ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА, 2019, том 82, № 1, с. 3–10

ЯДРА

^{96g}Tc — АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ГАММА-ИЗЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

© 2019 г. Г. О. Оганесян[1)*], А. С. Данагулян[1)], Т. М. Бахшиян[2)]

Поступила в редакцию 16.07.2018 г.; после доработки 18.07.2018 г.; принята к публикации 18.07.2018 г.

Рассмотрена возможность использования изотопа ^{96g}Tc в качестве γ-излучателя в медицинской диагностике. Проведены расчеты с использованием кода TALYS-1.9, согласно которым при облучении мишени ^{96}Mo протонами с энергией $E = 12 \to 6$ МэВ и при токе 100 мкА за 6 (8) ч облучения можно получить 20 (26) ГБк изотопа ^{96g}Tc. При регистрации γ-квантов в энергетическом диапазоне 770–850 кэВ интенсивность γ-излучения ^{96g}Tc близка к интенсивности ^{99m}Tc, полученного в ^{100}Mo(p,n)-реакции, и ^{96g}Tc может быть использован как альтернативный γ-излучатель.

DOI: 10.1134/S0044002719010100

ВВЕДЕНИЕ

В современной однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) используют определенное ограниченное число радионуклидов. Критерии выбора радионуклида обусловлены как биологическими, так и технологическими факторами.

Наиболее часто используемым в диагностических целях является изотоп ^{99m}Tc. До последнего времени источниками больших количеств ^{99m}Tc были реакторы (^{99}Mo/^{99m}Tc-генератор). На сегодняшний день актуальны методы получения ^{99m}Tc на компактных циклотронах в реакции ^{100}Mo$(p,2n)^{99m}$Tc [1–5]. Разработаны и продолжают разрабатываться [6, 7] радиофармпрепараты, меченные ^{99m}Tc, предназначенные для различных диагностических исследований. Использование в тех же фармпрепаратах других изотопов технеция может иметь определенные преимущества. Альтернативными γ-трейсерами могут быть изотопы ^{95g}Tc и ^{96g}Tc [8]. Получение этих изотопов на компактных медицинских циклотронах посредством осуществления реакций ^{95}Mo$(p,n)^{95g}$Tc и ^{96}Mo$(p,n)^{96g}$Tc может быть экономически выгодным, поскольку распространенность изотопов ^{95}Mo (15.92%) и ^{96}Mo (16.68%) в природе почти вдвое превосходит распространенность изотопа ^{100}Mo (9.63%). Большой период полураспада ^{95g}Tc ($T_{1/2} = 20$ ч) и ^{96g}Tc ($T_{1/2} = 4.28$ сут) позволит транспортировку радиофармпрепаратов, меченных этими радиоизотопами, в отдаленные пункты назначения.

Другая особенность изотопов ^{95g}Tc и ^{96g}Tc в том, что испускаемые ими γ-кванты имеют большую энергию (700–900 кэВ) по сравнению с ^{99m}Tc (141 кэВ). Проникающая способность γ-квантов с указанными энергиями при прохождении слоя воды толщиной 10 см различается в 2 раза [8]. Излучатели γ-квантов высоких энергий могут быть удобны для визуализации глубоко расположенных органов. Используемые в ОФЭКТ сцинтилляционные детекторы с большой эффективностью регистрируют γ-кванты с энергиями 150–400 кэВ, что ограничивает возможность использования излучателей с большей энергией. Однако регистрация γ-квантов с большими энергиями возможна при визуализации с использованием модулей ETCC (electron-tracking Compton camera), состоящих из камер, регистрирующих комптоновские электроны отдачи [9]. Преимуществами этих модулей являются компактность и отсутствие коллиматоров.

В облученных мишенях ^{95}Mo и ^{96}Mo всегда присутствуют метастабильные изомерные состояния ^{95m}Tc ($T_{1/2} = 61$ сут) и ^{96m}Tc ($T_{1/2} = 51.1$ мин). С точки зрения обеспечения радиоизотопной чистоты образца осуществление ^{96}Mo$(p,n)^{96}$Tc-реакции кажется более целесообразным, поскольку ^{96m}Tc с периодом полураспада 51.1 мин распадается в ^{96g}Tc (98%).

В настоящей работе рассматривается целесообразность получения ^{96g}Tc на циклотроне с максимальной энергией протонов 18 МэВ.

[1)]Ереванский государственный университет, Армения.
[2)]Национальный аграрный университет Армении, Ереван.
[*]E-mail: hov_gohar@ysu.am

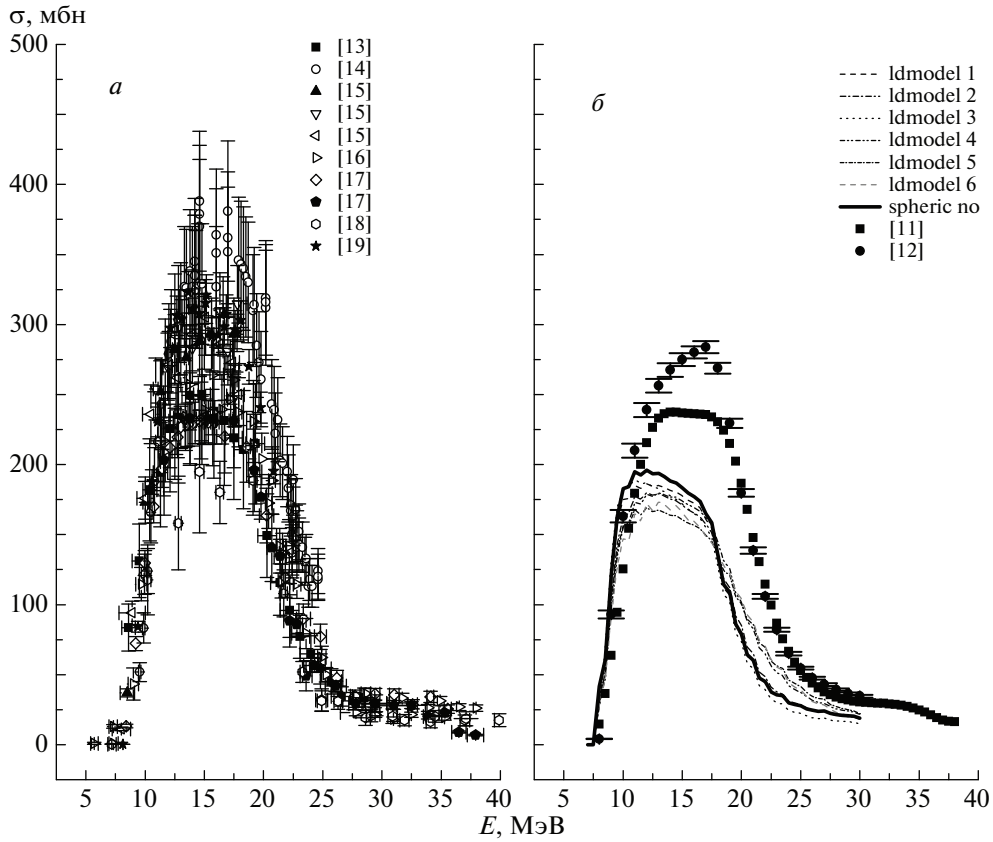

Рис. 1. Функции возбуждения для реакции ^{100}Mo$(p,2n)^{99m}$Tc, полученные экспериментально (a), с использованием различных моделей кода TALYS-1.9 и рекомендуемые в работах [11, 12] ($б$).

РЕАКЦИЯ ^{100}Mo$(p,2n)^{99m}$Tc

Для сравнения выходов реакции ^{96}Mo$(p,n)^{96g}$Tc с выходом реакции ^{100}Mo$(p,2n)^{99m}$Tc нами проведены расчеты с использованием кода TALYS-1.9. Код включает в себя различные модели (оптическая, прямых реакций, предравновесных реакций, составного ядра и др.) и позволяет анализировать различные аспекты ядерных реакций. Помимо сечений реакций код, начиная с версии 1.6, дает возможность рассчитывать при определенных условиях облучения активность, выход и количество ядер интересующего изотопа в зависимости от времени бомбардировки [10].

Таблица 1. Реакции, приводящие к прямому и косвенному образованию ^{99m}Tc в мишени ^{100}Mo, и их пороги

Реакция	Порог, МэВ
^{100}Mo$(p,2n)^{99m}$Tc	7.79
^{100}Mo$(p,pn)^{99}$Mo $\to$ ^{99m}Tc	8.38
^{100}Mo$(p,2p)^{99}$Nb $\to$ ^{99}Mo $\to$ ^{99m}Tc	11.26

На рис. 1a приведена зависимость сечения реакции ^{100}Mo$(p,2n)^{99m}$Tc от энергии налетающего протона. При построении зависимости использо-

Таблица 2. Пороги реакций на мишени ^{100}Mo и периоды полураспада продуктов

Реакция	$T_{1/2}$ продукта	Порог реакции, МэВ
^{100}Mo$(p,pn)^{99}$Mo	65.94 ч	8.38
^{100}Mo$(p,\gamma)^{101}$Tc	14.22 мин	0
^{100}Mo$(p,n)^{100}$Tc	15 с	0.96
^{100}Mo$(p,2n)^{99m}$Tc	6.01 ч	7.79
^{100}Mo$(p,2n)^{99g}$Tc	2.11×10^5 г	
^{100}Mo$(p,3n)^{98}$Tc	4.2×10^6 г	16.85
^{100}Mo$(p,\alpha)^{97m}$Nb	52.7 с	0
^{100}Mo$(p,\alpha)^{97g}$Nb	72.1 мин	
^{100}Mo$(p,2p)^{99m}$Nb	2.6 мин	11.26
^{100}Mo$(p,2p)^{99g}$Nb	15 с	

Таблица 3. Выход изотопа ^{99m}Tc

Энергия протона	Выход, МБк/мкА								
	TALYS-1.9 $A^{\text{EOB}}_{m_{\text{Tc}}} + A^{\text{EOB}}_{\text{Mo}\to m_{\text{Tc}}}$			[11]			[15]		
	t, ч								
	1	3	6	1	3	6	1	3	6
$E = 16 \to 10$ МэВ	234	563	805	324	–	1488	359	964	1646

ваны все доступные экспериментальные данные. Одной из причин большого разброса в значениях сечений является тот факт, что при облучении мишени ^{100}Mo изотоп ^{99m}Tc образуется по трем каналам: ^{100}Mo$(p,2n)^{99m}$Tc, ^{100}Mo$(p,pn)^{99}$Mo $\to$ $\to$ ^{99m}Tc, ^{100}Mo$(p,2p)^{99}$Nb $\to$ ^{99}Mo $\to$ ^{99m}Tc (пороги реакций приведены в табл. 1). Определение сечения реакции прямого производства ^{99m}Tc связано с определенными трудностями, и вклады косвенных каналов не всегда учитываются авторами. В работах [11, 12] проведен анализ причины разрозненности имеющихся в литературе данных, на основе которого приводятся рекомендуемые значения сечений прямого образования ^{99m}Tc в реакции ^{100}Mo$(p,2n)$.

На рис. 1*б* приведены функции возбуждения реакции ^{100}Mo$(p,2n)^{99m}$Tc, полученные на основе расчетов с использованием кода TALYS-1.9, а также данные из [11, 12]. Рекомендуемые в [11] и [12] значения и рассчитанные с использованием кода TALYS-1.9 значительно отличаются друг от друга. Код TALYS позволяет менять определенные потенциалы и модели при расчете. Мы провели расчеты с использованием шести различных моделей для ядерных уровней, а также модели несферического оптического потенциала [10]. Использование несферического оптического потенциала позволило ненамного увеличить сечения на максимуме распределения и уменьшило различие с данными работ [11] и [12] до 52 и 31% соответственно при энергии налетающего протона 16 МэВ. Различия расчетных и рекомендованных в [11] и [12] данных значительны, и следует ожидать, что выход радиоизотопа ^{99m}Tc, рассчитанный с использованием кода TALYS-1.9, будет ниже экспериментального.

На рис. 2 приведена зависимость сечений реакции ^{100}Mo$(p,pn)^{99}$Mo от энергии налетающего протона. Как можно заметить, расчетные и экспериментальные данные качественно совпадают, однако расчетная кривая несколько смещена вправо и в результате при интересующих нас энергиях ($E_p < 18$ МэВ) расчетные значения значительно меньше экспериментальных.

Для расчета при помощи кода TALYS-1.9 активности выхода получаемого при облучении мишени ^{100}Mo изотопа ^{99m}Tc необходимо выбрать условия облучения. Исходя из порогов реакций (p,n), $(p,2n)$, $(p,3n)$, (p,pn), $(p,2p)$, (p,α) (пороги этих реакций приведены в табл. 2) и их функций возбуждения (рис. 3) видно, что облучение мишени протонами с начальной энергией $E \leqslant 16.85$ МэВ обеспечивает максимальную радиоизотопную чистоту получаемого ^{99m}Tc.

В табл. 3 приведены выходы изотопа ^{99m}Tc, полученные нами при расчетах по коду TALYS-1.9, и данные из работ [11] и [15]. За время облучения активность ^{99m}Tc [Бк], образованного путем распада ^{99}Mo $\to$ ^{99m}Tc, нами рассчитывалась по формуле

$$A^{\text{EOB}}_{m\text{Tc}} = g\frac{A^{\text{EOB}}_{\text{Mo}}}{(1-e^{-\lambda_{\text{Mo}}t_b})}\times \tag{1}$$

$$\times\left(1-\frac{\lambda_{m\text{Tc}}}{\lambda_{m\text{Tc}}-\lambda_{\text{Mo}}}e^{-\lambda_{\text{Mo}}t_b}+\frac{\lambda_{\text{Mo}}}{\lambda_{m\text{Tc}}-\lambda_{\text{Mo}}}e^{-\lambda_{m\text{Tc}}t_b}\right),$$

где g — вероятность перехода ^{99}Mo $\to$ ^{99m}Tc ($g = 0.876$), $A^{\text{EOB}}_{\text{Mo}}$ — активность Mo в момент окончания облучения, t_b — время облучения, $\lambda_{m\text{Tc}}$ и λ_{Mo} — константы распада ^{99m}Tc и ^{99}Mo соответственно [15, 20].

Согласно расчетам, вклад канала ^{99}Mo $\to$ $\to$ ^{99m}Tc составляет 4.5, 5.0 и 6.0% при облучении 1, 3, 6 ч соответственно. Причина того, что полученные нами расчетные данные меньше приведенных в [11] и [15], очевидно, в том, что расчетные сечения реакций, ведущих к образованию ^{99m}Tc и ^{99}Mo, малы по сравнению с экспериментальными.

РЕАКЦИЯ ^{96}Mo$(p,n)^{96g}$Tc

Изомерное состояние ^{96m}Tc с периодом полураспада 51.1 мин распадается в основное ^{96g}Tc (98%). После 5 ч бомбардировки примесь изомерного состояния составляет 19.7%, а после дополнительных 5 ч охлаждения (cooling time) мишени примесь изомерного состояния будет незначительна — 0.3%.

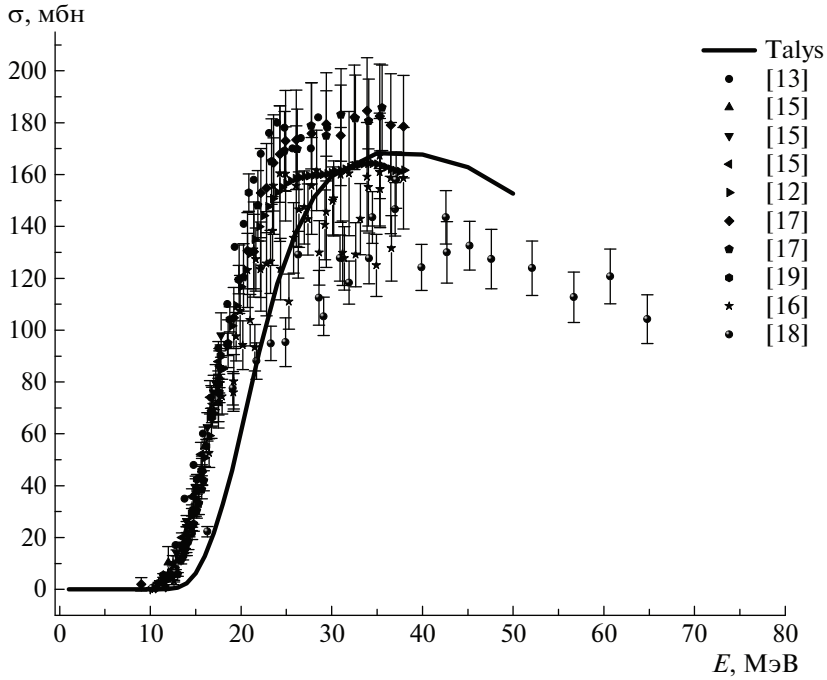

Рис. 2. То же, что на рис. 1, но для реакции $^{100}\mathrm{Mo}(p,pn)^{99}\mathrm{Mo}$. Кривая получена с использованием кода TALYS-1.9, точки — экспериментальные значения.

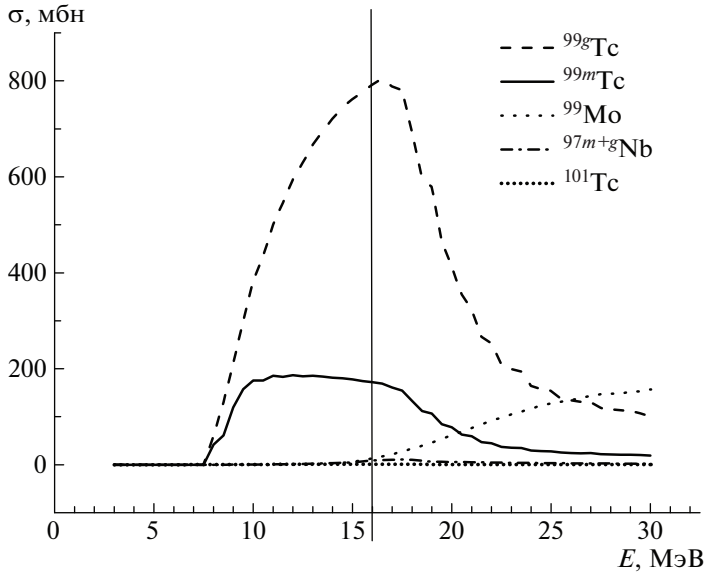

Рис. 3. То же, что на рис. 1, но для реакций $^{100}\mathrm{Mo}(p,2n)^{99m,g}\mathrm{Tc}$, $^{100}\mathrm{Mo}(p,pn)^{99}\mathrm{Mo}$, $^{100}\mathrm{Mo}(p,\alpha)^{97}\mathrm{Nb}$, $^{100}\mathrm{Mo}(p,\gamma)^{101}\mathrm{Tc}$.

На рис. 4 приведены функции возбуждения для реакции $^{96}\mathrm{Mo}(p,n)^{96}\mathrm{Tc}$. Учитывая, что после 5 ч облучения и 5 ч охлаждения мишени изомерное состояние почти полностью переходит в основное, на рисунке приведены суммарные сечения $(m+g)$. Также как в [11], данные из [13] нами уменьшены на 18%, поскольку авторами [13] использованы сечения мониторной реакции, большие рекомендованных.

Расчетные и экспериментальные данные хорошо совпадают, и можно ожидать, что полученные с использованием кода TALYS-1.9 активность и выход изотопа ^{96}Tc будут близки к экспериментальным.

Для выбора оптимального энергетического диапазона облучения в табл. 4 даны возможные в мишени ^{96}Mo реакции и их пороги, а на рис. 5 — функции возбуждения этих реакций. Из приведен-

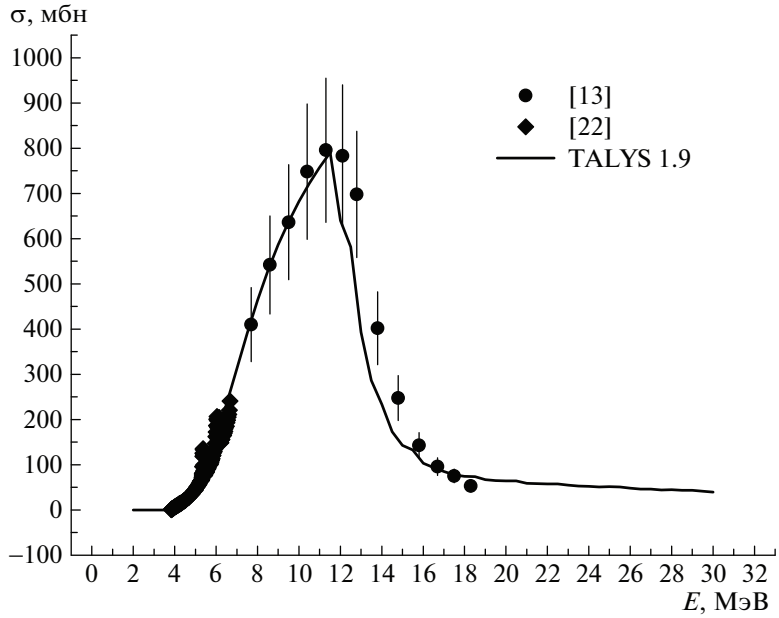

Рис. 4. То же, что на рис. 1, но для реакции ^{96}Mo$(p,n)^{96}$Tc.

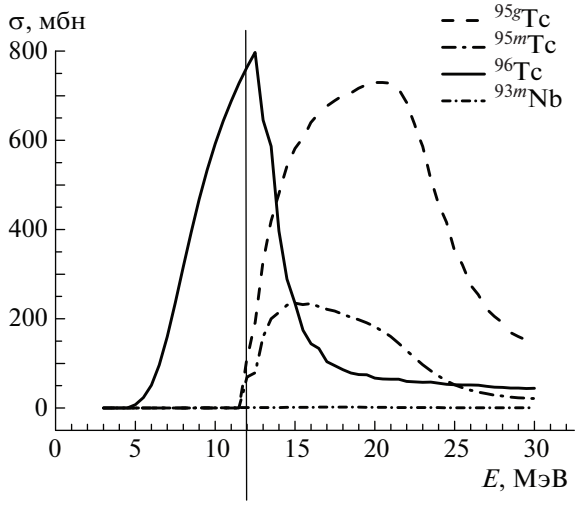

Рис. 5. То же, что на рис. 1, но для реакций ^{96}Mo$(p,2n)^{95m}$Tc, ^{96}Mo$(p,2n)^{95g}$Tc, ^{96}Mo$(p,n)^{96}$Tc, ^{96}Mo$(p,\alpha)^{93m}$Nb.

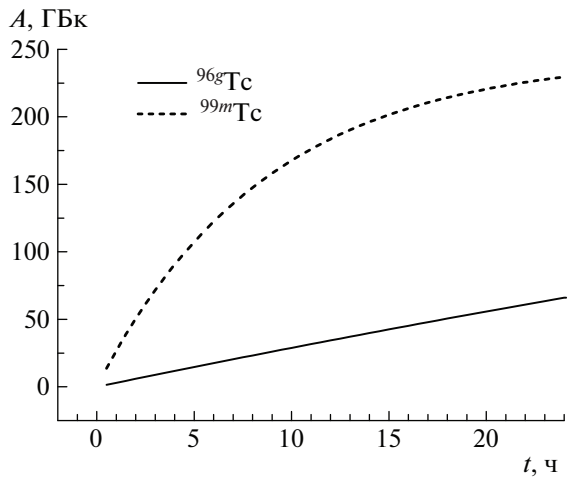

Рис. 6. Зависимость активности изотопов ^{96g}Tc и ^{99m}Tc от времени облучения.

ных данных можно заключить, что энергия протонов $E = 12$ МэВ обеспечивает максимальную радиоизотопную чистоту ^{96g}Tc.

На рис. 6 приведена полученная при помощи расчетов по коду TALYS-1.9 зависимость активностей изотопов ^{99m}Tc и ^{96}Tc от времени облучения при токе 100 мкА и энергиях протонов $E = 16 \to 10$ МэВ и $E = 12 \to 6$ МэВ для реакции ^{100}Mo$(p,2n)^{99m}$Tc и ^{96}Mo$(p,n)^{96}$Tc соответственно (при расчетах активности изотопа ^{99m}Tc учитывалась только реакция ^{100}Mo$(p,2n)^{99m}$Tc).

Согласно расчетам, после 3 ч облучения мишени активность ^{99m}Tc составляет 70 ГБк. Считая среднюю активность одного обследования 400 МБк/пациент, можно заключить, что полученная активность достаточна не только для применения в смежном с циклотроном диагностическом центре, но и для транспортировки и применения в других клиниках. При облучении обогащенной мишени ^{96}Mo протонами с энергией $E = 12 \to 6$ МэВ при токе 100 мкА за 6 ч облучения можно получить 20 ГБк ^{96g}Tc.

Активность получаемого ^{96g}Tc намного уступает ^{99m}Tc из-за разницы в периодах полураспадов.

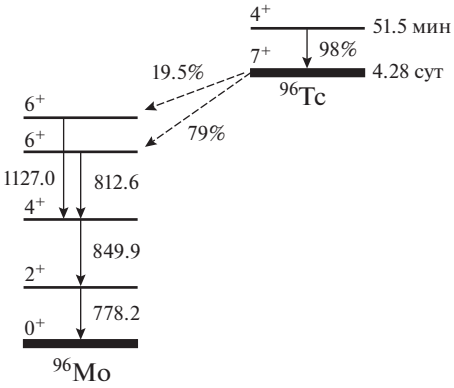

Рис. 7. Частичная схема распада ^{96}Tc.

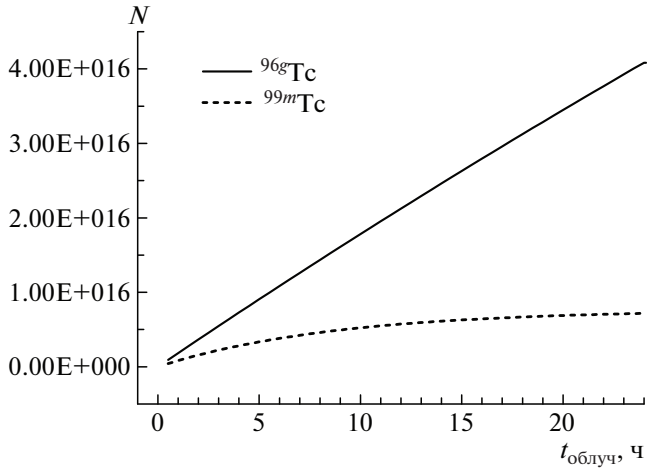

Рис. 8. Зависимость количества ядер ^{96}Tc и ^{99m}Tc от времени облучения.

Однако при одном акте распада ядра ^{96g}Tc испускается несколько γ-квантов (см. рис. 7). Три из них имеют близкую энергию: 770–850 кэВ. Если регистрировать γ-кванты в этом окне энергий, то при одном акте распада будут регистрироваться три γ-кванта. Поэтому для сравнения потока γ-лучей радиоизотопов ^{96g}Tc и ^{99m}Tc рассмотрим количество ядер этих изотопов, образованных на момент окончания облучения. На рис. 8 приведена зависимость числа ядер изотопов ^{99m}Tc и ^{96g}Tc от времени облучения. Согласно расчетам, после 3 ч облучения мишени ^{100}Mo в указанных условиях и 1 ч охлаждения активность ^{99m}Tc будет 63 ГБк. А после 6 ч облучения мишени ^{96}Mo в указанных условиях и 5 ч охлаждения количество ядер ^{96g}Tc будет равно 1.02×10^{16}, а активность 19 ГБк. Если учесть, что при одном акте распада испускается три γ-кванта регистрируемой энергии, то за 1 с будет испускаться 57×10^9 γ-квантов, т.е. потоки γ-лучей радиоизотопов ^{96g}Tc и ^{99m}Tc мало различаются.

Если учесть, что проникающие способности γ-квантов с энергиями 770–850 и 140 кэВ различаются в 2 раза при прохождении 10 см воды [8], то можно заключить, что при визуализации глубоколежащих органов ^{96g}Tc по интенсивности регистрируемых γ-квантов не уступает ^{99m}Tc и может с успехом использоваться для визуализации глубоколежащих органов.

Оценить относительный поток γ-излучения в точке регистрации вне тела пациента можно по формуле

$$f\left(^{96g}\mathrm{Tc}\right) = \frac{\lambda\left(^{96g}\mathrm{Tc}\right) R\left(^{96g}\mathrm{Tc}\right) M\left(^{96g}\mathrm{Tc}\right) I\left(^{96g}\mathrm{Tc}\right) P\left(^{96g}\mathrm{Tc}\right)}{\lambda\left(^{99m}\mathrm{Tc}\right) R\left(^{99m}\mathrm{Tc}\right) M\left(^{99m}\mathrm{Tc}\right) I\left(^{99m}\mathrm{Tc}\right) P\left(^{99m}\mathrm{Tc}\right)}, \tag{2}$$

где λ — постоянная распада радиоизотопа; $R = \dfrac{N_t}{N_{t0}}$ — фактор распада, равный отношению числа изотопов в момент проведения обследования и в конце облучения мишени; M — количество испущенных γ-квантов за один акт распада ($M(^{96g}\mathrm{Tc}) = 3$, $M(^{99m}\mathrm{Tc}) = 1$); I — отношение числа ядер в изомерном (основном) состоянии к суммарному числу ядер в обоих состояниях; P — проникающая способность γ-квантов [8].

Если предположить, что для получения ^{99m}Tc мишень ^{100}Mo облучалась 3 ч и диагностическое обследование проводилось через 1 ч, а для получения ^{96g}Tc мишень ^{96}Mo облучалась 6 ч и диагностическое обследование проводилось через 5 ч, то $R(^{99m}\mathrm{Tc}) = 0.891$ и $R(^{96g}\mathrm{Tc}) = 0.967$; $I(^{96g}\mathrm{Tc}) = 0.997$ (значение получено на основе расчетов по коду TALYS-1.9 и совпадает со значением, приведенным в [8]), $I(^{99m}\mathrm{Tc}) = 0.3$ (значение из [15]); $P(^{96g}\mathrm{Tc}) = 0.79$ и $P(^{99m}\mathrm{Tc}) = 0.63$ в случае прохождения 3 см воды, $P(^{96g}\mathrm{Tc}) = 0.46$ и $P(^{99m}\mathrm{Tc}) = 0.22$ в случае прохождения 10 см воды [8].

Относительный поток γ-излучения в точке регистрации вне тела пациента $f(^{96g}\mathrm{Tc}) = 0.796$ в случае прохождения 3 см воды и $f(^{96g}\mathrm{Tc}) = 1.327$ в случае прохождения 10 см воды.

Таблица 4. Пороги реакций на мишени ^{96}Mo и периоды полураспада продуктов

Реакция	$T_{1/2}$ продукта	Порог реакции, МэВ
^{96}Mo$(p,n)^{96m}$Tc	51.5 мин	3.79
^{96}Mo$(p,n)^{96g}$Tc	4.28 сут	
^{96}Mo$(p,2n)^{95m}$Tc	61 сут	11.75
^{96}Mo$(p,2n)^{95g}$Tc	20 ч	
^{96}Mo$(p,3n)^{94m}$Tc	52 мин	21.79
^{96}Mo$(p,3n)^{94g}$Tc	293 мин	
^{96}Mo$(p,pn)^{95}$Mo	стабилен	9.25
^{96}Mo$(p,\alpha)^{93m}$Nb	16.3 г	0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены расчеты с использованием кода TALYS-1.9 для оценки возможности использования изотопа ^{96g}Tc в качестве альтернативного ^{99m}Tc γ-излучателя. Согласно расчетам, при регистрации γ-квантов в энергетическом диапазоне 770–850 кэВ интенсивности γ-излучения ^{96g}Tc и ^{99m}Tc мало различаются и ^{96g}Tc может быть использован как альтернативный γ-излучатель.

При облучении обогащенной мишени ^{96}Mo протонами с энергией $E = 12 \to 6$ МэВ при токе 100 мкА за 6 ч облучения можно получить 20 ГБк ^{96g}Tc, за 8 ч облучения — 26 ГБк, что вдвое больше данных, приведенных в [8], полученных при расчетах с использованием кода PHITS [22].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cyclotron Based Production of Technetium-99m, IAEA Radioisotopes and Radiopharmaceuticals*, Reports no. 2 (2017).
2. A. Avetisyan, R. Dallakyan, R. Sargsyan, A. Melkonyan, M. Mkrtchyan, G. Harutyunyan, and N. Dobrovolsky, Int. J. Eng. Sci. Innovat. Technol. **4**, 37 (2015).
3. T. J. Morley, M. Dodd, K. Gagnon, V. Hanemaayer, J. Wilson, S. A. McQuanrrie, W. English, T. J. Ruth, F. Bénard, and P. Schaffer, Nucl. Med. Biol. **39**, 551 (2012).
4. K. Gagnon, J. S. Wilson, C. M. B. Holt, D. N. Abrams, A. J. B. McEwan, D. Mitlin, and S. A. McQuarrie, Appl. Radiat. Isot. **70**, 1685 (2012).
5. O. Lebeda, E. J. van Lier, J. Štursa, J. Ráliš, and A. Zyuzin, Nucl. Med. Biol. **39**, 1286 (2012).
6. Q. Chen, Q. Ma, M. Chen, B. Chen, Q. Wen, B. Jia, F. Wang, B. Sun, and S. Gao, PLoS One **10**(4), e0123401 (2015).
7. H. Carpenet, A. Cuvillier, I. Quelven, and J. Monteil, PLoS One **10**(10), e0139835 (2015).
8. T. Hayakawa, Y. Hatsukawa, and T. Tanimori, Heliyon **4**, e00497 (2018).
9. T. Mizumoto, D. Tomono, A. Takada, T. Tanimori, S. Komura, H. Kubo, Y. Matsuoka, Y. Mizumura, K. Nakamura, S. Nakamura, M. Oda, J. D. Parker, T. Sawano, N. Bando, and A. Nabetani, J. Instrum. **10**, C01053 (2015).
10. A. Koning, S. Hilaire, and S. Goriely, *TALYS-1.9, User Manual* (2017).
11. S. M. Qaim, S. Sudár, B. Scholten, A. J. Koning, and H. H. Coenen, Appl. Radiat. Isot. **85**, 101 (2014).
12. J. Červenák and O. Lebeda, Nucl. Instrum. Methods B **380**, 32 (2016).
13. В. Н. Левковский, В. Ф. Реутов, К. В. Ботвин, Ат. энергия **69**, 180 (1990) [Sov. Atom. Energy **69**, 773 (1990)].
14. M. C. Lagunas-Solar, N. X. Zeng, I. Mirshad, and T. Grey-Morgan, Transact. Am. Nucl. Soc. **74**, 137 (1996).
15. K. Gagnon, F. Bénard, M. Kovacs, T. J. Ruth, P. Schaffer, J. S. Wilson, and S. A. McQuarrie, Nucl. Med. Biol. **38**, 907 (2011).
16. F. Tárkányi, F. Ditrói, A. Hermanne, S. Takács, and A. V. Ignatyuk, Nucl. Instrum. Methods B **280**, 45 (2012).
17. S. Takács, A. Hermanne, F. Ditrói, F. Tárkányi, and M. Aikawa, Nucl. Instrum. Methods B **347**, 26 (2015).
18. B. Scholten, R. M. Lamberecht, M. Cogneau, H. V. Ruiz, and S. M. Qaim, Appl. Radiat. Isot. **51**, 69 (1999).
19. S. Manenti, U. Holzwarth, M. Loriggiola, L. Gini, J. Esposito, F. Groppi, and F. Simonelli, Appl. Radiat. Isot. **94**, 344 (2014).
20. O. Lebeda and M. Pruszyński, Appl. Radiat. Isot. **68**, 2355 (2010).
21. D. S. Flynn, R. L. Hershberger, and F. Gabbard, Phys. Rev. C **20**, 1700 (1979).
22. T. Sato, K. Niita, N. Matsuda, S. Hashimoto, Y. Iwamoto, S. Noda, T. Ogawa, H. Iwase, H. Nakashima, T. Fukahori, K. Okumura, T. Kai, S. Chiba, T. Furuta, and L. Sihver, *Particle and Heavy Ion Transport Code System, PHITS, version 2.52* (2013), p. 913.

^{96g}Tc AS ALTERNATIVE GAMMA EMITTER FOR MEDICAL DIAGNOSTICS

G. H. Hovhannisyan[1)], A. S. Danagulyan[1)], T. M. Bakhshyan[2)]

[1)] *Yerevan State University, Republic of Armenia*
[2)] *Armenian National Agrarian University, Yerevan*

We studied the possibility of using of the ^{96g}Tc isotope as a γ emitter in medical diagnostics. TALYS-1.9 code calculations were carried out. Irradiation of the ^{96}Mo target by proton beams with energy $E = 12 \to \to 6$ MeV and a current of 100 μA can produce 20 (26) GBq of ^{96g}Tc for the operation time of 6 (8) h. If the γ ray in the energy range of 770–850 keV will be registered, the γ-ray intensity of ^{96g}Tc and ^{99m}Tc will be almost the same, and ^{96g}Tc can be used as an alternative γ-ray emitter.