспада,* Т1/2, рассмотренных радионуклидов оценены посредством статистической обработки конкретных экспериментальных данных.

**2. Период полураспада спонтанного деления**

*Периоды полураспада* *спонтанного деления*, Т1/2(sf), рассмотренных радионуклидов приняты из данных [12], см. также Evaluated Nuclear Structure Data File [13] и Recommended Data by the Decay Data Evaluation Project working group [14].

**3. Энергия гамма-излучения**

При оценке значений *энергии гамма-излучения* (Еγ) в качестве исходной энергетической нормали принята гамма-линия с энергией 411,80205±0,00017 кэВ (198Au) [15]. Значения Еγ оценены путем усреднения имеющихся экспериментальных данных или приняты из Nuclear Data Sheets или монографий DDEP. Для слабоинтенсивного гамма-излучения малой энергии они вычислены непосредственно из энергий уровней дочернего ядра.

**4. Абсолютная вероятность эмиссии гамма-излучения**

*Абсолютная вероятность эмиссии* *гамма-излучения* (Pγ) дана в процентах от числа распадов радионуклида, т.е. представляет собой число γ-квантов данной энергии на 100 распадов. Большинство значений Pγ рассчитано на основе экспериментальных данных об относительной интенсивности гамма-излучения с использованием либо баланса интенсивностей гамма-переходов, либо непосредственно измеренной на опыте абсолютной интенсивности какой-либо одной гамма-линии.

**5. Энергия характеристического рентгеновского излучения**

Энергии компонентов наиболее интенсивных характеристического рентгеновского излучения (Kα2, Kα1) и их погрешности приняты из стандартных справочных данных ГСССД 252-2010 [16]. Для остальных компонентов характеристического рентгеновского излучения даны расчётные теоретические значения энергий [17,18].

**6. Абсолютная вероятность эмиссии характеристического рентгеновского излучения**

Оценённые значения *абсолютной вероятности эмиссии* компонентов *KX- и LX- излучений* (PXK, PXL) получены расчётным путём с использованием компьютерной программы EMISSION [19].

**7.** **Энергия α - частиц**

Оценённые значения *энергий α - частиц* (Eα) вычислены из Qα и энергий уровней дочернего ядра или оценены путем усреднения имеющихся экспериментальных данных.

**8.** **Абсолютная вероятность эмиссии α - частиц**

Оценённые значения абсолютной интенсивности эмиссии α - частиц (Pα) вычислены из баланса интенсивностей гамма-переходов или оценены путем усреднения имеющихся экспериментальных данных.

**9.** **Граничная энергия** β **- частиц**

Оценённые значения *энергий β - частиц* (Eβ) вычислены из Qβ и энергий уровней дочернего ядра или оценены путем усреднения имеющихся экспериментальных данных.

**10.** **Абсолютная вероятность эмиссии**  **β - частиц**

Оценённые значения абсолютной интенсивности эмиссии β - частиц (Iβ) вычислены из баланса интенсивностей гамма-переходов или оценены путем усреднения имеющихся экспериментальных данных.

**11. Коэффициенты внутренней конверсии**

*Коэффициенты внутренней конверсии* (КВК)используются в расчётах абсолютной вероятности эмиссии гамма - и характеристического рентгеновского излучений. Интерполяция КВК выполняется с использованием программы BrIcc v.2.3S, помещённой на сайте NNDC BNL Nuclear Structure and Decay Tools [20], для набора данных BriccFO (расчёт по модели с так называемой «замороженной орбиталью») [21].

**12.Энергия конверсионных электронов**

Оценённые значения энергии конверсионных электронов (Ece) получены из оценённых энергий гамма - переходов и энергий связи электронов.

**13. Абсолютная вероятность эмиссии конверсионных электронов**

Абсолютные вероятности эмиссии электронов внутренней конверсии (Pce) вычислены из оценённых абсолютных вероятностей эмиссии гамма-излучения и оцененных коэффициентов внутренней конверсии.

**14. Энергия Оже-электронов**

Для определения энергий Оже-электронов (EAK, EAL) было использовано программное обеспечение SAISINUC [22].

**15. Абсолютная вероятность эмиссии Оже-электронов**

Абсолютные интенсивности Оже-электронов (PAK, PAL) получены расчётным путём, с использованием оцененных ядерных данных и атомных данных из [17] и компьютерной программы EMISSION [19].

**СТАНДАРТНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ**

**Радионуклиды 206Hg, 206, 207, 208, 209, 210Tl, 209, 210, 211Pb,  210, 211, 213, 215Bi,  
210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 218Po, 211, 215, 217, 218, 219At. Энергия, абсолютная вероятность эмиссии альфа-частиц, электронов, позитронов, гамма - и характеристического рентгеновского излучений и период полураспада.**

**Актуализированные данные характеристик распада радионуклидов**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **206Hg** T1/2 = 8,32 (10) мин | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| β− | 659 (20) | 3,0 (4) |
| β− | 1003 (20) | 35 (7) |
| β− | 1308 (20) | 62 (7) |
| γ | 304,896 (6) | 26 (5) |
| eAL (Tl) | 5,25 - 15,32 | 5,1 (4) |
| ece (Tl) | 219,366 (6) | 8,0 (15) |
| ece (Tl) | 289,55 - 292,24 | 1,35 (26) |
| XL (Tl) | 8,95 - 14,74 | 2,9 (4) |
| XKα2 (Tl) | 70,833 (2) | 2,3 (5) |
| XKα1 (Tl) | 72,873 (2) | 3,9 (8) |
| XKβ (Tl) | 82,12-85,44 | 1,71 (26) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **206Tl** T1/2 = 4,202 (17) мин | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| β− | 1532,2 (6) | 99,885 (14) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **207Tl** T1/2 = 4,77 (2) мин | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| β− | 1418 (5) | 99,426 (3) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **208Tl** T1/2 = 3,058 (6) мин | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| β− | 1037,2 (17) | 3,17 (4) |
| β− | 1289,9 (17) | 24,1 (2) |
| β− | 1523,3 (17) | 22,1 (5) |
| β− | 1800,7 (17) | 49,2 (6) |
| γ | 277,37 (2) | 6,6 (3) |
| γ | 510,74 (2) | 22,5 (2) |
| γ | 583,187 (2) | 85,0 (3) |
| γ | 763,45 (2) | 1,80 (2) |
| γ | 860,53 (2) | 12,4 (1) |
| γ | 2614,511 (10) | 99,755 (4) |
| eAL (Pb) | 5,26 - 10,40 | 4,52 (6) |
| ece (Pb) | 189,37 (2) | 2,85 (14) |
| ece (Pb) | 422,74 (2) | 1,88 (3) |
| ece (Pb) | 495,182 (2) | 1,28 (2) |
| XL (Pb) | 9,18 - 15,22 | 2,74 (6) |
| XKα2 (Pb) | 72,8054 (3) | 2,04 (5) |
| XKα1 (Pb) | 74,9701 (2) | 3,43 (8) |
| XKβ (Pb) | 84,45 -87,91 | 1,52 (3) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **209Tl** T1/2 = 2,162 (7) мин | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| β− | 1821 (6) | 96 (3) |
| β− | 1938 (6) | 1,3 (30) |
| γ | 117,22 (1) | 75 (2) |
| γ | 465,13 (8) | 96,14 (5) |
| γ | 1566,93 (5) | 99,663 (8) |
| eAL (Pb) | 5,26- 10,40 | 12,86 (19) |
| ece (Pb) | 29,22 (8) | 17,6 (6) |
| ece (Pb) | 101,36 - 104,18 | 3,41 (11) |
| ece (Pb) | 377,13 (8) | 2,33 (4) |
| XL (Pb) | 9,18 - 15,22 | 7,82 (17) |
| XKα2 (Pb) | 72,8054 (3) | 5,69 (17) |
| XKα1 (Pb) | 74,9701 (2) | 9,56 (27) |
| XKβ (Pb) | 84,45 -87,91 | 4,26 (11) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **210Tl** T1/2 = 1,30 (3) мин | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| β− | 1375 (30) | 2 (1) |
| β− | 1600 (34) | 7 (2) |
| β− | 1855 (22) | 24 (5) |
| β− | 2020 (34) | 10 (3) |
| β− | 2410 (17) | 10 (3) |
| β− | 4202 (12) | 30 (6) |
| β− | 4382 (12) | 20 (6) |
| γ | 97 (30) | 4 (2) |
| γ | 296 (3) | 79 (10) |
| γ | 480 (36) | 2 (1) |
| γ | 799,6 (3) | 98,969 (30) |
| γ | 860 (30) | 7 (2) |
| γ | 1070 (20) | 12 (5) |
| γ | 1110 (20) | 7 (2) |
| γ | 1210 (20) | 17 (4) |
| γ | 1310 (20) | 21 (5) |
| γ | 1410 (20) | 5 (2) |
| γ | 1590 (30) | 2 (1) |
| γ | 2010 (30) | 7 (2) |
| γ | 2270 (12) | 3 (2) |
| γ | 2360 (30) | 8 (3) |
| γ | 2430 (30) | 9 (3) |
| ece (Pb) | 67,1 - 70,0 | 16 (4) |
| ece (Pb) | 79,2 - 80,5 | 20 (11) |
| ece (Pb) | 81,1 - 84,0 | 12 (2) |
| ece (Pb) | 93,2 - 94,5 | 3,2 (4) |
| ece (Pb) | 208 (3) | 5 (1) |
| ece (Pb) | 280,1 - 283,0 | 3,2 (4) |
| XKα2 (Pb) | 72,8054 (3) | 5,4 (10) |
| XKα1 (Pb) | 74,9701 (2) | 10 (2) |
| XKβ (Pb) | 84,45 -87,91 | 4,4 (10) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **209Pb** T1/2 = 3,234 (7) час | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| β− | 644,0 (11) | 100 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **210Pb** T1/2 = 22,23 (12) лет | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| β− | 17,0 (5) | 80,0 (13) |
| β− | 63,5 (5) | 20,0 (13) |
| γ | 46,539 (1) | 4,24 (3) |
| eAL (Bi) | 5,3 – 10,7 | 35,9 (8) |
| ece (Bi) | 30,15 - 33,12 | 57,8 (9) |
| ece (Bi) | 42,54 - 43,96 | 13,61 (23) |
| ece (Bi) | 45,60 - 46,52 | 3,49 (6) |
| XL (Bi) | 9,46 - 16,29 | 23,12 (22) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **211Pb** T1/2 = 36,164 (13) мин | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| β− | 256 (5) | 1,06 (3) |
| β− | 534 (5) | 5,417 (18) |
| β− | 961 (5) | 1,53 (3) |
| β− | 1366 (5) | 91,69 (3) |
| γ | 404,853 (10) | 4,02 (2) |
| γ | 427,088 (10) | 1,893 (4) |
| γ | 832,01 (3) | 3,446 (16) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **210Bi** T1/2 = 5,011 (5) сут | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| β− | 1161,2 (8) | 99,99986 (2) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **211Bi** T1/2 = 2,15 (2) мин | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| α | 6278,5 (5) | 16,40 (8) |
| α | 6622,4 (5) | 83,32 (8) |
| γ | 351,06 (4) | 13,19 (6) |
| eAL (Tl) | 5,25 - 15,32 | 1,64(2) |
| ece (Tl) | 265,53 (4) | 2,63 (4) |
| XL (Tl) | 8,95 - 14,74 | 0,942 (18) |
| XKα2 (Tl) | 70,833 (2) | 0,736 (13) |
| XKα1 (Tl) | 72,873 (2) | 1,243 (21) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **213Bi** T1/2 = 45,60 (6) мин | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| α | 5876 (3) | 1,959 (10) |
| β− | 983 (5) | 30,8 (2) |
| β− | 1422 (5) | 65,8 (4) |
| eAL (Po) | 5,43 – 16,86 | 1,7 (3) |
| ece (Po) | 347,34 (1) | 3,8 (1) |
| XL (Po) | 9,66-16,21 | 1,14 (18) |
| XKα2 (Ро) | 76,864 (2) | 0,99 (15) |
| XKα1 (Ро) | 79,293 (2) | 1,6 (3) |
| γ | 440,44 (1) | 25,9 (5) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **215Bi** T1/2 = 7,6 (2)мин | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| β− | 772 (6) | 2,8 (1) |
| β− | 876 (6) | 2,0 (2) |
| β− | 1336 (6) | 1,5 (1) |
| β− | 1877 (6) | 30 (6) |
| β− | 2171 (6) | 61 (6) |
| γ | 271,228 (10) | 1,95 (7) |
| γ | 293,56 (4) | 23,8 (9) |
| γ | 517,63 (6) | 1,02 (8) |
| γ | 1105,2 (3) | 1,50 (7) |
| eAL (Po) | 5,43 – 16,86 | 4,0 (3) |
| ece (Po) | 200,46 (4) | 6,0 (10) |
| ece (Po) | 276,63 - 279,75 | 1,48 (11) |
| XL (Po) | 9,66 – 16,22 | 2,70 (23) |
| XKα2 (Po) | 76,864 (2) | 1,8 (3) |
| XKα1 (Po) | 79,293 (2) | 3,0 (5) |
| XKβ (Po) | 89,26-92,62 | 1,34 (17) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **210Po** T1/2 = 138,376 (2) сут | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| α | 5304,53 (7) | 99,99879 (6) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **211Po** T1/2 = 0,516 (3) сек | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| α | 7450,6 (5) | 98,921 (30) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **212Po** T1/2 = 294,6 (10) наносекунд | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| α | 8785,24 (11) | 100 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **213Po** T1/2 = 3,705(1) микросекунд | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| α | 8375,8 (26) | 99,9952 (5) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **214Po** T1/2 = 163,47 (4)микросекунд | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| α | 7687,12 (6) | 99,9894 (6) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **215Po** T1/2 = 1,781 (5) микросекунд | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| α | 7386,3 (8) | 99,944 (7) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **216Po** T1/2 = 144,1 (6) микросекунд | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| α | 6778,4 (5) | 99,9982 (3) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **218Po** T1/2 = 3,071 (22) мин | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| α | 6002,55 (9) | 99,977 (3) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **211At** T1/2 = 7,214 (7) час | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| α | 5869,0 (13) | 41,78 (8) |
| γ | 687,2 (7) | 0,245 (12) |
| eAL (Po) | 5,43 – 16,86 | 27,6 (8) |
| eAK (Po) | 58,98- 93,10 | 1,57 (18) |
| XL (Po) | 9,66 - 16,21 | 18,6 (8) |
| XKα2 (Po) | 76,864 (2) | 12,66 (9) |
| XKα1 (Po) | 79,293 (2) | 21,08 (12) |
| XKβ (Po) | 89,26-92,62 | 9,52 (13) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **215At** T1/2 = 37 (3) микросекунд | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| α | 8026 (4) | 99,95 (2) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **217At** T1/2 = 32,6 (3)миллисекунд | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| α | 7068,7 (12) | 99,932 (3) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **218At** T1/2 = 1,27 (6) сек | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| α | 6655 (7) | 6,9 (1) |
| α | 6694 (5) | 92,2 (9) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **219At** T1/2 = 56 (4) сек | | |
| Вид излучения | Энергия\* Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| α | 6228 (5) | 93,6 (10) |
| β− | 1566,7 (29) | 6,4 (10) |

\* В случае эмиссии β - частиц указана граничная энергия

**CПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Library of Recommended Actinide Decay Data, 2011, IAEA Technical Report STI/PUB/1618 – 2013.
2. Helmer R.G., Browne E. and Be M.-M. International Decay Data Evaluation Project. / J. of Nucl. Sci. Techn. – 2002. – Suppl. 2, Vol.1. – P.455-458.
3. Wang M., Huang W.J., Kondev F.G., Audi G., Naimi S. The AME 2020 atomic mass evaluation (II). Tables, graphs and references // Chin.Phys.C. – 2021. – Vol. 45. – P. 030003.
4. Kibedi T., Burrows T.W., Trzhaskovskaya M.B., Davidson P.M., and Nestor C.W., Jr. Evaluation of theoretical conversion coefficients using BrIcc // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. – 2008. – Vol. A589. – P. 202 – 229.
5. Nuclear Data Sheets. – New York/London: Academic Press. 1965 –2017.
6. Be M.-M., Chiste V., Dulieu C., Browne E., Chechev V., Kuzmenko N., Helmer R., Nichols A., Shönfeld E., and Dersch R. Table of Radionuclides (Vol. 2 – A = 151 to 242). // Bureau International des Poids et Mesures. – 2004. – 282 pages.
7. Be M.-M., Chiste V., Dulieu C., Browne E., Chechev V., Kuzmenko N., Helmer R., Kondev F., MacMahon D. and Lee K.B. Table of Radionuclides (Vol. 3 – A = 3 to 244). / Sevres: Bureau International des Poids et Mesures. – 2006. – 210 pages.
8. Be M.-M., Chiste V., Dulieu C., Browne E., Chechev V., Kuzmenko N., Kondev F., Luca A., Galan M., Pearce A., and Huang X. Table of Radionuclides (Vol.4 – A = 133 to 252). / Sevres: Bureau International des Poids et Mesures. – 2008. – 282 pages.
9. Be M.-M., Chiste V., Dulieu C., Mougeot X., Browne E., Chechev V., Kuzmenko N., Kondev F., Luca A., Galan M., Arinc A., and Huang X. Table of Radionuclides (Vol.5 – A = 22 to 244). / Sevres: Bureau International des Poids et Mesures. – 2010. – 228 pages.
10. [Be](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=M.M.Be) M.-M., [Chiste](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=V.Chiste) V., [Dulieu](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=C.Dulieu) C., [Mougeot](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=X.Mougeot) X., [Chechev](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=V.P.Chechev) V.P., [Kuzmenko](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=N.K.Kuzmenko) N.K., [.Kondev](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=F.G.Kondev) F.G, [Luca](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=A.Luca) A., [Galan](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=M.Galan) M., [Nichols](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=A.L.Nichols) A.L., [Arinc](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=A.Arinc) A., [Pearce](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=A.Pearce) A., [Huang](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=X.Huang) X., [Wang](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=B.Wang) B., Table of Radionuclides (Vol. 6 - A = 22 to 242)//Monographie BIPM-5. – 2011. – Vol.6. Bureau International des Poids et Mesures – 2010. – 306 pages.
11. Чечев В.П. Методы получения оценённых значений ядерно-физических характеристик радиоактивных нуклидов. / ГСССД МО 268 – 2017. – М.:2017. – 97с.
12. [Holden](https://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=N.E.Holden) N.E. and [Hoffman](https://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=D.C.Hoffman) D.C. Spontaneous Fission Half-Lives for Ground-State Nuclides (Technical Report) // Pure Appl.Chem. – 2000. – Vol. 72. – P. 1525 – 1562; Erratum Pure Appl.Chem. – 2001. – Vol. 73. – P. 1225 – 1226
13. Evaluated Nuclear Structure Data File (ENSDF). New York: Brookhaven National Laboratory. – URL: http://www.nndc.bnl.gov/ensdf/
14. Recommended Data by the Decay Data Evaluation Project working group. – URL: <http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm>.
15. Helmer R.G. and van der Leun C. Recommended standards for γ-ray energy calibration (1999). // Nucl. Instr. Methods Phys. Res. – 2000. – Vol. A450. – P. 35 – 70.
16. ГСССД 252-2010. Таблицы стандартных справочных данных. Энергия характеристического рентгеновского излучения при переходах в электронных оболочках атомов химических элементов с атомным номером от 4 до 100 / Бормашов В.С., Коростылев Е.В., Кузин А.Ю., Батурин А.С. – М.: 2010. / Росс. научн. – техн. центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия. Депонировано в ФГУП “Стандартинформ”.
17. Schönfeld E. and Janβen H. Evaluation of Atomic Shell Data. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. – 1996. – Vol. A369. – P. 527 – 533.
18. Bearden J.A. X-Ray Wavelengths. // Rev. Mod. Phys. – 1967. – Vol. 39.– P. 78 – 124.
19. Schönfeld E. and Janβen H. Calculation of emission probabilities of X-rays and Auger electrons emitted in radioactive disintegration processes. //Appl. Radiat. Isot. – 2000. – Vol. 52. – P. 595 – 600.
20. Nuclear Structure and Decay Tools. − New York: Brookhaven National Laboratory. – URL: – [http://www.nndc.bnl.gov](http://www.nndc.bnl.gov/).
21. Kibedi T., Burrows T.W., Trzhaskovskaya M.B., Davidson P.M., and Nestor C.W., Jr. Evaluation of theoretical conversion coefficients using BrIcc // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. – 2008. – Vol. A589. – P. 202 – 229.
22. Bé M.M., Duchemin B., Lamé J. An interactive database for decay data. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. – 1996. – Vol.A369. – P. 523 – 526.