**МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ДАННЫХ**

**О ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТАХ И СВОЙСТВАХ**

**ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

УДК 539. 166.2 (08)

**ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ**

РАДИОНУКЛИДЫ 22Na, 24Na, 40K, 42K, 46Sc, 51Cr, 54Mn, 56Mn, 55Fe, 59Fe, 56Co, 57Co, 58Co, 60Co, 64Cu, 65Zn, 66Ga, 67Ga, 68Ga,

75Se, 85Kr, 85Sr, 88Y, 93mNb, 94Nb, 95Nb.

ЭНЕРГИЯ, АБСОЛЮТНАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ ЭМИССИИ ГАММА- И ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЙ И ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА.

#### АКТУАЛИЗИРОВАННЫЕ ДАННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПАДА РАДИОНУКЛИДОВ

#### **ССД СНГ 351–2021 (ГСССД 351–2019)**

(**ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ, ШИФР ТЕМЫ:** [**RU.3.005-20**](http://www.mgs.gost.ru/TKSUGGEST/mgsprogact.nsf/ByUNID/E336D4892C3CC6BF44257BCE003A3FE5?OpenDocument&CountryCode=RU&ViewName=ByMTCOfSelectedCountry&Category=RU%20180&Start=1&Count=12)**21)**

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

ВНЕСЕНЫ Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

АВТОРЫ: 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 2021 г., № –2021)

УДК 539. 166.2 (08)

**МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ДАННЫХ**

**О ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТАХ И СВОЙСТВАХ**

**ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

|  |  |
| --- | --- |
| **Таблицы стандартных справочных данных** |  |
| Радионуклиды 22Na, 24Na, 40K, 42K, 46Sc, 51Cr, 54Mn, 56Mn, 55Fe, 59Fe, 56Co, 57Co, 58Co, 60Co, 64Cu, 65Zn, 66Ga, 67Ga, 68Ga, 75Se, 85Kr, 85Sr, 88Y, 93mNb, 94Nb, 95Nb. Энергия, абсолютная вероятность эмиссии гамма- и характеристического рентгеновского излучений и период полураспада. Актуализированные данные характеристик распада радионуклидов | **ССД СНГ**  **351–2021**  **ГСССД**  **351–2019** |
| **Tables of Standard Reference Data** |  |
| Radionuclides 22Na, 24Na, 40K, 42K, 46Sc, 51Cr, 54Mn, 56Mn, 55Fe, 59Fe, 56Co, 57Co, 58Co, 60Co, 64Cu, 65Zn, 66Ga, 67Ga, 68Ga, 75Se, 85Kr, 85Sr, 88Y, 93mNb, 94Nb, 95Nb. Energy, absolute emission probability of gamma-, X- rays and half-life | **SSD CNG**  **351–2021**  **GSSSD**  **351–2019** |

**АННОТАЦИЯ**

Настоящие таблицы стандартных справочных данных (ССД) содержат оценённые значения энергии, абсолютной вероятности эмиссии гамма- и характеристического рентгеновского излучений и периода полураспада 22Na, 24Na, 40K, 42K, 46Sc, 51Cr, 54Mn, 56Mn, 55Fe, 59Fe, 56Co, 57Co, 58Co, 60Co, 64Cu, 65Zn, 66Ga, 67Ga, 68Ga, 75Se, 85Kr, 85Sr, 88Y, 93mNb, 94Nb, 95Nb.

Детектирование (регистрация) рентгеновского и гамма- излучений является инструментом экспериментального изучения явлений и процессов в веществе, содержащем радиоактивные нуклиды. Поэтому полупроводниковая и сцинтилляционная гамма-спектрометрия широко применяется в атомной энергетике, технике, радиоэкологии и научных исследованиях. Для ***калибровки*** спектрометрической и радиометрической аппаратуры используют обычно ***стандартные*** радионуклидные источники, характеристики которых, как технические (активность, толщина слоя активного вещества и др.), так и ядерно-физические (характеристики распада) известны с достаточно высокой достоверностью. В 2007 году МАГАТЭ определило список радиоактивных нуклидов, которые могут быть использованы в качестве первичных и вторичных ***стандартов гамма- и характеристического рентгеновского излучений.*** Для ряда нуклидов из этого списка в России существуют или разрабатываются современные таблицы ГСССД. Список указанных 26 радионуклидов сформирован по результатам обсуждения с экспертами Комиссии по аттестации стандартных справочных данных. Он соответствует первой части полного перечня радионуклидов – стандартов X, **γ** - излучений, применяемых в различных областях атомной отрасли.

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение 7

1. Энергия гамма-излучения 9

2. Абсолютная вероятность эмиссии гамма-излучения 9

3. Энергия характеристического рентгеновского излучения 9

4. Абсолютная вероятность эмиссии характеристического рентгеновского излучения 9

5. Период полураспада 10

6. Коэффициенты внутренней конверсии 10

7. Источники получения рекомендуемых значений 10

8. Стандартные справочные данные 11

Список литературы 22

**ВВЕДЕНИЕ**

Настоящие таблицы стандартных справочных данных (ССД) содержат оценённые значения энергии, абсолютной вероятности эмиссии гамма- и характеристического рентгеновского излучений и периода полураспада 22Na, 24Na, 40K, 42K, 46Sc, 51Cr, 54Mn, 56Mn, 55Fe, 59Fe, 56Co, 57Co, 58Co, 60Co, 64Cu, 65Zn, 66Ga, 67Ga, 68Ga, 75Se, 85Kr, 85Sr, 88Y, 93mNb, 94Nb, 95Nb.

Детектирование (регистрация) рентгеновского и гамма- излучений является одним из основных инструментов экспериментального изучения явлений и процессов в веществе, содержащем радиоактивные нуклиды. Поэтому полупроводниковая и сцинтилляционная гамма-спектрометрия широко применяется в атомной энергетике, технике, радиоэкологии и научных исследованиях. Для ***калибровки*** спектрометрической и радиометрической аппаратуры используют обычно т.н. ***стандартные*** радионуклидные источники, характеристики которых, как технические (активность, толщина слоя активного вещества и др.), так и ядерно-физические (характеристики распада) известны с достаточно высокой достоверностью. В 2007 году МАГАТЭ определило список радиоактивных нуклидов [1], которые могут быть использованы в качестве первичных и вторичных ***стандартов гамма - и характеристического рентгеновского излучений.*** Эти радионуклиды также используются для различных целей в дозиметрии, медицине, радиоэкологии и исследованиях по переработке радиоактивных отходов.

С тех пор прошло 10 лет. Для ряда рассмотренных радионуклидов – стандартов X, γ - излучений за прошедший период накоплена новая экспериментальная информация. Список указанных 26 радионуклидов сформирован по результатам обсуждения с экспертами Комиссии по аттестации стандартных справочных данных. Он соответствует первой части полного перечня радионуклидов – стандартов X, γ - излучений, для которых разрабатываются современные таблицы отечественных стандартных справочных данных.

Список характеристик в таблицах содержит период полураспада, энергии и абсолютные вероятности эмиссии рентгеновского характеристического и гамма-излучений (в процентах от числа распадов). Перечень фотонов, рассмотренных для каждого радионуклида, ограничен наиболее интенсивным излучением (в соответствии с [1]). Период полураспада для каждого нуклида дан в сутках и также в годах, если его значение превышает 1 год (= 365,24219878 суток), или в часах, если его значение меньше 1 часа.

При разработке настоящих таблиц использованы рекомендуемые данные из отчёта МАГАТЭ [1], основанные на оценках международной кооперации Decay Data Evaluation Project (DDEP) [2-9]. Цель этой кооперации, включающей представителей ведущих метрологических и ядерных лабораторий мира, состоит в разработке высококачественных таблиц оценённых данных для широко применяемых радионуклидов. Способы получения оценённых данных участниками кооперации DDEP соответствуют критериям и рекомендациям аттестованной методики оценки [10].

В тех случаях, когда по сравнению с экспериментальной информацией, рассмотренной участниками кооперации DDEP, на начало 2018 года имелись новые опубликованные экспериментальные данные, автором настоящих таблиц ССД выполнена переоценка рекомендуемых значений ядерно-физических характеристик с учётом новых данных.

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.

Для энергии компонентов характеристического рентгеновского излучения даны расчётные теоретические значения. Погрешности для них, как правило, не указываются. Тем не менее, из имеющейся экспериментальной информации можно оценить, что неопределённость значений энергии в интервалах, приведённых в настоящих таблицах, не превышает 1 эВ. Для наиболее интенсивных рентгеновских линий (Kα2 , Kα1 и др.) погрешности энергии известны из непосредственных измерений. В таких случаях они приняты из стандартных справочных данных [11].

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

**1. 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) [12]. Значения Еγ в большинстве случаев оценены путем усреднения имеющихся экспериментальных данных. Для некоторых слабых гамма-лучей малой энергии они выведены непосредственно из энергии уровней дочерних ядер.

**2. 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 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.

**3. Энергия характеристического рентгеновского излучения**

Значения *энергии характеристического рентгеновского излучения* (EXK, EXL) основаны на измерениях длин волн, приведенных в компиляции [13]. Оценённые значения энергии компонентов KX-излучения в килоэлектронвольтах (кэВ) приняты из данных [11,14].

**4. 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 [15] и атомных данных из [14] (подробнее см. [10]).

**5. Период полураспада**

*Периоды полураспада* (Т1/2) рассмотренных радионуклидов оценены посредством статистической обработки конкретных экспериментальных данных. Технология оценки представлена в [10].

**6. 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 [16], для набора данных BriccFO (расчёт по модели с т.н. «замороженной орбиталью» [17]).

**7. Источники получения рекомендуемых значений**

Рекомендуемые в качестве ССД значения указанных выше характеристик получены на основе оценённой информации из [1, 3-9, 11] с учётом (в необходимых случаях) новых опубликованных результатов измерений. По радионуклидам источники дополнительной экспериментальной информации, использованной для переоценки, распределяются следующим образом:

22Na [17-24], 24Na [17-20, 25,26], 40K[17-19, 27],42K[17-20, 28], 46Sc [17-20], 51Cr [17- 20, 29-31], 54Mn [17-20, 32-34], 56Mn [17-19, 35], 55Fe [17-19, 36-38], 59Fe [17-19], 56Co [17-19, 39-41], 57Co [17-20, 42, 43], 58Co [17-21, 44, 45], 60Co [17-20, 46], 64Cu [17-19, 47-54, 81], 65Zn [17-20, 55-58], 66Ga [17-19, 59-61], 67Ga [17-20, 62-65], 68Ga [4, 7, 8, 66-73], 75Se [17-20,74],85Kr [17-20,75],85Sr [17-20,75], 88Y [17-20, 76, 77], 93mNb [17-19, 78], 94Nb [17-19, 79],95Nb [17-19, 80].

**8. Стандартные справочные данные**

Радионуклиды 22na, 24na, 40k, 42k, 46sc, 51cr, 54mn, 56mn, 55fe, 59fe, 56co, 57co, 58co, 60co, 64cu, 65zn, 66ga, 67ga, 68ga, 75se, 85kr, 85sr, 88y, 93mnb, 94nb, 95nb. Энергия, абсолютная вероятность эмиссии гамма- и характеристического рентгеновского излучений и период полураспада

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **22Na** T1/2 = 950,36 (15) суток [T1/2 = 2,6020(4) лет] | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е(ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P(ΔP), % от числа распадов |
| γ± | 511\* | 180,65 (12) |
| γ | 1274,537 (7) | 99,941 (14) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **24Na** T1/2 = 0,62325(8) суток [14,958(2) ч] | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е(ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P(ΔP), % от числа распадов |
| γ± | 511\* | 0,144 (2) |
| γ | 1368,630 (5) | 99,9934 (5) |
| γ | 2754,049 (13) | 99,862 (3) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **40K** T1/2 = 4,5582 (11)×1011 суток [1,248 (3)×109 лет] | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е(ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P(ΔP), % от числа распадов |
| XK(Ar) | 2,96-3,19 | 0,99 (3) |
| γ | 1460,820 (5) | 10,66 (11) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **42K** T1/2 = 0,5150 (2) суток [12,359 (4)ч] | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е(ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P(ΔP), % от числа распадов |
| γ | 1524,68 (3) | 18,09 (9) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **46Sc** T1/2 = 83,787 (16) суток | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е(ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P(ΔP), % от числа распадов |
| XK(Ti) | 4,505-4,511 | 0,0047 (2) |
| γ | 889,271 (2) | 99,98374 (25) |
| γ | 1120,537 (3) | 99,97 (2) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **51Cr** T1/2 = 27,701 (3) суток | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е(ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P(ΔP), % от числа распадов |
| Kα2 (V) | 4,94467 (6) | 6,79 (14) |
| Kα1 (V) | 4,95222 (6) | 13,36 (27) |
| Kβ (V) | 5,43-5,46 | 2,69(7) |
| γ | 320,0824 (4) | 9,89 (2) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **54Mn** T1/2 = 312,19 (3) суток | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е(ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P(ΔP), % от числа распадов |
| XL (Cr) | 0,500 – 0,652 | 0,65 (13) |
| Kα2 (Cr) | 5,405538 (8) | 7,65 (14) |
| Kα1 (Cr) | 5,414805 (8) | 15,02 (27) |
| Kβ1 (Cr) | 5,94682 (2) | 3,05 (7) |
| γ | 834,848 (3) | 99,9752 (5) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **56Mn** T1/2 = 0,107446 (13) суток [2,5787 (3) ч] | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е(ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P(ΔP), % от числа распадов |
| γ | 846,7638 (19) | 98,85 (3) |
| γ | 1810,726 (4) | 26,9 (4) |
| γ | 2113,092 (6) | 14,2 (3) |
| γ | 2523,06 (5) | 1,02 (2) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **55Fe** T1/2 = 1002,2 (29) суток [2,744 (8) лет] | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| XKα2 (Mn) | 5,8877 (5) | 8,45 (14) |
| XKα1 (Mn) | 5,8988 (5) | 16,56 (27) |
| XK′β1 (Mn) | 6,4905 (5) | 3,40 (7) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **59Fe** T1/2 = 44,490 (7) суток | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е(ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P(ΔP), % от числа распадов |
| γ | 142,651 (2) | 0,978 (28) |
| γ | 192,349 (5) | 2,91 (5) |
| γ | 1099,245 (3) | 56,5 (3) |
| γ | 1291,590(6) | 43,2(3) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **56Co** T1/2 = 77,245 (28) суток | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| XKα2 (Fe) | 6,39091 (5) | 7,48 (10) |
| XKα1 (Fe) | 6,40391 (3) | 14,65 (19) |
| XKβ (Fe) | 7,058-7,108 | 3,03 (5) |
| γ± | 511,0\* | 40,4 (8) |
| γ | 846,7778 (19) | 99,9444 (32) |
| γ | 977,393 (4) | 1,423 (7) |
| γ | 1037,866 (4) | 14,07 (6) |
| γ | 1175,126 (4) | 2,252 (7) |
| γ | 1238,3267 (31) | 66,43 (17) |
| γ | 1360,244 (4) | 4,28 (2) |
| γ | 1771,391 (4) | 15,44 (7) |
| γ | 2015,259 (4) | 2,96 (3) |
| γ | 2034,832 (4) | 7,75 (2) |
| γ | 2598,570 (4) | 16,96 (4) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **56Co** T1/2 = 77,245 (28) суток | | |
| γ | 3009,717 (4) | 0,978 (10) |
| γ | 3202,110 (6) | 3,093 (18) |
| γ | 3253,585 (4) | 7,66 (32) |
| γ | 3273,158 (4) | 1,69 (20) |
| γ | 3451,318 (4) | 0,91 (4) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **57Co** T1/2 = 271,81 (4) суток | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| XL (Fe) | 0,617 – 0,794 | 1,55 (13) |
| XKα2 (Fe) | 6,39091 (5) | 16,8 (3) |
| XKα1 (Fe) | 6,40391 (3) | 33,2 (5) |
| XKβ (Fe) | 7,058 – 7,108 | 7,1 (2) |
| γ | 14,41295 (31) | 9,18 (12) |
| γ | 122,06065 (12) | 85,49 (15) |
| γ | 136,47356 (2) | 10,71(15) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **58Co** T1/2 = 70,85 (3) суток | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| XKα2 (Fe) | 6,39091 (5) | 7,98 (11) |
| XKα1 (Fe) | 6,40391 (3) | 15,63 (19) |
| XKβ (Fe) | 7,058-7,108 | 3,23 (5) |
| γ± | 511,0\* | 29,88 (32) |
| γ | 810,7593 (20) | 99,44 (2) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **60Co** T1/2 = 1925,3 (4) суток [5,2713 (11) лет] | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| γ | 1173,228 (3) | 99,85 (3) |
| γ | 1332,492 (4) | 99,9826 (6) |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **64Cu** T1/2 = 0,52917 (8) суток [12,700 (2) ч] | | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е (ΔЕ), кэВ | | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| XKα2 (Ni) | | 7,461034 (5) | 4,90 (6) |
| XKα1 (Ni) | | 7,478252 (5) | 9,56 (11) |
| XKβ (Ni) | | 8,26478 (2) | 1,99 (3) |
| γ± | 511,0\* | | 34,8 (3)\*\* |
| γ (64Ni) | 1345,74 (5) | | 0,474 (5) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **65Zn** T1/2 = 243,85 (19) суток | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| XL (Cu) | 0,93 - 0,95 | 1,305 (21) |
| XKα2 (Cu) | 8,027842 (3) | 11,76 (13) |
| XKα1 (Cu) | 8,047823 (3) | 22,91 (22) |
| XKβ1 (Cu) | 8,905 – 8,977 | 4,82 (7) |
| γ | 511,0\* | 2,844 (20) |
| γ | 1115,549 (2) | 50,06 (16) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **66Ga** T1/2 = 0,3877 (3) суток [9,305 (8) ч] | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е(ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P(ΔP), % от числа распадов |
| Kα2 (Zn) | 8,61582 (5) | 5,8 (3) |
| Kα1 (Zn) | 8,63891 (8) | 11,3 (6) |
| Kβ (Zn) | 9,5720 (3) | 2,42 (12) |
| γ | 833,5324 (21) | 5,9 (5) |
| γ | 1039,220 (3) | 37 (3) |
| γ | 1333,112 (5) | 1,17 (9) |
| γ | 1418,754 (5) | 0,61(5) |
| γ | 1508,158 (7) | 0,55 (4) |
| γ | 1898,823 (8) | 0,39 (3) |
| γ | 1918,329 (5) | 1,99 (16) |
| γ | 2189,616 (6) | 5,3 (4) |
| γ | 2422,525 (7) | 1,88 (15) |
| γ | 2751,835 (5) | 22,7 (18) |
| γ | 3228,800 (6) | 1,51 (12) |
| γ | 3380,850 (6) | 1,46 (12) |
| γ | 3422,040 (8) | 0,86 (7) |
| γ | 3791,004 (8) | 1,09 (9) |
| γ | 4085,853 (9) | 1,27 (10) |
| γ | 4295,187 (10) | 3,8 (3) |
| γ | 4461,202 (9) | 0,84 (7) |
| γ | 4806,007 (9) | 1,86 (15) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **67Ga** T1/2 = 3,2610 (8) суток | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| XL (Zn) | 0,88 - 1,19 | 1,74 (3) |
| XKα2 (Zn) | 8,61582 (8) | 16,88 (22) |
| XKα1 (Zn) | 8,63891 (8) | 32,8 (4) |
| XKβ (Zn) | 9,57 - 9,66 | 7,04 (11) |
| γ | 91,265 (8) | 3,10 (4) |
| γ | 93,310 (5) | 38,09 (32) |
| γ | 184,576 (6) | 21,06 (18) |
| γ | 208,950 (10) | 2,388 (24) |
| γ | 300,217 (10) | 16,74 (18) |
| γ | 393,527 (10) | 4,62 (5) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **68Ga** T1/2 = 67,75 (9) мин. [1,1292 (15) ч] | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| XKα2 (Zn) | 8,61582 (8) | 1,389 (7) |
| XKα1 (Zn) | 8,63891 (8) | 2,701 (24) |
| XKβ (Zn) | 9,57 - 9,66 | 0,58 (1) |
| γ± | 511,0\* | 177,78 (18) |
| γ | 1077,35 (4) | 3,22 (3) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **75Se** T1/2 = 119,779 (4) суток | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| XL (As) | 1,119 – 1,531 | 1,93 (5) |
| XKα2 (As) | 10,5075 (2) | 16,5 (6) |
| XKα1 (As) | 10,543267 (8) | 31,9 (11) |
| XKβ (As) | 11,720-11,864 | 7,58 (25) |
| γ | 66,0518 (8) | 1,053 (20) |
| γ | 96,7340 (9) | 3,35 (7) |
| γ | 121,1155 (11) | 16,86 (36) |
| γ | 136,0001 (6) | 57,7 (20) |
| γ | 198,6060 (12) | 1,46 (6) |
| γ | 264,6576 (9) | 58,75 (19) |
| γ | 279,5422 (10) | 24,89 (9) |
| γ | 303,9236 (10) | 1,308 (5) |
| γ | 400,6572 (8) | 11,39 (4) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **85Kr** T1/2 = 3918 (3) суток [10,728 (9) лет] | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е(ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P(ΔP), % от числа распадов |
| γ | 513,0048 (22) | 0,435 (10) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **85Sr** T1/2 = 64,849 (7) суток | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е(ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P(ΔP), % от числа распадов |
| XL (Rb) | 1,48-2,20 | 2,30 (5) |
| Kα2 (Rb) | 13,3359 (3) | 17,16 (17) |
| Kα1 (Rb) | 13,3955 (2) | 33,04 (29) |
| Kβ (Rb) | 14,95-15,21 | 8,97 (11) |
| γ | 514,0048 (22) | 98,5 (4) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **88Y** T1/2 = 106,63 (5) суток | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| XL (Sr) | 1,582 - 2,196 | 2,76 (5) |
| XKα2 (Sr) | 14,0980 (3) | 17,55 (16) |
| XKα1 (Sr) | 14,1652 (3) | 33,71 (26) |
| XK′β1 (Sr) | 15,82 - 15,97 | 8,32 (10) |
| XK′β2 (Sr) | 16,08 - 16,10 | 1,084 (14) |
| γ | 898,042 (11) | 93,7 (3) |
| γ | 1836,070 (8) | 99,346 (25) |
| γ | 2734,092 (8) | 0,608 (25) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **93mNb** T1/2 = 5,89 (5)×103 суток [16,12 (15) лет] | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е (ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P (ΔP), % от числа распадов |
| XL (Nb) | 1,90 - 2,66 | 2,88 (6) |
| XKα2 (Nb) | 16,5213 (4) | 3,32 (7) |
| XKα1 (Nb) | 16,6152 (4) | 6,34 (15) |
| XK′β1 (Nb) | 18,607 – 18,680 | 1,64 (4) |
| XK′β2 (Nb) | 18,952 – 18,982 | 0,246 (11) |
| γ | 30,77 (2) | 0,000591 (9) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **94Nb** T1/2 = 7,45 (15)×106 суток [2,04 (4)×104 лет] | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е(ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P(ΔP), % от числа распадов |
| γ | 702,639 (4) | 99,817 (3) |
| γ | 871,094 (16) | 98,893 (2) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **95Nb** T1/2 = 34,991 (6) суток | | |
| Вид фотонного излучения | Энергия  Е(ΔЕ), кэВ | Вероятность эмиссии P(ΔP), % от числа распадов |
| γ | 765,803 (8) | 99,796 (9) |

\* Погрешность энергии аннигиляционного гамма-излучения зависит от условий аннигиляции позитронов. Точное значение аннигилирующей массы позитрона (и электрона) составляет 510,99892 (5) кэВ.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Update of X Ray and Gamma Ray Decay Data Standards for Detector Calibration and Other Applications. − Vienna: International Atomic Energy Agency, 2007.
2. R.G. Helmer, E. Browne and M.-M. Be. *International Decay Data Evaluation Project.* / J. of Nucl. Sci. Techn., 2002, Suppl. 2, vol.1, p. 455-458.
3. M.-M. Be, V. Chiste, C. Dulieu, E. Browne, V. Chechev, N. Kuzmenko, R. Helmer, A. Nichols, E. Shönfeld, and R. Dersch. *Table of Radionuclides (Vol. 1 – A = 7 to 150)*. // Bureau International des Poids et Mesures, 2004. - 285 pages.
4. M.-M. Be, V. Chiste, C. Dulieu, E. Browne, V. Chechev, N. Kuzmenko, R. Helmer, A. Nichols, E. Shönfeld, and R. Dersch. *Table of Radionuclides (Vol. 2 – A = 151 to 242)*. // Bureau International des Poids et Mesures, 2004. - 282 pages.
5. M.-M. Be, V. Chiste, C. Dulieu, E. Browne, V. Chechev, N. Kuzmenko, R. Helmer, F. Kondev, D. MacMahon and K.B. Lee. *Table of Radionuclides (Vol. 3 – A = 3 to 244).* / Sevres: Bureau International des Poids et Mesures, 2006. - 210 pages.
6. M.-M. Be, V. Chiste, C. Dulieu, E. Browne, V. Chechev, N. Kuzmenko, F. Kondev, A. Luca, M. Galan, A. Pearce, and X. Huang. *Table of Radionuclides (Vol.4 – A = 133 to 252).* / Sevres: Bureau International des Poids et Mesures, 2008. – 282 pages.
7. M.-M. Be, V. Chiste, C. Dulieu, X. Mougeot, E. Browne, V. Chechev, N. Kuzmenko, F. Kondev, A. Luca, M. Galan, A. Arinc, and X. Huang. *Table of Radionuclides (Vol.5 – A = 22 to 244).* / Sevres: Bureau International des Poids et Mesures, 2010. – 228 pages.
8. [M.-M.Be](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=M.M.Be), [V.Chiste](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=V.Chiste), [C.Dulieu](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=C.Dulieu), [X.Mougeot](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=X.Mougeot), [V.P.Chechev](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=V.P.Chechev), [N.K.Kuzmenko](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=N.K.Kuzmenko), [F.G.Kondev](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=F.G.Kondev), [A.Luca](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=A.Luca), [M.Galan](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=M.Galan), [A.L.Nichols](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=A.L.Nichols), [A.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), [X.Huang](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=X.Huang), [B.Wang](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=B.Wang), *Table of Radionuclides (Vol. 6 - A = 22 to 242)//*Monographie BIPM-5, vol.6, Bureau International des Poids et Mesures (2011).
9. *Recommended Data by the Decay Data Evaluation Project working group. /* URL:<http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm>.
10. В.П. Чечев. *Методы получения оценённых значений ядерно-физических характеристик радиоактивных нуклидов.* / ГСССД МО 268 – 2017.-М.:2017.
11. 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”.
12. R.G. Helmer and C. van der Leun. *Recommended standards for γ-ray energy calibration (1999).* / Nucl. Instr. Methods Phys. Res. 2000. V. A450. P. 35.
13. J.A. Bearden. *X-Ray Wavelengths.* / Rev. Mod. Phys. 1967. V. 39.P. 78.
14. E. Schönfeld and H. Janβen. *Evaluation of Atomic Shell Data.* / Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. 1996. V. A369. P. 527.
15. E. Schönfeld and H. Janβen. *Calculation of emission probabilities of X-rays and Auger electrons emitted in radioactive disintegration processes.* / Appl. Radiat. Isot. 2000. V. 52. P. 595.
16. Nuclear Structure and Decay Tools. ­− New York: Brookhaven National Laboratory. URL: [http://www.nndc.bnl.gov](http://www.nndc.bnl.gov/)

17. Recommended Data by the Decay Data Evaluation Project working group. URL: http://www.nucleide.org/DDEP\_WG/DDEPdata.htm

18. T. Kibedi, T.W. Burrows, M.B. Trzhaskovskaya, P.M. Davidson, and C.W. Nestor, Jr. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. 2008. V. A589.P. 202.

19. M. Wang, G. Audi, F.G. Kondev, W.J. Huang, S. Naimi, X. Xu. The AME2016 atomic mass evaluation (II). Tables, graphs and references. Chin. Phys. 2017.V. C41, 030003.

20. M.P. Unterweger, R. Fitzgerald, Update of NIST half-life results corrected for ionization chamber source-holder instability. Appl. Radiat. Isot. 2014. V.87. P.92.

21. A.Inoyatov, D.V. Filosofov, V.M. Gorozhankin, A. Kovalik, N.A. Lebedev, A.V. Lubashevskiy, A.F. Novgorodov, L.L. Perevoshchikov, Ts. Vylov, E.A. Yakushev, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 2007.V.154. P.79.

22. 22Na. In: M.-M. Bé, V. Chisté, C. Dulieu, X. Mougeot, E. Browne, V. Chechev, N. Kuzmenko, F. Kondev, A. Luca, M. Galan, A. Arinc, and X. Huang. *Table of Radionuclides (Vol.5 – A = 22 to 244).* / Sevres: Bureau International des Poids et Mesures, 2010.

23. O. Nähle, K. Kossert, R. Klein, App. Radiat. Isot. 2009. V.66. P.865.

24. M.S. Basunia, Nucl. Data Sheets. 2015. V. 127, P.69.

25. [R.M. Lindstrom](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=R.M.Lindstrom), [M. Blaauw](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=M.Blaauw), [M.P. Unterweger](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=M.P.Unterweger). J. Radioanal. Nucl. Chem. 2005. V.263. P.311.

26. R.B. Firestone. Nucl. Data Sheets. 2007. V.108. P.2319.

27. [J.Chen](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=J.Chen)   Nucl.Data Sheets 140, 1 (2017)

28. [J.Chen](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=J.Chen), [B.Singh](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=B.Singh),   Nucl.Data Sheets 135, 1 (2016)

29. X. Huang, Nuclear Data Sheets. 2006. V.107. P.2131.

30. [D.S. Moreira](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=D.S.Moreira), [M.F. Koskinas](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=M.F.Koskinas), [I.M. Yamazaki](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=I.M.Yamazaki), [M.S. Dias](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=M.S.Dias), *Determination of 51Cr and 241Am X-ray and gamma-ray emission probabilities per decay.* Appl. Radiat. Isot. 2010. V. 68. P.596.

31. 51Cr. In: M.-M. Be, V. Chiste, C. Dulieu, M.A. Kellett, X. Mougeot, A. Arinc, V.P. Chechev, N.K. Kuzmenko, T. Kibedi, A. Luca, A.L. Nichols. *Table of Radionuclides (Vol. 8 - A = 41 to 198)*. Monographie BIPM-5, vol. 8, Bureau International des Poids et Mesures (2016).

32. J. Huo, S. Huo, Nucl. Data Sheets. 2006. V. 107. P.1393.

33. R. Van Ammel, J. Paepen, S. Pommé, G. Sibbens, Appl. Radiat. Isot. 2010. V. 68. P. 2387.

1. [M.A.L.da Silva](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=M.A.da+Silva), [R.Poledna](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=R.Poledna), [A.Iwahara](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=A.Iwahara), [C.J.da Silva](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=C.J.da+Silva), [J.U.Delgado](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=J.U.Delgado), [R.T.Lopes](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=R.T.Lopes). *Standardization and decay data determinations of 125I, 54Mn and 203Hg.* Appl. Radiat. Isot. 2006. V.64. P.1440.

35. J. Huo, S. Huo, Y. Dong, Nucl. Data Sheets. 2011. V.112. P.1513.

36. R. Van Ammel, S. Pommé, G. Sibbens. Appl. Rad. Isotopes. 2006. V. 64. P. 1412.

37. 55Fe. In: M.-M. Bé, V. Chisté, C. Dulieu, E. Browne, V. Chechev, N. Kuzmenko, R. Helmer, F. Kondev, D. MacMahon and K.B. Lee. *Table of Radionuclides (Vol. 3 – A = 3 to 244).* / Sevres: Bureau International des Poids et Mesures, 2006.

38. J. Huo, Nucl. Data Sheets. 2008. V. 109. P. 787.

39. 56Co. In: M. M. Bé, V. Chiste, C. Dulieu, E. Browne, C. Baglin, V. Chechev, N. Kuzmenko, R. Helmer, F. Kondev, D. MacMahon, K.B. Lee. *Table of Radionuclides (Vol. 3 – A =3 to 244).* Bureau International des Poids et Mesures, 2006.

40. P. Dryak, P. Kovar, *Determination of emission probabilities of gamma photons in the decay of 56Co* ,Appl. Radiat. Isot. 2008. V. 66. P.711.

41. Huo Junde, Huo Su, Yang Dong, Nuclear Data Sheets. 2011. V.112. P.1513.

42. [C.J. da Silva](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=C.J.da+Silva), [A. Iwahara](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=A.Iwahara), [D.S. Moreira](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=D.S.Moreira), [J.U. Delgado](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=J.U.Delgado), [R.S. Gomes](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=R.S.Gomes), Appl. Radiat. Isot. 2012.V.70. P.1924.

43. V.P. Chechev, N.K. Kuzmenko, Appl. Radiat. Isot. 2016. V.109. P.139.

44. O. Nähle, K. Kossert, R. Klein, App. Radiat. Isot. 2009. V.66. P.865.

45. C.D. Nesaraja, S.D. Geraedts, B. Singh, Nucl. Data Sheets. 2010. V.111. P. 897.

46. E. Browne, J.K. Tuli, Nucl. Data Sheets. 2013. V.114. P.1849.

47. S.M. Qaim, T. Bisinger, K. Hilgers, D. Nayak, H.H. Coenen, Radiochim. Acta. 2007. V. 95. P.67.

48. B. Singh, Nucl. Data Sheets. 2007. V.108. P.197.

49. B.A. Fallin et al. Physical Review C78. 2008 057301.

50. C. Wanke, K. Kossert, Ole J. Nähle, O. Ott. Appl. Radiat. Isot. 2010. V. 68. No. 7-8. P.1297.

51. 4Cu. In: M.-M. Be, V. Chiste, C. Dulieu, X. Mougeot, V.P. Chechev, N.K. Kuzmenko, F.G. Kondev, A. Luca, M. Galan, A.L. Nichols, A. Arinc, A. Pearce, X. Huang, B. Wang, Table of Radionuclides (Vol. 6 - A = 41 to 242). Monographie BIPM-5, vol. 6, Bureau International des Poids et Mesures (2011).

52. M.-M. Be, P. Cassette, M.C. Lepy, M.-N. Amiot, K. Kossert, O.J. Nahle, O. Ott, C. Wanke, P. Dryak, G. Ratel, M. Sahagia, A. Luca, A. Antohe, L. Johansson, J. Keightley, A. Pearce, Appl. Radiat. Isot. 2012. V.70. P.1894.

53. M. Be, P. Cassette, M.C. Lepy, M.-N. Amiot, K. Kossert, O.J. Nahle, O. Ott, C. Wanke, P. Dryak, G. Ratel, M. Sahagia, A. Luca, A. Antohe, L. Johansson, J. Keightley, A. Pearce, Appl.Radiat.Isot. 2012. V.70. P.1894.

54. A. Luca, M. Sahagia, A. Antohe, Appl. Radiat. Isot. 2012. V. 70. P. 1876.

55. A. Iwahara, M.A.L. da Silva, A.E. Carvalho Filho, E.M. de Oliveira Bernardes, J.U. Delgado, Appl. Radiat. Isot. 2005. V. 63. P. 107.

56. M.-M. Bé, Applied Radiation Isotopes. 2006. V.64. P.1396.

57. K. Kossert, H. Janssen, R. Klein, M. Schneider, H. Schrader, Appl. Radiat. Isot. 2006. V. 64. P. 1420.

58. E. Browne, J.K. Tuli, Nucl. Data Sheets. 2010. V. 111. P. 2425.

59. E.Browne, J.K.Tuli, Nucl.Data Sheets 111, 1093 (2010)

60. G.W.Severin, L.D.Knutson, P.A.Voytas, E.A.George, *Half-life of 66Ga,*

Phys.Rev. C 82, 067301 (2010).

61. Gy.Gyurky, J.Farkas, Z.Halasz, T.Szucs, *Half-life measurement of 66Ga with γ-spectroscopy,* Appl.Radiat.Isot. 70, 278 (2012).

62. C. Bobin, J. Bouchard, C. Hamon, M.G. Iroulart, J. Plagnard, *Standardization of 67Ga using a 4p(LS)b–g anti-coincidence system.* Appl. Radiat. Isot. 2007. V. 65. P. 757.

63. 67Ga. In: M.-M. Be, V. Chiste, C. Dulieu, X. Mougeot, V.P. Chechev, N.K. Kuzmenko, F.G. Kondev, A. Luca, M. Galan, A.L. Nichols, A. Arinc, A. Pearce, X. Huang, B. Wang, Table of Radionuclides (Vol. 6 - A = 41 to 242). Monographie BIPM-5, vol. 6, Bureau International des Poids et Mesures (2011).

64. M.S.Dias, F.Brancaccio, F.Toledo, M.F.Koskinas, Appl. Radiat.Isot. 2014. V. 87. P. 126.

65. 2015XUNDL, XUNDL database, 67Zn, Compiled by J. Chen (NSCL, MSU): March 16, 2015, Edited by B. Singh (McMaster), march 16, 2015. URL: https://www.nndc.bnl.gov/ensdf/DatasetFetchServlet

66. R. Raut, A.S. Crowell, B. Fallin, C.R. Howell, C. Huibregtse, J.H. Kelley, T. Kawano, E. Kwan, G. Rusev, A.P. Tonchev, W. Tornow, D.J. Vieira, J.B. Wilhelmy, Phys. Rev. 2011. V. C 83, 044621.

67. A. Luca, M. Sahagia, A. Antohe, Appl. Radiat. Isot. 2012. V.70. P.1876.

68. E.A. McCutchan, Nucl. Data Sheets. 2012. V. 113. P.1735.

69. 68Ga. In: M.-M. Be, V. Chiste, C. Dulieu, X. Mougeot, V.P. Chechev, F.G. Kondev, A.L. Nichols, X. Huang, B. Wang, Table of Radionuclides (Vol. 7 - A = 14 to 245). Monographie BIPM-5, vol.7, Bureau International des Poids et Mesures (2013).

70. E. Garcia-Torano, V. Peyres Medina, E. Romero, M. Roteta, Appl. Radiat. Isot. 2014. V. 87. P. 122.

71. M.F. Koskinas, F.W. Lacerda, I.T. Matos, T.S. Nascimento, I.M. Yamazaki, M.N. Takeda, M.S. Dias, Appl. Radiat. Isot. 2014. V. 87. P. 118.

72. X.-L. Huang, L.-Y. Jiang, X.-J. Chen, G.-C. Chen, Chin. Phys. 2014. V. C 38, 044001.

73. S. Akkoyun, T. Bayram, F. Dulger, H. Dapo, I. Boztosun, Int. J. Mod. Phys. 2016. V. E25, 1650045.

74. A.Negret, B.Singh, Nucl.Data Sheets 114, 841 (2013)

75. B.Singh, J.Chen, Nucl.Data Sheets 116, 1 (2014)

76. M.N. Amiot, J. Bouchard, M.-M. Bé, J.B. Adamo, Appl. Rad. Isotop. 2005. V. 62. P.11.

77. [E.A. McCutchan](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=E.A.McCutchan), [A.A. Sonzogni](http://www.nndc.bnl.gov/nsr/fastsrch_act2.jsp?aname=A.A.Sonzogni), Nucl. Data Sheets. 2014.V.115. P.135.

78. C.M. Baglin, Nucl. Data Sheets. 2011. V. 112. P.1163.

79. E. Browne, J.K. Tul, Nucl. Data Sheets. 2011. V. 112. P.275.

80. E. Browne, J.K. Tuli, Nucl. Data Sheets. 2017. V.145. P.25.

81. I.M.Yamazaki, M.F.Koskinas, D.S.Moreira, M.N.Takeda, M.S.Dias, Appl.Radiat.Isot. 2018. V.134. P.312.