

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА
СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ
(ГСССД)

УДК 539. 163

ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

РАДИОНУКЛИДЫ – ПРОДУКТЫ НЕЙТРОННЫХ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ
РЕАКЦИЙ ^{47}Sc , ^{48}Sc , ^{57}Ni , ^{67}Cu , ^{74}As , ^{126}I , ^{132}Te , ^{167}Tm , ^{196}Au . ЭНЕРГИЯ,
АБСОЛЮТНАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ ЭМИССИИ ГАММА - ИЗЛУЧЕНИЯ И
ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА

ГСССД 333 – 2017

(ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ, тема [RU.3.012-2018](#))

РАЗРАБОТАНЫ ФГУП «ВНИИМС» с участием специалистов АО Радиевого института им. В. Г. Хлопина док. физ. – мат. наук В. П. Чечевым

ОДОБРЕНЫ экспертной комиссией в составе:

д-ра физ. - мат. наук И. А. Митропольского, канд. физ. - мат. наук А. К. Власникова, канд. физ. - мат. наук Б. Б. Дьякова, канд. техн. наук Ю. В. Мамонов

ПОДГОТОВЛЕНЫ к утверждению Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологической службы (ФГУП «ВНИИМС»)

УТВЕРЖДЕНЫ Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии «31» октября 2017 г. (протокол № 98-пр)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА
СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

Таблицы стандартных справочных данных

Радионуклиды — продукты нейтронных дозиметрических реакций ^{47}Sc , ^{48}Sc , ^{57}Ni , ^{67}Cu , ^{74}As , ^{126}I , ^{132}Te , ^{167}Tm , ^{196}Au . Энергия, абсолютная вероятность эмиссии гамма - излучения и период полураспада

**ГСССД
333 — 2017**

Tables of Standard Reference Data

Radionuclides ^{47}Sc , ^{48}Sc , ^{57}Ni , ^{67}Cu , ^{74}As , ^{126}I , ^{132}Te , ^{167}Tm , ^{196}Au . Energy, absolute emission probability of gamma rays and half-life

**GSSSD
333—2017**

Таблицы стандартных справочных данных ГСССД 333 – 2017. Радионуклиды – продукты нейтронных дозиметрических реакций ^{47}Sc , ^{48}Sc , ^{57}Ni , ^{67}Cu , ^{74}As , ^{126}I , ^{132}Te , ^{167}Tm , ^{196}Au . Энергия, абсолютная вероятность эмиссии гамма - излучения и период полураспада / Чечев В. П.; Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы. М., 2017. -17с. Библиогр. 37 назв. – Рус. – 2 назв. Депонированы в ФГУП «ВНИИМС», 31.10.2017 г, № 102-2017 кк.

Настоящие таблицы стандартных справочных данных (ССД) разработаны с целью обеспечения потребностей предприятий и организаций атомной отрасли России более достоверными данными для нейтронной реакторной дозиметрии. Они содержат оценённые значения энергии, абсолютной вероятности эмиссии гамма- излучения и периода полураспада радионуклидов – продуктов нейтронных дозиметрических реакций ^{47}Sc , ^{48}Sc , ^{57}Ni , ^{67}Cu , ^{74}As , ^{126}I , ^{132}Te , ^{167}Tm , ^{196}Au .

Одним из важных требований Федеральной программы по развитию ядерно-энергетического комплекса России является создание для различных типов российских реакторов надёжного нейтронно-дозиметрического сопровождения. Составным элементом последнего служат достоверные данные по калибровочным (дозиметрическим) нейтронным реакциям, знание сечений которых необходимо для определения нейтронных потоков в активной зоне реакторов. В свою очередь, нейтронные реакции исследуются по выходам в них радионуклидов, распад которых сопровождается излучениями с хорошо известными параметрами. Отсюда ясно, насколько важно иметь современные оценённые (рекомендуемые) распадные данные для радионуклидов – продуктов нейтронных дозиметрических реакций. К сожалению, справочные распадные данные, включённые в файл МАГАТЭ по нейтронной реакторной дозиметрии (International Dosimetry Library for Fission and Fusion (IRDFF)), для ряда

нуклидов устарели и требуют переоценки. Анализ, основанный на рассмотрении информации, опубликованной за последние годы (2008-2016), показывает, что из ~90 радионуклидов – продуктов нейтронных дозиметрических реакций в первую очередь переоценка необходима для распадных данных ^{47}Sc , ^{48}Sc , ^{57}Ni , ^{67}Cu , ^{74}As , ^{126}I , ^{132}Te , ^{167}Tm , ^{196}Au . Настоящие таблицы для указанных 9 радионуклидов содержат рекомендуемые значения основных ядерно-физических характеристик, используемых в реакторной дозиметрии.

Автор:  В. П. Чечев

Содержание

1. Энергия гамма-излучения	8
2. Абсолютная вероятность эмиссии гамма-излучения	9
3. Коэффициенты внутренней конверсии	9
4. Период полураспада	9
5. Источники получения рекомендуемых значений	4
6. Стандартные справочные данные	11
7. Список литературы	15

Настоящие таблицы стандартных справочных данных (ССД) разработаны с целью обеспечения потребностей предприятий и организаций атомной отрасли России более достоверными данными для нейтронной реакторной дозиметрии. Они содержат оценённые значения энергии, абсолютной вероятности эмиссии гамма-излучения и периода полураспада радионуклидов – продуктов нейтронных дозиметрических реакций ^{47}Sc , ^{48}Sc , ^{57}Ni , ^{67}Cu , ^{74}As , ^{126}I , ^{132}Te , ^{167}Tm , ^{196}Au .

Одним из важных требований Федеральной программы по развитию ядерно-энергетического комплекса России является создание для различных типов российских реакторов надёжного нейтронно-дозиметрического сопровождения. Составным элементом последнего служат достоверные данные по калибровочным (дозиметрическим) нейтронным реакциям, знание сечений которых необходимо для определения нейтронных потоков в активной зоне реакторов. В свою очередь, нейтронные реакции исследуются по выходам в них радионуклидов, распад которых сопровождается излучениями с хорошо известными параметрами. Отсюда ясно, насколько важно иметь современные оценённые (рекомендуемые) распадные данные для радионуклидов – продуктов нейтронных дозиметрических реакций. К сожалению, справочные распадные данные, включённые в файл МАГАТЭ по нейтронной реакторной дозиметрии (International Dosimetry Library for Fission and Fusion (IRDFF) [1]), для ряда нуклидов устарели и требуют переоценки. Анализ, основанный на рассмотрении информации, опубликованной за последние годы (2008-2016), показывает, что из ~90 радионуклидов – продуктов нейтронных дозиметрических реакций, в первую очередь, переоценка необходима для распадных данных ^{47}Sc , ^{48}Sc , ^{57}Ni , ^{67}Cu , ^{74}As , ^{126}I , ^{132}Te , ^{167}Tm , ^{196}Au . Настоящие таблицы для указанных 9 радионуклидов содержат рекомендуемые значения основных ядерно-физических характеристик, используемых в реакторной дозиметрии.

Представленные в таблицах оценённые значения энергии, абсолютной вероятности эмиссии гамма-излучения и периода полураспада радионуклидов

– продуктов нейтронных дозиметрических реакций ^{47}Sc , ^{48}Sc , ^{57}Ni , ^{67}Cu , ^{74}As , ^{126}I , ^{132}Te , ^{167}Tm , ^{196}Au получены с использованием аттестованных методик оценки ядерных распадных данных ГСССД МО 130-2007 [2] и ГСССД МО 153-2009 [3] и также методологии, развитой рабочей группой международной коллаборации DDEP (Decay Data Evaluation Project) [4]. В частности, для усреднения данных использована компьютерная программа LWEIGHT, включающая метод ограничения относительного статистического веса входных величин [5]. Коэффициенты внутренней конверсии и их погрешности, необходимые для получения абсолютной интенсивности гамма – излучения, интерполированы из новых таблиц теоретических расчётов 2008 года [6].

В обновлённых оценках периодов полураспада и интенсивностей излучений учтены экспериментальные данные, опубликованные вплоть до 2016 года. Кроме того, в связи с проблемой, обнаруженной в Национальном институте стандартов США (NIST) в методе калибровки их ионизационной камеры, новые (исправленные в 2014 году) результаты измерений периодов полураспада в NIST [7] введены в используемые для оценки наборы экспериментальных 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 $P=0,95$ (2σ). В этом случае погрешности ССД, приведённые в таблицах, следует увеличить вдвое.

Ниже для ядерно-физических характеристик (ЯФХ), включённых в таблицы ССД или используемых при их разработке, приведены основные черты процедуры оценки их значений.

1. Энергия гамма-излучения

При оценке значений *энергии гамма-излучения* (E_γ) в качестве исходной энергетической нормали принята гамма-линия с энергией $411,80205 \pm 0,00017$ кэВ (^{198}Au) [8]. Значения E_γ 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 (P_γ) дана в процентах от числа распадов радионуклида, т.е. представляет собой число γ -квантов данной энергии на 100 распадов. Большинство значений P_γ 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. Перечень гамма-лучей, представленных в таблицах для каждого радионуклида, ограничен наиболее интенсивным излучением.

3. Коэффициенты внутренней конверсии

Коэффициенты внутренней конверсии (KBK) используются в расчётах абсолютной вероятности эмиссии гамма-излучения. Теоретические значения KBK получены с использованием программы BrIcc v.2.3S, помещённой на сайте NNDC BNL [9], для набора данных BrIccFO (расчёт по модели с т.н. «замороженной орбиталью» [6]).

4. Период полураспада

Периоды полураспада ($T_{1/2}$) рассмотренных радионуклидов оценены посредством статистической обработки конкретных экспериментальных данных. Технология оценки представлена в [2, 3, 10]. Период полураспада для каждого нуклида дан в часах или сутках.

5. Источники получения рекомендуемых значений

Для нуклидов ^{47}Sc , ^{57}Ni и ^{132}Te , базовым источником получения рекомендуемых значений явились оценённые данные упомянутой выше международной коллаборации DDEP [10]. Для остальных шести радионуклидов (^{48}Sc , ^{67}Cu , ^{74}As , ^{126}I , ^{167}Tm , ^{196}Au) нет опубликованных оценок DDEP. Поэтому оценённые значения ЯФХ распада перечисленных 6 радионуклидов получены в настоящем отчёте на основе методологии DDEP [11, 12], с учётом всей

совокупности экспериментальной и теоретической информации, имеющейся для этих нуклидов к 2016 г. Подробные ссылки на эту информацию по каждому радионуклиду можно найти в отчёте АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» [13] и также в библиотеках ядерных данных XUNDL и ENSDF, размещённых на сайте Национального центра ядерных данных США (NNDC) [14]. Основные экспериментальные данные по периодам полураспада ($T_{1/2}$), энергиям (E_γ) и вероятностям эмиссии (P_γ) гамма-излучения опубликованы для ^{47}Sc – в [16, 17], для ^{48}Sc – в [18-20], для ^{57}Ni – в [21-23], для ^{67}Cu – в [24, 25], для ^{74}As – в [26, 27], для ^{126}I – в [28], для ^{132}Te – в [29, 30], для ^{167}Tm – в [31, 32] и для ^{196}Au – в [33-36].

Важным источником получения многих рекомендуемых значений ЯФХ, представленных в проекте таблиц ССД, являются две недавно опубликованные работы, результаты которых приводят к необходимости обновления полученных ранее оценённых значений ЯФХ. Это новые данные по атомным массам и энергиям распада (Q) [37] и новая версия вычисления теоретических коэффициентов электронной конверсии [6]. Первая работа даёт обновлённые значения Q , что приводит к соответствующим изменениям в значениях энергий ядерных переходов, а вторая работа позволяет уточнить теоретические коэффициенты внутренней конверсии, используемые при оценке данных распада.

Методика получения рекомендуемых значений ЯФХ распада радионуклидов при разработке настоящего проекта таблиц ССД включала следующие стадии:

- сбор, анализ и отбор экспериментальных данных;
- статистическая обработка данных;
- определение оценённого значения и его погрешности;
- расчет балансовых соотношений схемы распада с новыми оценёнными данными и построение схемы распада;
- проверка внутренней согласованности оценённых значений ЯФХ для принятой схемы распада радионуклида.

6. СТАНДАРТНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

РАДИОНУКЛИДЫ ^{47}Sc , ^{48}Sc , ^{57}Ni , ^{67}Cu , ^{74}As , ^{126}I , ^{132}Te , ^{167}Tm , ^{196}Au .

ЭНЕРГИЯ, АБСОЛЮТНАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ ЭМИССИИ ГАММА-
ИЗЛУЧЕНИЯ И ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА

^{47}Sc $T_{1/2} = 3,3485 (9)$ суток		
Вид излучения	Энергия $E (\Delta E)$, кэВ	Вероятность эмиссии $P (\Delta P)$, % от числа распадов
γ	159,371 (12)	68,3 (5)

^{48}Sc $T_{1/2} = 43,70 (9)$ часов		
Вид излучения	Энергия $E (\Delta E)$, кэВ	Вероятность эмиссии $P (\Delta P)$, % от числа распадов
γ	175,36 (18)	7,48 (9)
γ	983,5390 (24)	99,98739 (18)
γ	1037,539 (14)	97,6 (7)
γ	1212,886 (13)	2,38 (4)
γ	1312,096 (6)	99,98717 (15)

^{57}Ni $T_{1/2} = 35,67 (13)$ часов		
Вид излучения	Энергия $E (\Delta E)$, кэВ	Вероятность эмиссии $P (\Delta P)$, % от числа распадов
γ	127,164 (3)	16,0 (5)
γ_{\pm}	511	86,8 (12)
γ	1377,64 (4)	81,2 (6)
γ	1757,58 (3)	6,1 (4)
γ	1919,65 (14)	12,5 (5)

^{67}Cu $T_{1/2} = 61,86 (7)$ часов		
Вид излучения	Энергия $E (\Delta E)$, кэВ	Вероятность эмиссии $P (\Delta P)$, % от числа распадов
γ	91,267 (8)	6,31 (9)
γ	93,312 (5)	14,8 (2)
γ	184,579 (6)	44,2 (6)
γ	208,952 (9)	0,107 (3)
γ	300,219 (9)	0,733 (22)
γ	393,531 (7)	0,198 (7)

^{74}As $T_{1/2} = 17,77 (5)$ суток		
Вид излучения	Энергия $E (\Delta E)$, кэВ	Вероятность эмиссии $P (\Delta P)$, % от числа распадов
γ^{\pm}	511	59 (4)
γ	595,847 (6)	60 (4)
γ	608,352 (9)	0,58 (4)
γ	634,74 (6)	15,2 (10)
γ	1204,195 (7)	0,28 (1)

^{126}I $T_{1/2} = 12,93 (11)$ суток		
Вид излучения	Энергия $E(\Delta E)$, кэВ	Вероятность эмиссии $P(\Delta P)$, % от числа распадов
γ	388,631 (9)	35,6 (5)
γ	491,240 (13)	2,88 (4)
γ^{\pm}	511	1,94 (6)
γ	666,350 (10)	32,9 (7)
γ	753,827 (16)	4,15 (9)
γ	879,868 (10)	0,74 (2)
γ	1420,172 (13)	0,30 (1)

^{132}Te $T_{1/2} = 3,230 (20)$ суток		
Вид излучения	Энергия $E(\Delta E)$, кэВ	Вероятность эмиссии $P(\Delta P)$, % от числа распадов
γ	49,72 (1)	15,1 (2)
γ	111,80 (7)	1,88 (8)
γ	116,34 (9)	1,96 (7)
γ	228,14 (6)	88,1 (16)

^{167}Tm $T_{1/2} = 9,25 (2)$ суток		
Вид излучения	Энергия $E (\Delta E)$, кэВ	Вероятность эмиссии $P (\Delta P)$, % от числа распадов
γ	57,073 (8)	4,9 (8)
γ	207,801 (5)	41 (3)
γ	531,54 (4)	1,69 (10)

^{196}Au $T_{1/2} = 6,156 (11)$ суток		
Вид излучения	Энергия $E (\Delta E)$, кэВ	Вероятность эмиссии $P (\Delta P)$, % от числа распадов
γ	326,351 (7)	0,050 (11)
γ	333,009 (5)	22,9 (10)
γ	355,6841 (20)	87 (3)
γ	425,98 (10)	6,6 (3)
γ	521,180 (7)	0,389 (9)
γ	1091,356 (7)	0,149 (6)

7. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V.P. Chechev. *Problem of Improving IRDFF Decay Library: List of Radionuclides, Status of the Available Evaluated Decay Data, Needs for New (Updated) Evaluations*. In: Summary Report of the 1st RCM CRP F41031. Prepared by A. Trkov, L.R. Greenwood, S.P. Simakov. – INDC(NDS)-0639, IAEA, Vienna, September 2013. P. 53-56.
2. В.П. Чечев. *Методы получения оценённых значений ядерно-физических характеристик радиоактивных нуклидов*. // ГСССД МО 130-2007. - М.: 2007.
3. В.П. Чечев. *Методы контроля согласованности наборов рекомендуемых данных для характеристик распада радиоактивных нуклидов* // ГСССД МО 153-2009. - М.: 2009.
4. 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.
5. Browne E. Limitation of Relative Statistical Weights, a method for evaluating discrepant data // INDC(NDS)-363, IAEA, March 1998. MacMahon T.D. and Browne E. LWIGHT, a computer program to calculate averages, Version 1.3. March 2000.
6. T. Kibedi, T.W. Burrows, M.B. Trzhaskovskaya, P.M. Davidson, and C.W. Nestor, Jr, *Evaluation of theoretical conversion coefficients using BrIcc*. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A589 (2008) 202.
7. M.P. Unterweger, R. Fitzgerald, Appl. Radiat. Isot. 87(2014) 92.
8. J.A. Bearden. *X-Ray Wavelengths*. / Rev. Mod. Phys. 1967. V. 39. P. 78.
9. BrIcc Program Package v. 2.3S. *Nuclear Structure and Decay Tools*, National Nuclear Data Center (NNDC), New York: Brookhaven National Laboratory. URL: <http://www.nndc.bnl.gov>
10. *Recommended Data by the Decay Data Evaluation Project working group*. / URL: http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm.

11. Bé M.-M., Chechev V.P. Recommended standards for gamma ray intensities. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. 2013. № A728. P. 157.
12. Bé M.-M., Chechev V.P. and Pearce A. Uncertainties in nuclear decay data evaluations. // Metrologia. 2015. 52. P. S66.
13. Верификационный отчёт АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», инв. № 4117-И, 2016.
14. XUNDL-2016, Experimental Unevaluated Nuclear Data List (XUNDL), NNDC, Brookhaven National Laboratory, USA. / URL: <http://www.nndc.bnl.gov>
15. ENSDF-2016, Evaluated Nuclear Structure Data File (ENSDF), NNDC, Brookhaven National Laboratory, USA. / URL: <http://www.nndc.bnl.gov>
16. D. Reher, H.H. Hansen, R. Vaninbroukx, M.J. Woods, C.E. Grant, S.E.M. Lucas, J. Bouchard, J. Morel, R. Vatin, Int. J. Appl. Radiat. Isot. 37(1986) 973 .
17. T.W. Burrows, Nucl. Data Sheets 108 (2007) 923 [E γ , P γ ^{47}Sc].
18. H. Ravn, J. Inorg. Nucl. Chem. 31 (1969) 1883 [T $_{1/2}$ ^{48}Sc].
19. R.A. Meyer, Fizika (Zagreb) 22 (1990) 153 [E γ , P γ ^{48}Sc].
20. T.W. Burrows, Nucl. Data Sheets 107 (2006) 1747 [E γ , P γ ^{48}Sc].
21. A. Grutter, Int. J. Appl. Radiat. Isotop. 33 (1982) 533 [T $_{1/2}$ ^{57}Ni].
22. J.K. Dickens, J. Radioanal. Nucl. Chem. 103 (1986) 273 [T $_{1/2}$ ^{57}Ni].
23. A.M.S. Scardino, O. Helene, P.R. Pascholati, V.R. Vanin, Z. Phys. A336 (1990) 313 [E γ , P γ ^{57}Ni].
24. J. Kozempel, A. Bulgheroni, F. Simonelli, U. Holzwarth, K. Abbas, N. Gibson, Radiochim. Acta 99, 771 (2011) [T $_{1/2}$ ^{67}Cu].
25. J. Chen, F.G. Kondev, I. Ahmad, M.P. Carpenter, J.P. Greene, R.V.F. Janssens, S. Zhu, D. Ehst, V. Makarashvili, D. Rotsch, N.A. Smith, Phys. Rev. C 92, 044330 (2015) [E γ , P γ ^{67}Cu].
26. Gy. Gyurky, J. Farkas, C. Yalcin, G.G. Kiss, Z. Elekes, Zs. Fulop, E. Somorjai, Europhys. Lett. 83, 42001 (2008) [T $_{1/2}$ ^{74}As].
27. S. Shuifa, Li Yan, Gu Jiahui, Nuclear Techniques 29 (2006) No.7 [E γ , P γ ^{74}As].
28. K.A. Fonseca, M.F. Koskinas, M.S. Dias, Appl. Radiat. Isot. 49 (1998) 1373 [T $_{1/2}$, E γ , P γ ^{126}I].

29. K.F. Walz, K. Debertin, H. Schrader. Int. J. Appl. Radiat. Isotop. 34 (1983) 1191 [T_{1/2} ¹³²Te].
30. A.A. Yousif, W.D. Hamilton, E. Michelakakis. J. Phys. G. Nucl. Phys. 7 (1981) 445 [E_γ, P_γ ¹³²Te].
31. P.J. Karol, J. Inorg. Nucl. Chem. 32 (1970) 2817 [T_{1/2} ¹⁶⁷Tm].
32. B. Champine, M.E. Gooden, Krishichayan, E.B. Norman, N.D. Scielzo, M.A. Stoyer, K.J. Thomas, A.P. Tonchev, W. Tornow, B.S. Wang, Phys.Rev. C 93, 014611 (2016) [E_γ, P_γ ¹⁶⁷Tm].
33. K. Lindenberg, F. Neumann, D. Galaviz, T. Hartmann, P. Mohr, K. Vogt, S. Volz, A. Zilges, Phys.Rev. C63, 047307 (2001) [T_{1/2} ¹⁹⁶Au].
34. A. Gamucci, N. Bourgeois, T. Ceccotti, S. Dobosz, P. D'Oliveira, M. Galimberti, J. Galy, A. Giulietti, D. Giulietti, L. Gizzi, D. Hamilton, L. Labate, J.-R. Marquès, P. Monot, H. Popescu, F. Réau, G. Sarri, P. Tomassini, and P.Martin, IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 36, No. 4, August 2008, 1699 [T_{1/2} ¹⁹⁶Au].
35. K. Hirose, H. Kikunaga, T. Ohtsuki, Radiochim. Acta Supp 1, Proc. in Radiochemistry 109 (2011) [T_{1/2} ¹⁹⁶Au].
36. J.F.W. Jansen, H. Pauw, Nucl.Phys. A94 (1967) 235 [E_γ, P_γ ¹⁹⁶Au].
37. M. Wang, G. Audi, A.H. Wapstra, F.G. Kondev, M. MacCormick, X. Xu, B. Pfeiffer. The AME2012 atomic mass evaluation (II). Tables, graphs and references. Chin. Phys. 2012. V. C36. P. 1603.