

"Реальность - это всего лишь иллюзия, хотя и очень настойчивая." - Альберт Эйнштейн

Frank Laboratory of Neutron Physics

Division of Nuclear Physics

Seminar

Chairman – V.N. Shvetsov

xxxxx, xx (Wednesday) 11:00, conference-hall

Beryllium: Precious Damn Metal.

Ruskov I.N.

*Institute for Nuclear Research and Nuclear Physics of Bulgarian Academy of Sciences
Joint Institute for Nuclear Research, TANGRA collaboration*

This lecture is devoted to beryllium, a strategically important, valuable, but highly toxic metal of exceptional importance both for understanding the processes of element formation in the Universe and for its application in modern technologies. In various forms, it is widely used in the automotive industry, astro- and aerospace technology, X-ray devices, robotics, as well as in nuclear and thermonuclear installations and other areas. The speaker will provide a brief overview of some past, current and future experimental studies of nuclear reactions of beryllium-9 with neutrons, emphasizing the need to obtain new, more reliable and robust nuclear data, including within the framework of the international research project TANGRA. Such data are important for a better understanding the mechanisms of nuclear reactions with neutrons and for their successful use in neutron-nuclear science and technology.

Inquisitive colleagues are kindly invited!



Лаборатория нейтронной физики им. И.М. Франка

Отделение ядерной физики

СЕМИНАР

Руководитель – Швецов В.Н.

xx, xxxxx (среда), 11:00, конференц-зал ЛНФ (3-й этаж)

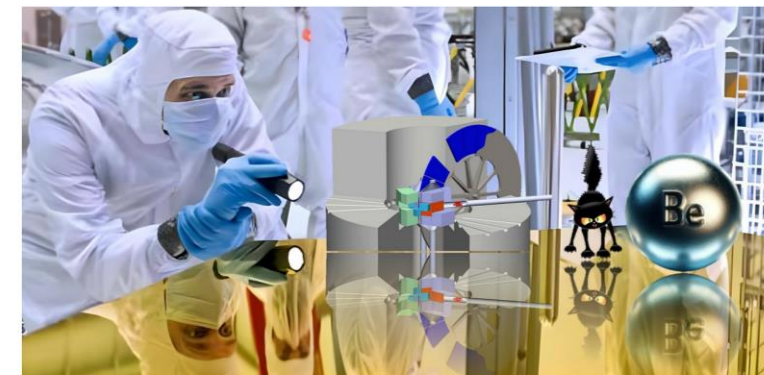
Бериллий: Драгоценный чёртовый металл.

Русков И.Н.

*Институт ядерных исследований и ядерной физики Болгарской академии наук
Объединенный институт ядерных исследований, коллаборация TANGRA*

Данная лекция посвящена бериллию — стратегически важному, ценному, но высокотоксичному металлу, имеющему исключительное значение как для понимания процессов образования элементов во Вселенной, так и для его применения в современных технологиях. В различных формах он широко используется в автомобилестроении, астро- и аэрокосмической технике, рентгеновских аппаратах, робототехнике, а также в ядерных и термоядерных установках и других областях. Докладчик сделает краткий обзор некоторых прошлых, текущих и будущих экспериментальных исследований ядерных реакций бериллия-9 с нейтронами, подчеркнув необходимость получения новых, более надежных и достоверных ядерных данных, в том числе в рамках международного исследовательского проекта TANGRA. Такие данные важны для лучшего понимания механизмов ядерных реакций с нейтронами и для их успешного использования в нейтронно-ядерной науке и технике.

Приглашаем любознательных коллег!



"Время и пространство - это не условия, в которых мы живём, но способы, какими мы мыслим. Физические концепции являются свободными творениями человеческого рассудка и не обусловлены, как бы это ни казалось, внешним миром."

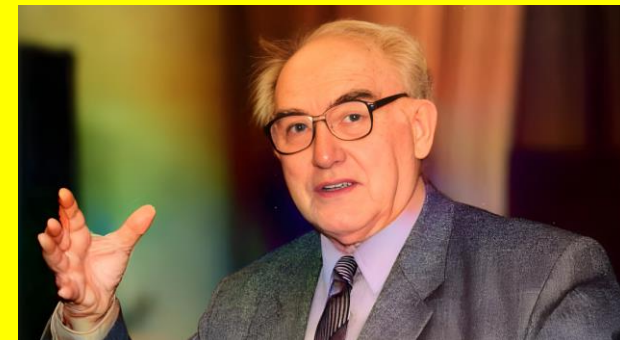
$$E=MC^2$$

<https://proza.ru/2023/03/06/16>

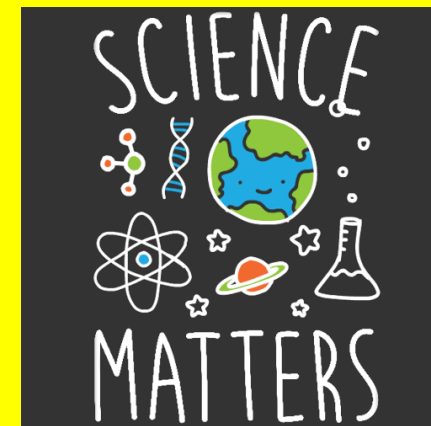
"Что касается материи, мы все время ошибались. То, что мы называли материей, - это энергия, чья вибрация была понижена настолько, что стала воспринимаемой органами чувств. Материя - это "дух", редуцированный до стадии видимости. Материи не существует".

"Все есть энергия, и это все, что есть. Соответствуйте частоте той реальности, которую вы хотите, и вы не сможете не обрести эту реальность. Иначе и быть не может. Это не философия. Это физика".

"Времени не существует - мы его выдумали. Время - это то, что показывают часы. Различие между прошлым, настоящим и будущим - лишь упрямо повторяющаяся иллюзия".



Виталий Лазаревич
Гинзбург:
«Те, кто не
ходит на семинар,
— просто чудаки...
Им повышают
интеллект, да ещё
бесплатно, а они не
ходят».



Время бума для стартапов в сфере редкоземельных металлов

Китай контролирует 90% мировой переработки редкоземельных металлов.

Что такое редкоземельные элементы на самом деле?

Несмотря на название, редкоземельные элементы не являются редкими. Их просто трудно извлекать и обрабатывать. Всего их 17, включая 15 лантаноидов и два других — скандий и иттрий. Вместе они питают большую часть современной жизни: электродвигатели, смартфоны, светодиодные экраны, ветряные турбины и критически важную военную технику, такую как радары, подводные лодки и ракеты. Постоянные магниты, в которых используются редкоземельные элементы, такие как неодим и диспрозий, составили 44% спроса в 2022 году. Эти магниты мощные и компактные, идеально подходят для электромобилей. Существуют более дешевые заменители, но они имеют недостатки — больший вес, меньший крутящий момент и более быстрая деградация.

Эти элементы — диспрозий, гадолиний, лютеций, самарий, скандий, тербий и иттрий — незаменимы во всем, от смартфонов до истребителей. Без них электромобили глохнут, ветряные турбины замедляются, а оборонные системы сталкиваются с узкими местами. Европа и США уже ощущают кризис.



● замятники ●



Областной этап областной олимпиады школьников по химии

XXIII ОБЛАСТНАЯ ОЛИМПИАДА

ЮНЫХ ХИМИКОВ 2015 г.

8 КЛАСС

Задачи теоретического тура по химии



Задача 8.2. «Металл будущего» (14 баллов).

В XIX веке сходство этого элемента с алюминием внесло путаницу в закономерное изменение свойств элементов и выступало серьезной угрозой периодическому закону. Д.И. Менделееву даже пришлось исправить его атомный вес. Позднее правильность предсказаний Д.И. Менделеева экспериментально подтвердили шведские химики Л.Ф. Нильсон и О. Петерсон.

В результате данный элемент подтвердил всеобщность периодического закона, а, благодаря периодическому закону, стало более полным понимание физических и химических свойств этого элемента.

В 30-х годах XX века академик А.Е. Ферсман называл его металлом будущего.

Сейчас в ответах на вопрос о практическом применении соединений данного элемента говорят:

... Самолет, вес которого вдвое меньше обычного;

... Ракетное топливо с наивысшим удельным импульсом;

... Пружины, способные выдержать до 20 миллиардов (!) циклов нагрузки – пружины, не знающие усталости, практически вечные.



Кроме того, этот элемент входит в состав изумрудов.

Известно, что в составе оксида этого металла содержится 64% кислорода, а его валентность равна валентности кислорода.

Вопросы:

1. Определите, о каком элементе идет речь. Ответ подтвердите расчетами. (5 баллов)

2. Дайте характеристику этого элемента по положению в периодической системе.

Чему равна его относительная атомная масса. (3 балла)

3. Запишите формулы оксида и гидроксида этого элемента.

Приведите уравнения реакций, подтверждающие сходство его соединений с соединениями алюминия. (3 балла)

4. Приведите примеры области применения этого элемента. (За каждый пример по 1 баллу, но не более 3 баллов)

Объясните, почему сегодня соединения этого элемента находят широкое применение?

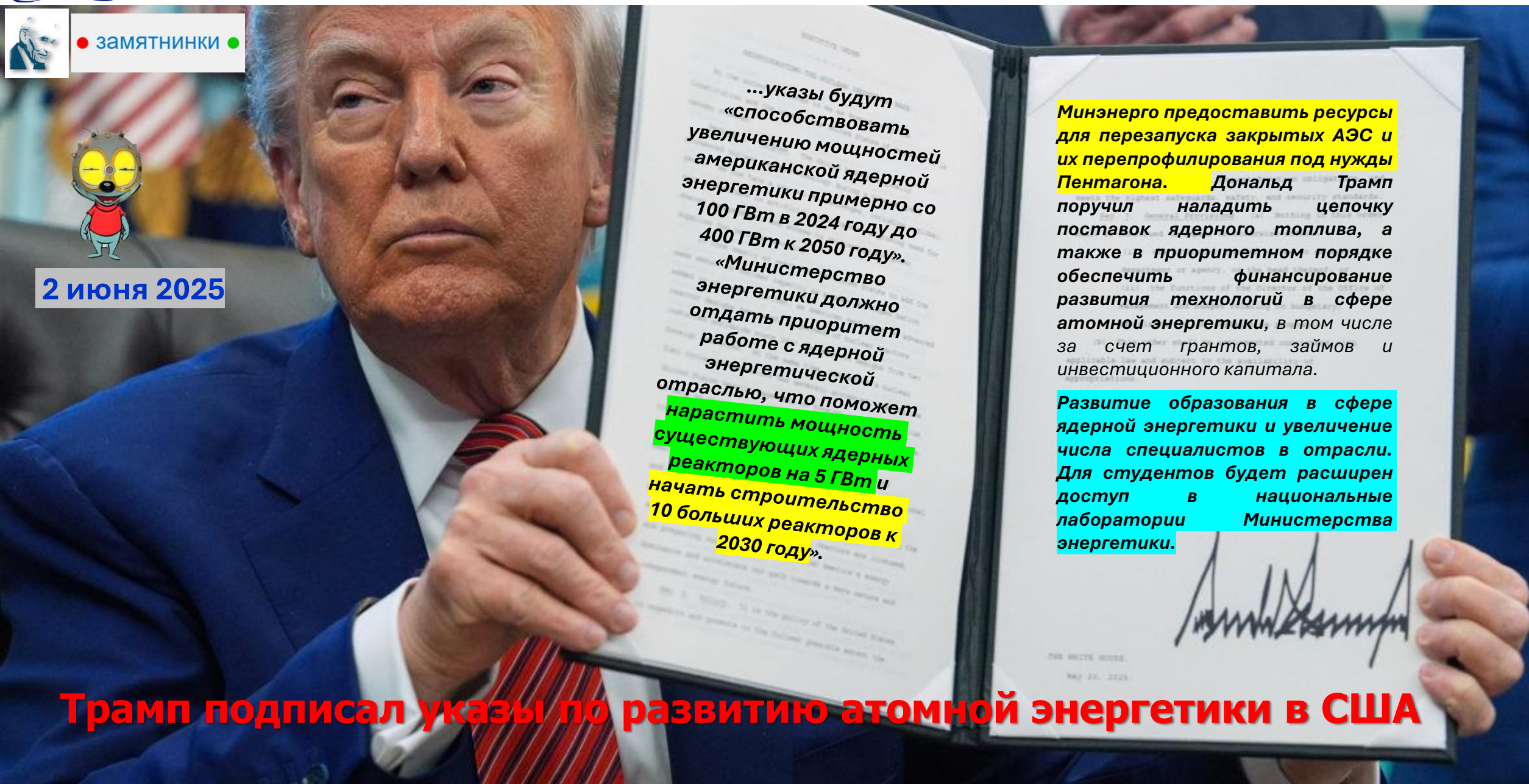




● ЗАМЯТНИКИ ●



2 июня 2025



...указы будут
«способствовать
увеличению мощностей
американской ядерной
энергетики примерно со
100 ГВт в 2024 году до
400 ГВт к 2050 году».

«Министерство
энергетики должно
отдать приоритет
работе с ядерной
энергетической
отраслью, что поможет

нарастить мощность
существующих ядерных
реакторов на 5 ГВт и
начать строительство
10 больших реакторов к
2030 году».

Минэнерго предоставить ресурсы
для перезапуска закрытых АЭС и
их перепрофилирования под нужды
Пентагона. Дональд Трамп

поручил наладить цепочку
поставок ядерного топлива, а
также в приоритетном порядке
обеспечить финансирование
развития технологий в сфере
атомной энергетики, в том числе
за счет грантов, займов и
инвестиционного капитала.

Развитие образования в сфере
ядерной энергетики и увеличение
числа специалистов в отрасли.
Для студентов будет расширен
доступ в национальные
лаборатории Министерства
энергетики.

Трамп подписал указы по развитию атомной энергетики в США



● ЗАМЯТНИКИ ●



"Прочнее стали: почему армия США использует бериллий"

Автор: [Гириш Линганна](#)

12 августа 2022 г.

THE
NATIONAL
INTEREST

Важность бериллия и его применение:

Бериллий — это редкий металл, который имеет ключевое значение для современных военных технологий и других отраслей. Его свойства включают легкость, прочность (сильнее конструкционной стали) и высокую температуру плавления.

Исторический контекст: Бериллий в чистом виде был получен только в конце XIX века и изначально считался бесполезным. Во время Второй мировой войны США контролировали большую часть производства бериллия, что привело к попыткам Германии контрабандой провозить бериллиевую бронзу через Швейцарию.

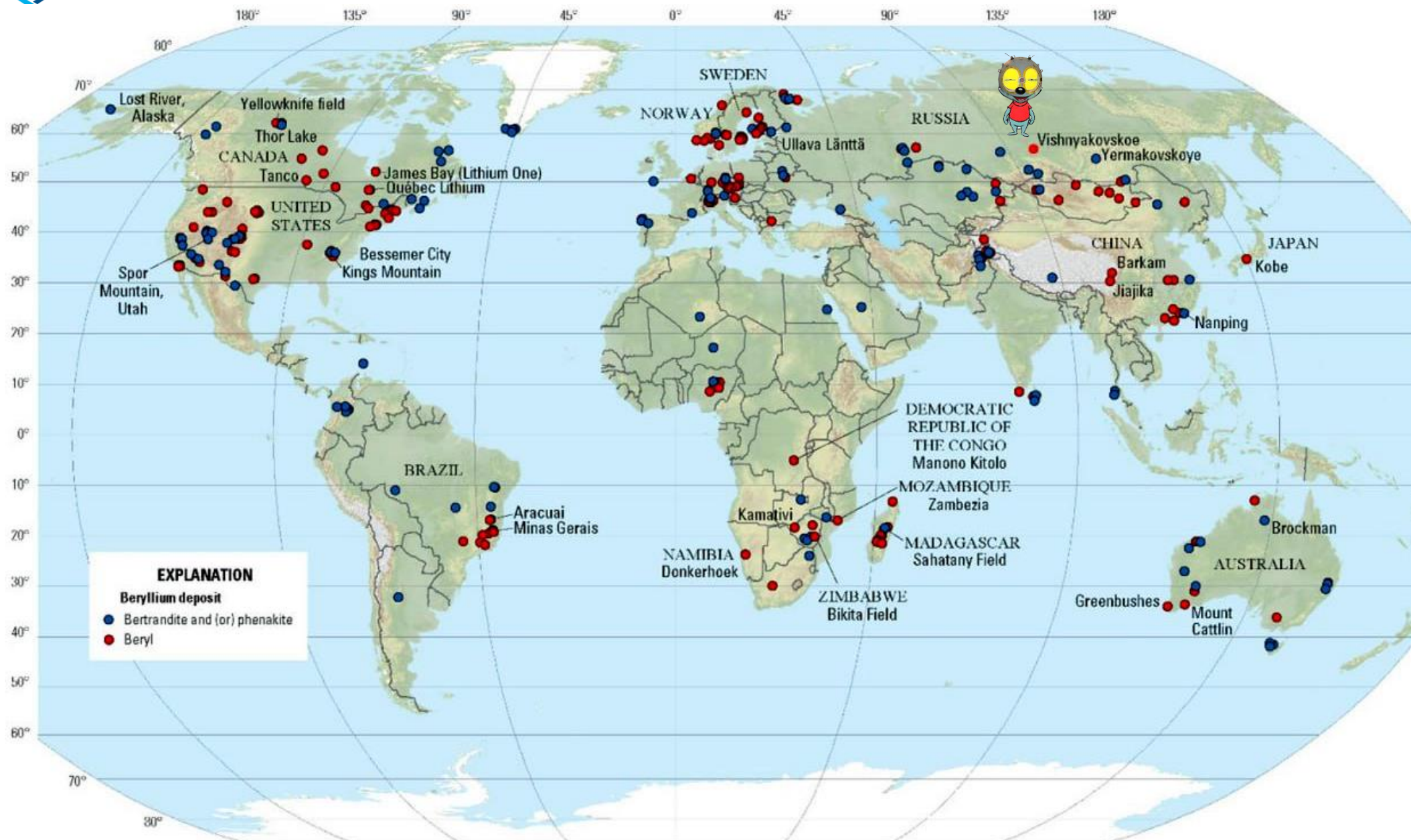
Мировое производство: Основные производители включают Казахстан, Китай, Россию и США, при этом Бразилия и Аргентина обладают значительными запасами. Артельная добыча в Бразилии дает до 3000 тонн ежегодно, в то время как новые флотационные процессы разрабатываются для использования мелкозернистого берилла.

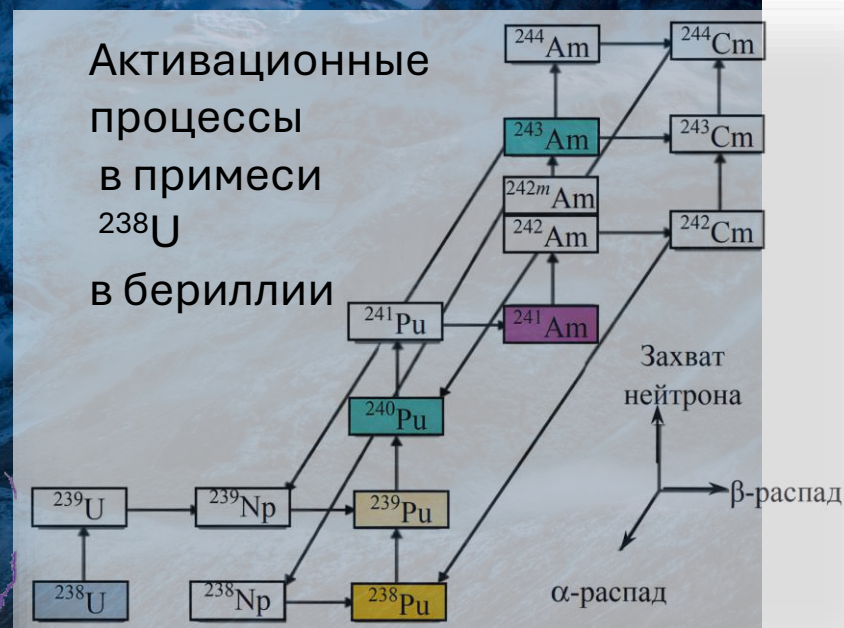
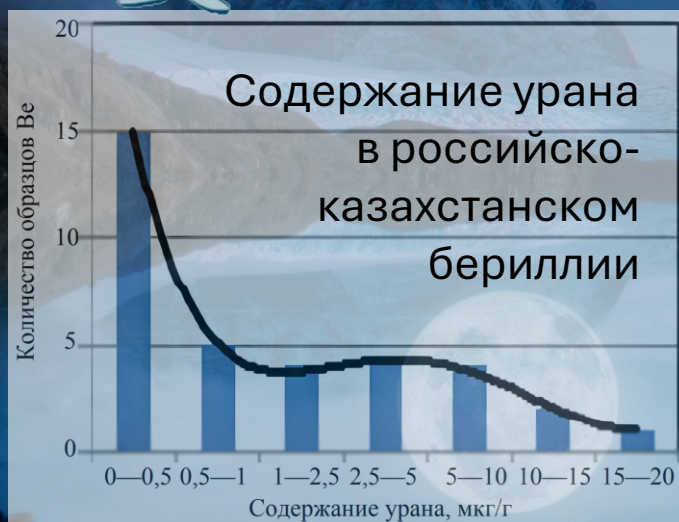
Аэрокосмическая отрасль и оборона: Чистый бериллий, особенно на военных истребителях, снижает вес, что имеет решающее значение для скорости и маневренности, а также обеспечивает точную наводку и ударные возможности. Электрические разъемы, крепежи и структурные компоненты для самолетов и истребителей с фиксированным крылом, таких как **F-22 Raptor, F-35 Lightning II Joint Strike Fighter, F-18 Super Hornet, F-16 Fighting Falcon** и **F-15 Strike Eagle**, изготавливаются из смеси меди и бериллия.

Системы наблюдения и оптики: важен для военных вертолетов и беспилотных летательных аппаратов для реального времени визуализации и наведения.

ПВО: необходим для систем управления ракетами и обнаружения взрывных устройств.

Национальная безопасность: Используется в оборудовании для наблюдения и инспекции в аэропортах и на границах, включая рентгеновские машины и сканеры.





Кроме U и ^3H , не следует недооценивать также ^{14}C , образующийся в Be главным образом из азота, ^{94}Nb , ^{60}Co и $^{108\text{m}}\text{Ag}$.

Предварительные проработки технологии для очистки и возвращения в производственный цикл бериллия в настоящее время (2013) остановлены из-за прекращения финансирования.



• замятнинки •

191,399 просмотров 22 июня 2025 г.

Время-вперёд!



События на Ближнем Востоке убедительно доказывают, что наличие собственной атомной промышленности является одним из высших государственных приоритетов. Но мало кто знает, что именно сейчас Россия возрождает на своей территории полный цикл производства **бериллия** – **стратегического металла для ядерной программы будущего.**

Ядерная гонка продолжается.

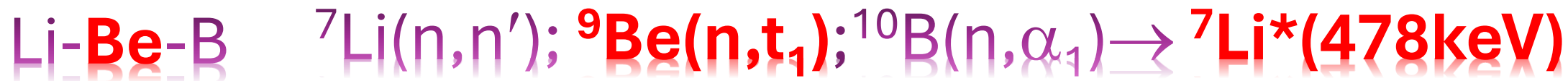
Почему технологии были утеряны на десятилетия?

При чем здесь Казахстан и американцы?

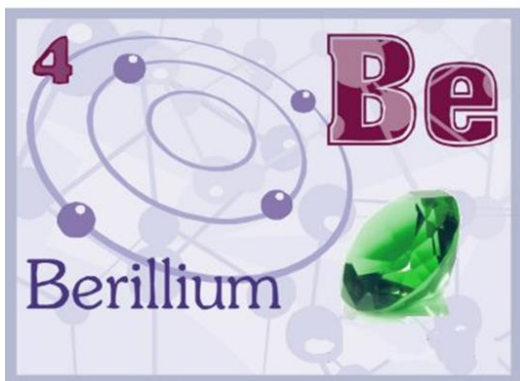
И самое главное – для какого нового прорывного проекта нам понадобился собственный бериллий?



Урок Ирана: Россия возвращает бериллий и строит новый ядерный реактор



Nicolas-Louis Vauquelin, French chemist



обнаружил два новых элемента, **бериллий** в 1798 году в берилле и **хром** в 1797 году в красной свинцовой руде из Сибири .

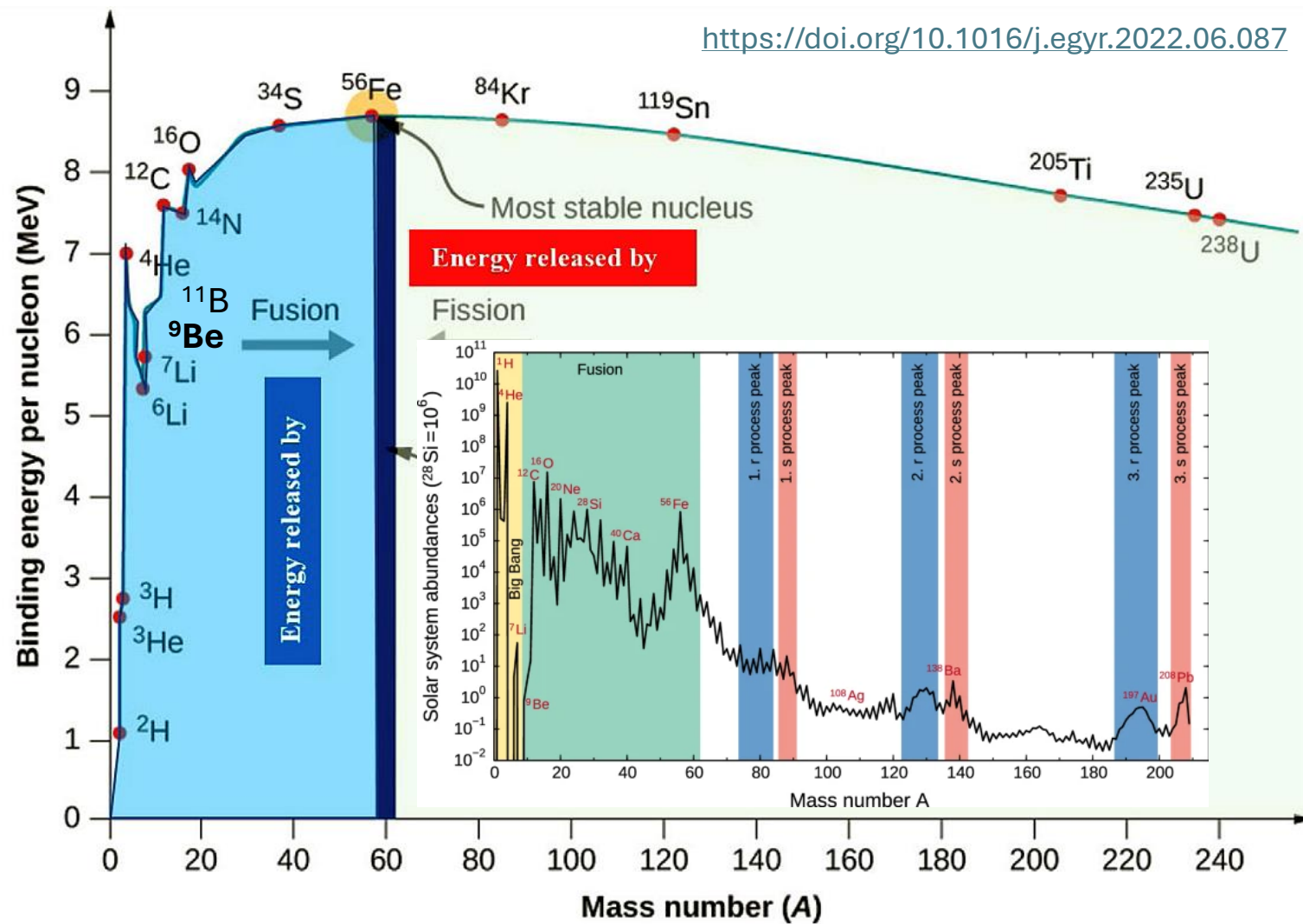
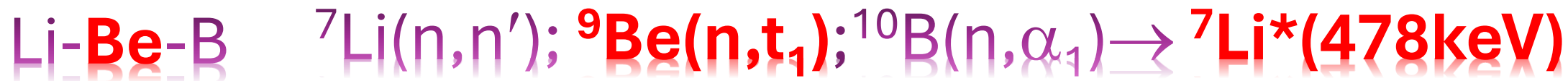


Fig. 4. Binding energy per nucleon versus atomic number A.



[https://doi.org/10.1016/S0370-1573\(00\)00030-2](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(00)00030-2)

Physics Reports

Volumes 333–334, August 2000, Pages 365–387



Lithium–Beryllium–Boron: origin and evolution

Elisabeth Vangioni-Flam, Michel Cassé, Jean Audouze

Происхождение и эволюция лития–бериллия–бора является точкой пересечения различных астро-физических областей: оптической и гамма-спектроскопии, не-теплого нуклео-синтеза, Большого взрыва и звездного нуклео-синтеза и, наконец, галактической эволюции. образование и эволюцию лития–бериллия–бора от Большого взрыва до настоящего времени описывается через (i) взаимодействие стандартных галактических космических лучей с межзвездной средой, (ii) расщепление нейтрино сверхновой и (iii) низкоэнергетический компонент, связанный со взрывами сверхновых в галактических супер-пузырях.

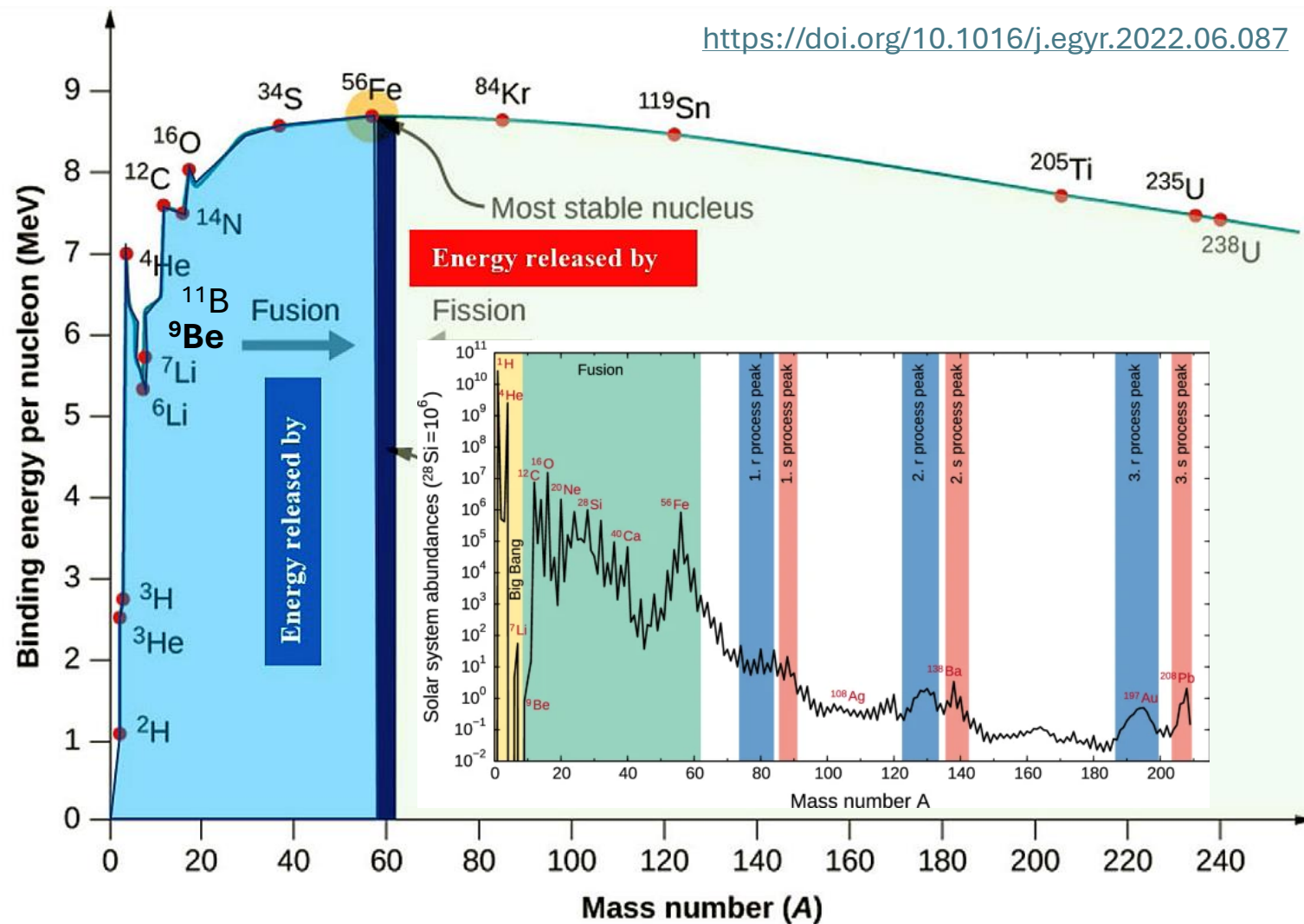


Fig. 4. Binding energy per nucleon versus atomic number A.



Бериллий можно найти
в изумрудах и ...
орбитальных телескопах, но...
не стоит трогать голыми руками.



H1																	He2	
Li3	Be4																	Ne10
Na11	Mg12																	Ar18
K19	Ca20	Sc21	Ti22	V23	Cr24	Mn25	Fe26	Co27	Ni28	Cu29	Zn30	Ga31	Ge32	As33	Se34	Br35	Kr36	
Rb37	Sr38	Y39	Zr40	Nb41	Mo42	Tc43	Ru44	Rh45	Pd46	Ag47	Cd48	In49	Sn50	Sb51	Te52	I53	Xe54	
Cs55	Ba56		Hf72	Ta73	W74	Re75	Os76	Ir77	Pt78	Au79	Hg80	Tl81	Pb82	Bi83	Po84	At85	Rn86	
Fr87	Ra88		La57	Ce58	Pr59	Nd60	Pm61	Sm62	Eu63	Gd64	Tb65	Dy66	Ho67	Er68	Tm69	Yb70	Lu71	
			Ac89	Th90	Pa91	U92	Np93	Pu94	Am95	Cm96	Bk97	Cf98	Es99	Fm100	Md101	No102	Lr103	

Большой Взрыв

Космическое излучение

Гибель звёзд малой массы

Слияние нейтронных звёзд

Взрыв массивных звёзд

Взрыв белых карликов

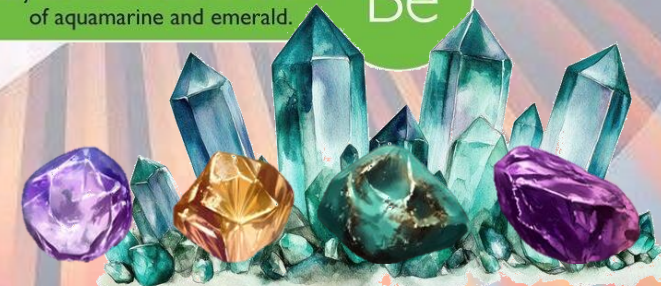
Созданные человеком нестабильные изотопы

Большой Взрыв	Гибель звёзд малой массы	Взрыв массивных звёзд	Созданные человеком нестабильные изотопы
Космическое излучение	Слияние нейтронных звёзд	Взрыв белых карликов	



Beryllium can be found in the forms of aquamarine and emerald.

Be





● замятнинки ●



7 апреля 2025

Для новых ракет и атомных реакторов: Россия начнёт производить собственный бериллий

Ермаковское разрабатывалось с 1979 по 1989 годы месторождение. Забайкальским горно-обогатительным комбинатом, после чего было законсервировано. На момент лицензирования в 2005 году его запасы оценивались в 1,4 млн тонн руды (BeO -1.19%).



Технология получения бериллия из списанных изделий у российских специалистов уже есть. Её применяют в саратовском ФГУП «Базальт», которое входит в ГК «Росатом».



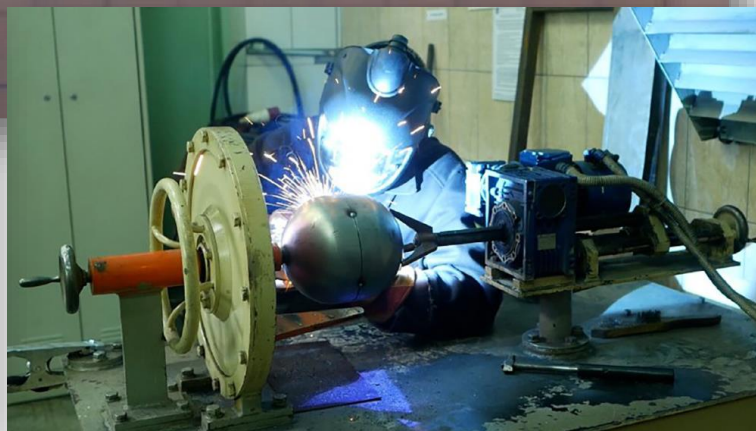
В 2023 г., «Базальт», он же **бериллий**: саратовский филиал «Маяка» отметил 50-летие.

1. Помимо применения в ядерном оружии, бериллий также используется в космическом и ракетном навигационном оборудовании.
2. Сегодня его растущий ассортимент гражданской продукции включает детали для больничного рентгеновского оборудования.

Основанный в 1973 году, «Базальт» является эксклюзивным производителем бериллиевых компонентов и сплавов.

Первоначально подчинявшийся «Росавиакосмосу» (и его предшественникам), «Базальт» был реструктурирован и передан под надзор «Росатома» (тогда известного как Минатом) в 2001 году. Сообщается, что это решение положительно повлияло на финансовое положение предприятия.

(Не следует путать «Базальт» в Саратове с «Базальтом» в Москве — оборонным предприятием, выпускающим современное обычное оружие и подчиняющимся Государственной корпорации «Ростехнологии».)



Огненные шары и..... «Шоколадки» для реактора



● замятнинки ●

ТЕХНОЛОГИИ ⌚ 28 апреля 2025

«Росатом» возрождает технологию получения бериллия

НОВОСТИ ⌚ 14 апреля 2025

«Росатом» создаст первое в России производство бериллийсодержащих материалов

7 апреля 2025

В Бурятии запустят крупнейший в России источник бериллия

30 April 2025 г. | 10:30

**Россия увеличит производство ниобия, тантала, вольфрама и бериллия.**

«Россия увеличит производство дефицитного сырья, в том числе ниобия, тантала, вольфрама, бериллия, в рамках национального проекта «Новые материалы и химия», заявил премьер-министр **Михаил Мишустин** на марафоне общества «Знание».

Для новых ракет и атомных реакторов: Россия начнёт производить собственный **бериллий**

«Выдающиеся научные открытия делаются не потому, что они полезны, а потому, что они оказались возможными, – это глубокая и неоспоримая истина.»
Роберт Оппенгеймер

ТЕХНОЛОГИИ 28 апреля 2025

«Росатом» возрождает технологию получения бериллия

Ученые «Росатома» разрабатывают технологию получения стратегического металла бериллия.

Как в СССР, но лучше

Бериллий входит в списки стратегических материалов всех технологически развитых стран, а производят его только три: США, Китай и Казахстан.

В СССР было бериллиевое производство полного цикла.

Ульбинский металлургический завод (УМЗ) в Казахстане — осколок мощной индустрии тех лет.

В России освоены начальная и конечная стадии технологии, унаследованной от СССР.

Руду добывают на Малышевском месторождении в Свердловской области и на Ермаковском в Бурятии.

Изделия из бериллия производит филиал «Маяка» — завод «Базальт» в Саратове.

С начала 2000-х в «Росатоме» работают над собственной технологией получения металлического бериллия, отвечающей современным требованиям экологической безопасности. В проекте задействованы НИИ НПО «Луч»,

Институт им. Бочвара и институты химико-технологического блока научного дивизиона.

Результаты лягут в основу первого опытно-промышленного участка по получению бериллийсодержащих материалов на площадке НИИ НПО «Луч».

Завод в перспективе

Лабораторная технология получения бериллия и его соединений из гидроксида бериллия практически готова.

«Нам надо довести технологию до повторяемости. Большая работа предстоит в части аналитического обеспечения. Мы должны сделать методики, по которым будут работать на заводе, — говорит Денис Коробейников.

— Кроме того, при получении основных продуктов остаются отходы. Нужна технология их переработки и извлечения бериллия, чтобы в отвал уходила только пустая порода».



«Росатом» создаст первое в России производство бериллийсодержащих материалов

14 апреля 2025



Экспериментальный участок изготовления бериллийсодержащих материалов появится на площадке НИИ НПО «Луч».

Задача проекта — обкатка полного цикла производства: от рудного концентрата до металла.

Технологию ученые «Луча» разрабатывали совместно с коллегами из Всероссийского НИИ неорганических материалов с 2021 года. Уже готова аппаратурно-технологическая схема получения бериллийсодержащих материалов, а также установка очистки сточных вод.

Бериллий — редкий металл. В основном его используют как **легирующую добавку**, которая значительно повышает твердость, прочность, коррозионную устойчивость сплавов и поверхностей изделий.

Бериллийсодержащие материалы нужны в реакторостроении, лазерной, аэрокосмической и рентгентехнике, акустических системах и др. Значительное количество бериллийсодержащих материалов требуется для пуска и работы исследовательского жидко-солевого реактора, который сыграет важную роль в замыкании ядерного топливного цикла.

Ядерные науки

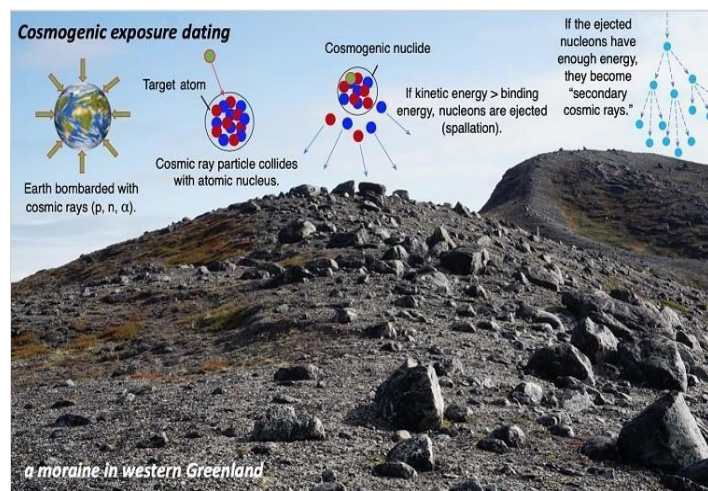
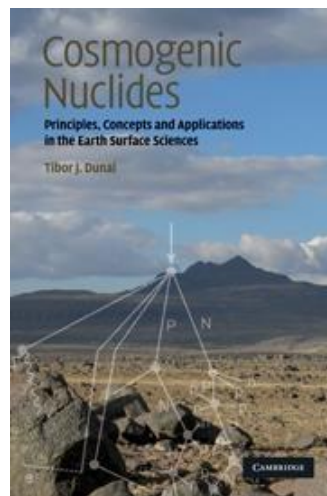
Be-9 — стабильный изотоп с 4р и 5n. Он играет решающую роль в замедлении нейтронов из-за своего относительно высокого сечения рассеяния нейтронов. В ядерных реакторах Be-9 используется в качестве отражателя нейтронов для усиления потока нейтронов и улучшения производительности реактора. Его низкое сечение захвата тепловых нейтронов делает его пригодным для применений, где замедление нейтронов имеет важное значение.

Естественные науки

Be-9 важен для космогенных исследований. Он образуется при взаимодействии космических лучей с азотом и кислородом в атмосфере Земли. Его присутствие в метеоритах дает представление о нуклео-синтезе ранней солнечной системы. Космогенное радионуклидное (CRN) датирование основано на скорости накопления космических лучей, которые стимулируют образование и распад радионуклидов, таких как C-14, Be-10, Al-26 и Cl-36.

Общество и человек

Сплавы бериллия применяются в электронике, гироскопах, пружинах, электрических контактах, электродах точечной сварки, конструкционных материалах для высокоскоростных самолетов, ракет, космических аппаратов и средств связи, спутников, полупроводниках и рентгеновских окнах. Однако бериллий токсичен и представляет опасность для здоровья человека.



Общая информация и физические свойства

•Общая информация:

- Бериллий — типично редкий элемент, в среднем на тонну земного вещества приходится 4,2 г бериллия.
- Известно более 30 минералов бериллия; шесть из них считаются распространенными: берилл, хризоберилл, берtrandит, фенакит, гельвин, даналит.
- Встречается в гранитных пегматитах по всему миру; известен большими зелеными кристаллами, некоторые из которых весят до 1 тонны и достигают 9 м в длину.

•Изотопы:

- Природный бериллий имеет один стабильный изотоп: ${}^9\text{Be}$.
- Уникален среди элементов с четным номером, так как имеет только один стабильный изотоп; известны несколько нестабильных, радиоактивных изотопов.

•Физические свойства:

- Легкий и прочный; в 1,5 раза легче алюминия, но прочнее специальных сталей.
- Очень твердый; может резать стекло, но является хрупким.

•Устойчивость к коррозии:

- Обладает высокой устойчивостью к коррозии; при взаимодействии с воздухом образует защитную окисную пленку.
- Окисление начинается при температуре выше 800°C ; при 1200°C сгорает, образуя BeO .

Применение и ограничения

•Сплавы и прочность:

- Образует сплавы, которые увеличивают твердость, прочность и коррозионную стойкость.
- Бериллевая бронза (1-3% бериллия) имеет более высокую прочность на разрыв, чем многие легированные стали.
- Прочность увеличивается с возрастом; немагнитные и не искрящие, используются в пружинах, амортизаторах и подшипниках.

•Промышленные применения:

- Бериллий используется в авиационной промышленности; в современных тяжелых самолетах может быть более 1000 деталей из бериллиевой бронзы.
- Стальные детали иногда бериллизируются для повышения жаростойкости и устойчивости к коррозии.
- Бериллиды (интерметаллические соединения) с танталом и ниобием обладают исключительной твердостью и стойкостью к окислению.

•Ядерные применения:

- Бериллий является ключевым элементом в ядерной технологии благодаря своим свойствам и замедления и отражения нейтронов.
- Снижает размеры активной зоны реакторов и повышает эффективность использования ядерного топлива; используется в малых энергетических реакторах для самолетов и судов.
- BeO имеет решающее значение для оболочки ядерных топливных элементов благодаря высокой плотности нейтронного потока и коррозионной стойкости.

•Токсичность и риски:

- Бериллий и его соединения токсичны; воздействие может привести к бериллиозу.
- Допустимый предел концентрации бериллия в воздухе очень низок: $0,001 \text{ мг/м}^3$, что ниже, чем у многих других металлов.

•Ограничения:

- Проблемы включают хрупкость, токсичность и высокие затраты, ограничивающие более широкое применение.
- Исследования продолжаются для поиска способов производства более пластичных форм бериллия.

Вальтер Боте

Физик-ядерщик,
Германия

Немецкая программа атомной бомбы,
Лауреат Нобелевской премии, Ученый



Вальтер Боте (1891-1957) — немецкий физик-ядерщик, построивший первый в Германии циклотрон и получивший в 1954 году Нобелевскую премию по физике вместе с Максом Борном.

РАННИЕ ГОДЫ

Боте родился в Ораниенбурге, Германия, в 1891 году. Он учился в Берлинском университете с 1908 по 1912 год. В 1913 году он начал исследования под руководством Макса Планка в Лаборатории радиоактивности в Рейхсфизико-техническом институте (PTR), где в 1914 году получил степень доктора философии. Боте продолжал исследования в лаборатории до 1930 года. В это время он работал с Гансом Гейгером, стал профессором в университете, а затем с 1927 по 1930 год занимал должность директора Лаборатории радиоактивности.

Получив докторскую степень, Боте служил в немецкой армии во время Первой мировой войны. Он был схвачен и интернирован русскими в Сибири. Находясь в заключении, Боте выучил русский язык и продолжил свои исследования в области теоретической физики. Он вернулся в Германию в 1920 году.

В 1930 году Боте стал профессором физики в Гиссенском университете, где он также занимал должность директора физического факультета университета. Исследования Боте и Герберта Беккера и бомбардировка бериллия способствовали открытию нейтрона сэром Джеймсом Чедвиком в 1932 году. Вскоре после этого он продолжил преподавать в Гейдельбергском университете. Там он был назначен директором Физического и радиологического института. Однако недоверие Гитлера к теоретической и атомной физике, проявившееся в движении *Deutsche Physik*, привело к увольнению Боте из университета. Вместо этого Боте стал директором Института физики в Институте медицинских исследований кайзера Вильгельма.

Будучи одним из ведущих немецких ученых в начале Второй мировой войны, Боте работал над секретной немецкой программой атомной бомбы в качестве члена «Уранового клуба» или *Uranverein* вместе с такими выдающимися учеными, как Вернер Гейзенберг и Курт Дибнер. Он отвечал за сбор средств, планирование и строительство первого в Германии действующего циклотрона. Под его руководством циклотрон был завершен в 1943 году.

Кроме того, результаты экспериментов Боте привели его и других немецких ученых к ошибочному выводу, что графит был неподходящим компонентом для разработки атомной бомбы. Это заставило Uranium Club вернуться к использованию тяжелой воды, поставляемой с завода Norsk Hydro в Норвегии, гораздо менее эффективного и дефицитного ресурса.

В 1930 г. немецкий физик Вальтер Боте обнаружил, что **некоторые легкие элементы** (среди них бериллий и бор) **испускают мощную радиацию** при бомбардировке их альфа-частицами.

Заинтересовавшись проблемами, которые возникли в результате этого открытия, супруги Жолио-Кюри (как они себя называли) приготовили **особенно мощный источник полония для получения альфа-частиц и применили сконструированную Жолио чувствительную конденсационную камеру**, с тем чтобы фиксировать проникающую радиацию, которая возникала таким образом.

Подвергая бомбардировке альфа-частицами бор и алюминий, закрыв отверстие детектора тонким слоем алюминиевой фольги, они изучали выход позитронов (положительно заряженных частиц, которые во всех остальных отношениях напоминают отрицательно заряженные электроны), впервые открытых в 1932 г. американским физиком Карлом Д. Андерсоном. **К их удивлению, выход позитронов продолжался в течение нескольких минут после того, как был удален полониевый источник альфа-частиц.**

[История открытия нейтрона]

Открытие нейтрона было основано на результатах многолетних нескольких исследовательских групп

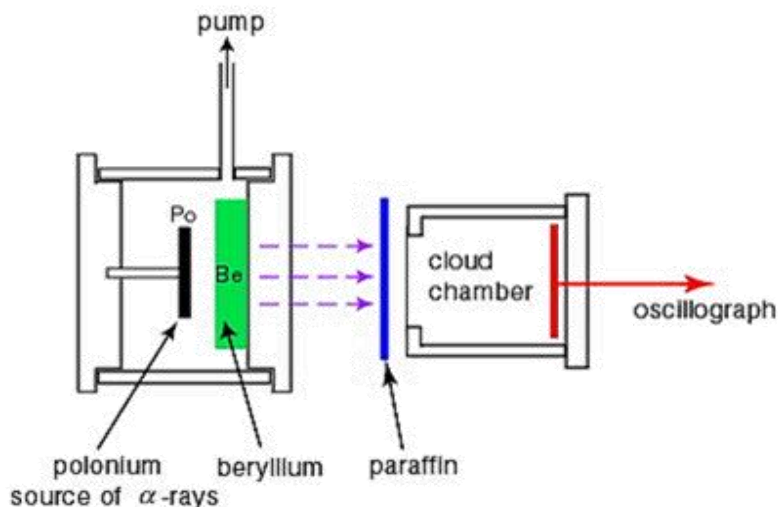
(1) Эксперимент Боте и Беккера

В. Боте (Германия, 1891-1975) и его ученик **Х. Беккер** бомбардировали бериллий сильными альфа-лучами из источника полония и обнаружили высокоэнергетическое излучение с сильной проникающей способностью (1928). Они наблюдали похожее излучение не только от бериллия, но также от лития и бора. Сначала эти излучения с сильной проникающей способностью считались высокоэнергетическими гамма-лучами.

(2) Эксперимент И. Кюри и Жолио

Около 1931 года **И. Кюри** (Франция, 1897-1956) и **Ф. Жолио** (Франция, 1900-58) сообщили, что вышеуказанное высокоэнергетическое излучение, обнаруженное Боте и Беккером, способно выбрасывать протоны из слоя парафина. И. и Ф. Жолио-Кюри считали, что это явление вызвано **эффектом Комптона** из-за гамма-лучей высокой энергии, испускаемых источником полония-бериллия. А именно, они считали, что гамма-частица (фотон) излучения высокой энергии Боте-Беккера сталкивается с протоном в слое парафина, чтобы рассеяться, и наблюдаемый протон есть не что иное, как протон отдачи от этого эффекта Комптона. (Что касается эффекта Комптона, см. страницу "Микроскопический мир -1-: [3-7:Эффект Комптона](#)"). (3) **Открытие нейтрона Чедвиком** Чедвик был очень заинтересован в отчете Жолио-Кюри. Он повторил эксперименты, используя источник полония-бериллия (Po-Be). Схематический чертеж его экспериментальной установки показан на **рисунке ниже**. Высокоэнергетическое излучение, испускаемое источником (Po-Be) с левой стороны, направляется в **камеру Вильсона**, перед которой помещен слой парафина. Излучение рассеивается протоном в парафине, и фотография протона отдачи делается в камере Вильсона с правой стороны. Чедвик сталкивал излучение, выходящее из источника (Po-Be), не только с протоном (парафином), но также с гелием и азотом. Сравнивая результаты этих экспериментов друг с другом,

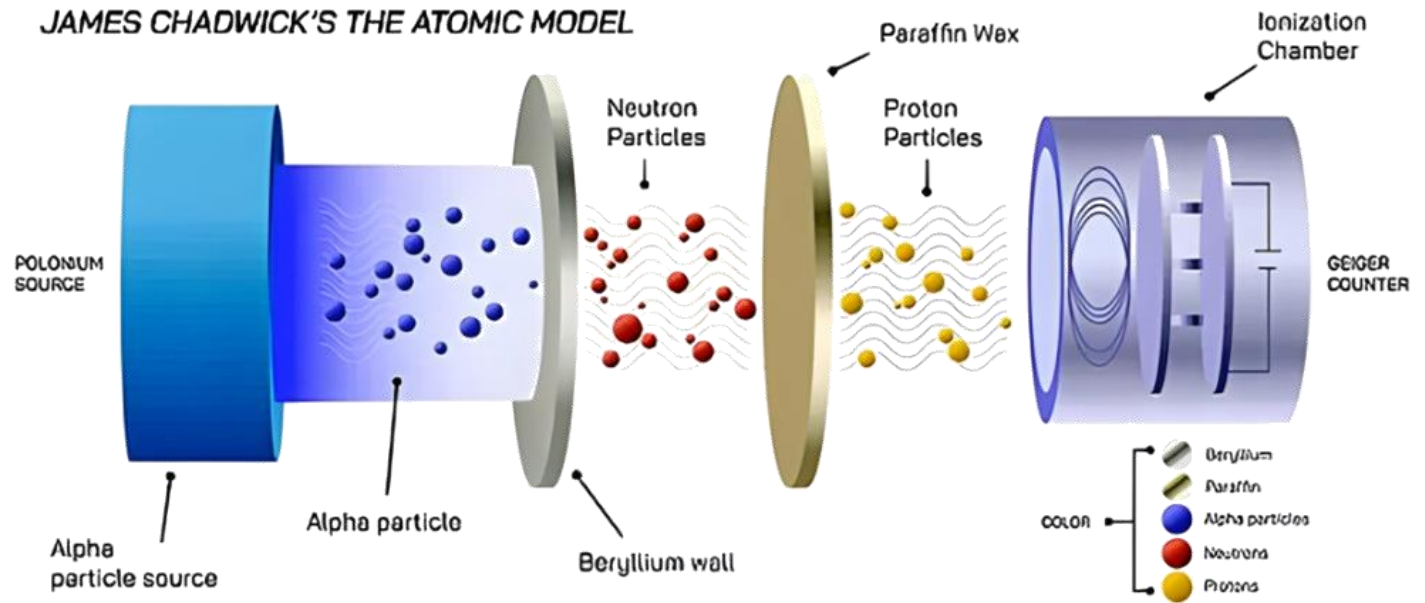
Чедвик пришел к выводу, что это загадочное излучение от источника (Po-Be) нельзя интерпретировать, предполагая, что это гамма-лучи. В конце концов он пришел к выводу, что все можно было понять без каких-либо противоречий, предположив, что загадочное излучение представляет собой электрически нейтральные частицы с почти такой же массой, как у протона. Это подтверждение существования «нейтрального протона», предсказанного Резерфордом. Чедвик назвал эту частицу «**нейтроном**» (1932).



[Экспериментальная установка Чедвика]

Это схематический рисунок экспериментальной установки Чедвика. Высокоэнергетические альфа-лучи от полония слева сталкиваются с бериллиевой мишенью, и излучение с высокой проникающей способностью (**фиолетовые стрелки** = нейтроны на самом деле) выходит, чтобы ударить по протону в слое парафина. Выбитый протон наблюдается в камере Вильсона позади.

Ирен и Фредерик Жолио Кюри, обнаружили, что **когда между бериллием или бором и детектором помещается пластинка водородсодержащего вещества**, то наблюдаемый **уровень радиации увеличивается почти вдвое**. Несмотря на то что ни Ирен, ни Фредерик, не дали обнаруженному явлению верного объяснения, проведенные ими эксперименты измерения проложили путь для открытия в 1932 г. Джеймсом Чедвиком нейтрона – электрически нейтральной составной части большинства атомных ядер.



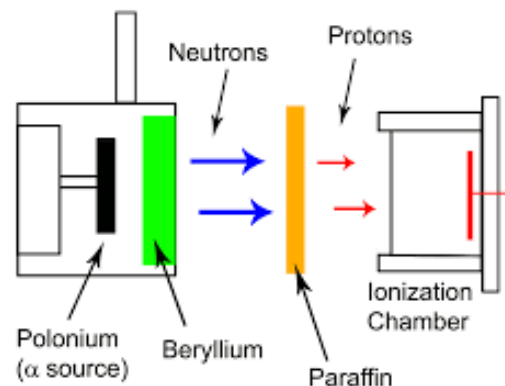
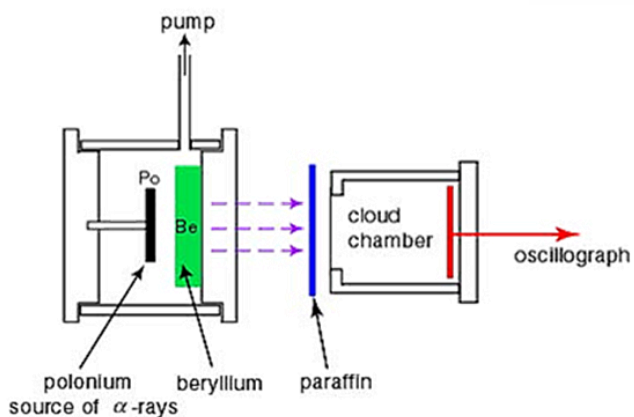
Позднее Жолио-Кюри пришли к убеждению, что часть алюминия и бора в подвергнутых анализу образцах превратилась в новые химические элементы. Более того, эти новые элементы были **радиоактивными: поглощая 2 протона и 2 нейтрона альфа-частиц, алюминий превратился в радиоактивный фосфор, а бор – в радиоактивный изотоп азота**. В течение непродолжительного времени Жолио-Кюри получили много новых радиоактивных элементов.

В 1938, изучая **радиоактивность урана**, вызванную **нейтронами**, совместно с П. Савичем установила, что одним из продуктов ядерной реакции является не трансурановый элемент, как тогда предполагали, а **лантан**, элемент средней части периодической системы Менделеева. **Проверив** вскоре опыты И. Кюри, немецкие физики **О. Ган и Ф. Штрассман** открыли явление деления ядер урана под действием нейтронов.

Radioactive gentleman: James Chadwick

Радиоактивный джентльмен: Джеймс Чедвик

Открытие нейтрона



Чедвик сталкивал излучение, выходящее из источника (**Po-Be**), не только с протоном (парафин), но также с гелием и азотом.

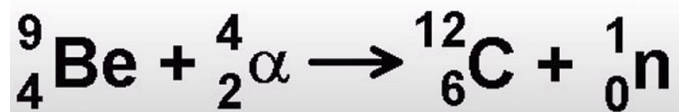
Сравнивая результаты этих экспериментов друг с другом, Чедвик пришел к выводу, что это загадочное излучение от источника (**Po-Be**) нельзя интерпретировать, предполагая, что это гамма-излучение.

В конце концов он пришел к выводу, что все можно понять без противоречий, предположив, что таинственное излучение — это электрически нейтральные частицы с почти такой же массой, как у протона.

Пол Чедвик был очень заинтересован в отчете Жолио-Кюри. Он повторил эксперименты, используя источник полония-бериллия (**Po-Be**).

Схема его экспериментальной установки показана на рисунке.

Высокоэнергетическое излучение, испускаемое источником (**Po-Be**) с левой стороны, направляется в **камеру Вильсона**, перед которой расположен слой **парафина**. Излучение рассеивается протоном в парафине, и фотография протона отдачи делается в **камере Вильсона**.



Это подтверждение существования «нейтрального протона», предсказанного Резерфордом. Чедвик назвал эту частицу «**нейтроном**» (1932).

● ЗАМЯТНИКИ ●

The discovery of the neutron and its consequences (1930–1940)

C. R. Physique 18 (2017) 592–600



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Comptes Rendus Physique

www.sciencedirect.com

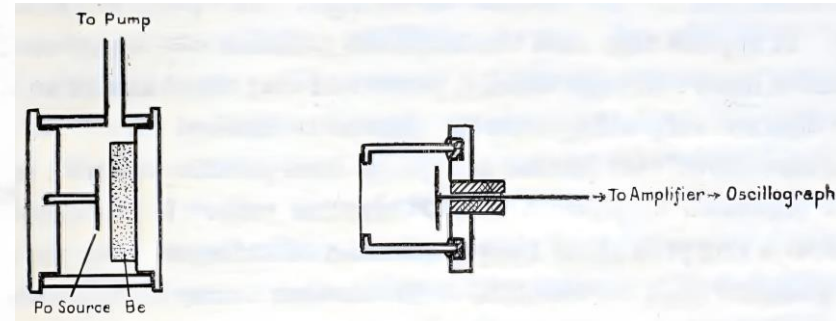
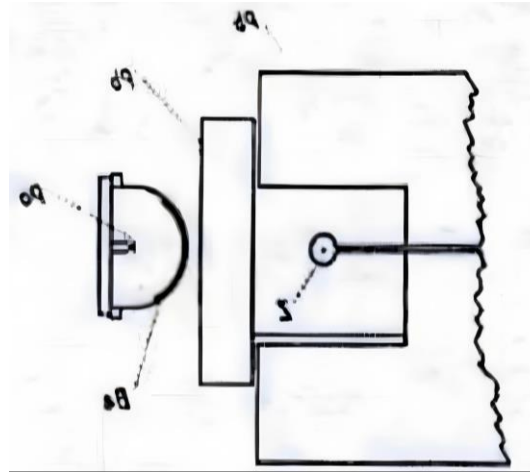


The Comptes rendus de l'Académie des sciences throughout history / Les Comptes rendus de l'Académie des sciences à travers l'histoire

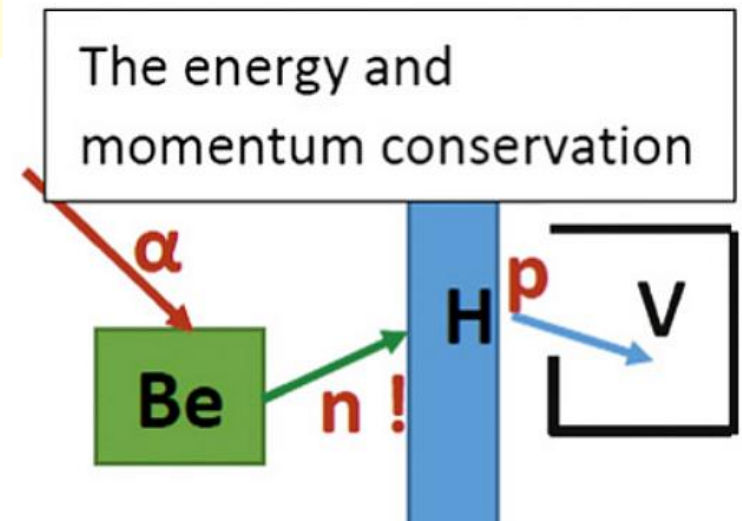
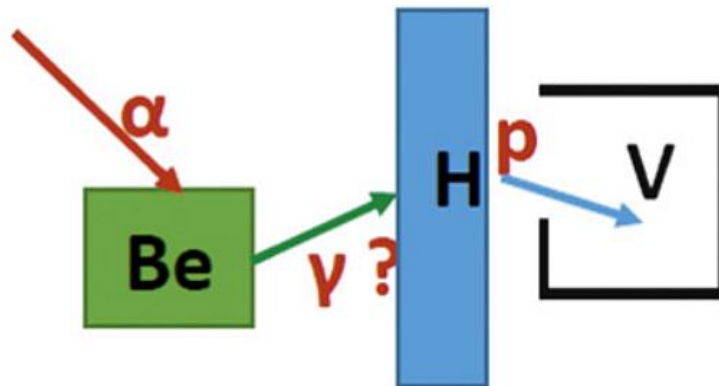
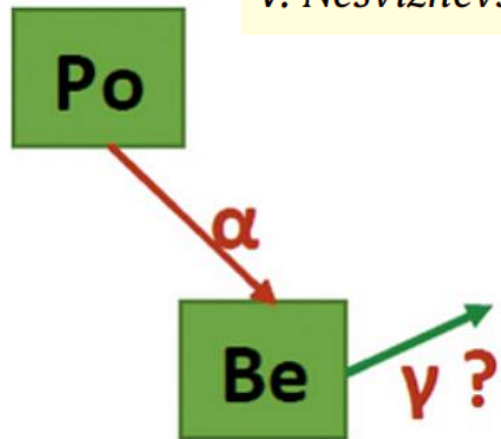
The discovery of the neutron and its consequences (1930–1940)

La découverte du neutron et ses conséquences (1930–1940)

Valery Nesvizhevsky, Jacques Villain *



V. Nesvizhevsky, J. Villain / C. R. Physique 18 (2017) 592–600



БЛОГ: ПРОВИДЦЫ В ВЕНЕ В 1920-Х ГОДАХ

Женские ядерные исследования в Вене

После 1918 года Институт исследований радия оставался на передовой в мире благодаря разумному сотрудничеству и многим женщинам, частично неоплачиваемым, ведущим исследованиям.

блог / Майкл Фембек

19 сентября 2024 г., 09:33

19 сентября 2024

14 сообщений

Читайте позже

В гостевом блоге Михаэль Фембек посвящает несколько частей исследованию радиоактивности в Вене в 1920-х годах. [Первую статью вы можете найти здесь](#).



Фото в открытом доступе, фон создан с помощью Midjourney.com

В 1920 году Стефан Майер (1872–1959) взял на себя управление Институтом исследований радия, который начинался столь многообещающе и был хорошо обеспечен филантропическим капиталом незадолго до падения монархии (см. последний [блог](#)). Мейер



Элизабет Рона,
сидящая, с **Элизабет Карамихайловой**,
крайней справа, **Бертой Карлик**, **крайней слева**,
и еще одним ученым в
Институте радия в Вене.
Находясь там, **Рона**
узнала, что **полоний**
можно использовать в
некоторых
экспериментах в
качестве замены более
дорогого **радия**.



Элизабет Рона пережила многих своих коллег, которые преждевременно умерли от болезней, связанных с воздействием радиации. **Она всегда была осторожна, купила себе защитный противогаз**, когда ее руководитель отказался, и **пережила по крайней мере два взрыва в лаборатории**.

Neutron Multiplication Studies in Beryllium for Fusion Reactor Blankets

Исследования по размножению нейтронов в бериллии для blankets термоядерных реакторов

Хотя сечение ${}^9\text{Be}(n,2n)$ хорошо известно как функция энергии, мало что известно об энергии и угловом распределении вторичных нейтронов в лабораторной системе.

Применение бериллия:

Используется как эффективный нейтронный умножитель в конструкциях blankets термоядерных реакторов.

Исследовательская программа:

Проводится в рамках программы по нейтронной физике в Institut für Reaktorentwicklung der Kernforschungsanlage Jülich GmbH.

Измерения:

Оценивалось размножение нейтронов в бериллии, вызванное нейтронами с энергией 14 МэВ. Измерения проводились в прямоугольной геометрии.

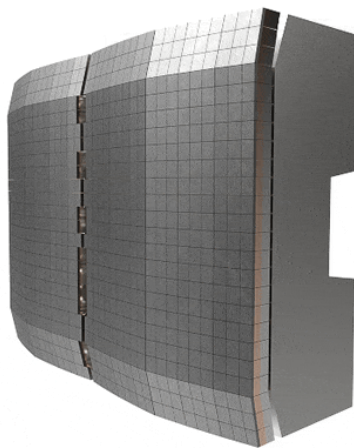
Толщина бериллия варьировалась до 20 см.

Результаты:

Экспериментальные значения размножения нейтронов на 25% ниже расчетных для всех толщин.

Импlications:

Низкие значения размножения вызывают сомнения в пригодности бериллия как нейтронного умножителя для достижения полезных коэффициентов воспроизводства трития в термоядерных реакторах.

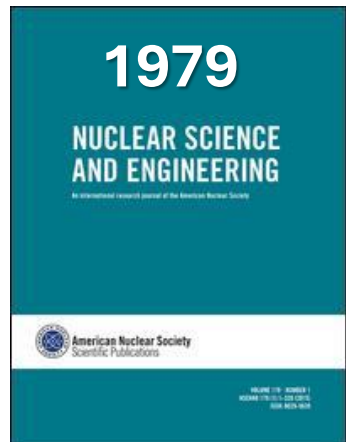


Basu, T. K. (1979). Neutron Multiplication Studies in Beryllium for Fusion Reactor Blankets. Nuclear Science and Engineering, 70(3), 309–313.

<https://doi.org/10.13182/NSE79-A20153>

M. BLOSER, "Absolute Measurement of the ${}^9\text{Be}(n,2n)$ Cross Section in the Energy Region of 2.37 to 3.24 MeV," Jil-834-RG, Institut für Reaktorentwicklung der Kernforschungsanlage Jülich (1972).

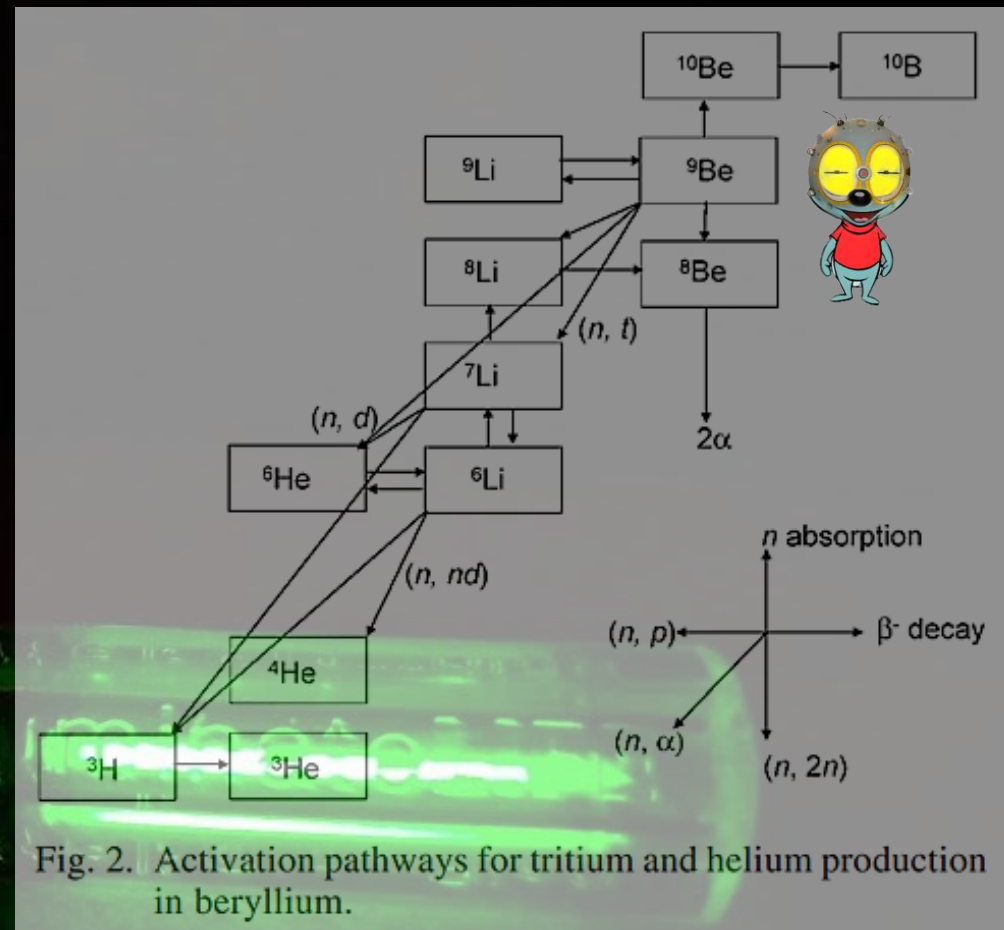
SM. D. GOLDBERG et al., "Neutron Cross Sections," BNL-325, Vol. I, 2nd ed., Suppl. No.2, Brookhaven National Laboratory (1964).





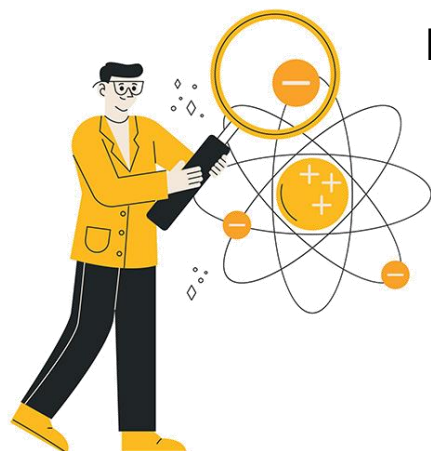
Tritium!

Реакция нейтронов с бериллием производит тритий (^3H), что имеет значение и для управления ядерными отходами.



Структурные повреждения в сильно облученном бериллии низкой плотности могут привести к значительным выбросам трития.

Многоликая восьмерка: что зашифровано в юбилейном логотипе атомпрома



Модель атома

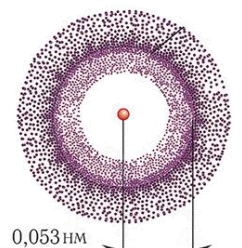


Рис. 198-1. Схема электронного облака атома водорода

Планетарная и квантово-механическая



Александр Сергеев - Ученый

Научный руководитель Национального центра физики и математики, академик РАН

изображение электронных облаков вокруг ядра атома в возбужденном (восьмерка) и основном (ноль) состоянии.



Владимир Ружников - Дизайнер

Начальник отдела художественного оформления и дизайна, центр коммуникаций «Росатома»

Символ оживляет визуальный образ и «Росатома», и всей отечественной атомной промышленности.



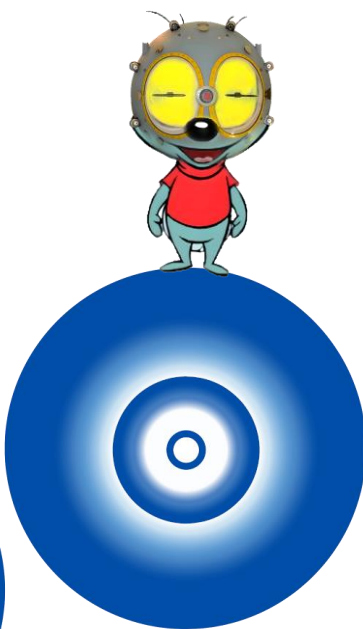
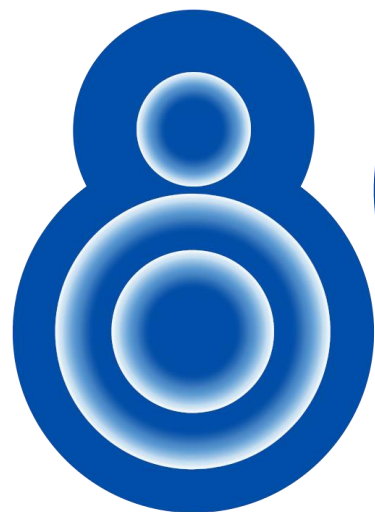
Андрей Тимонов - Пиарщик

Директор департамента коммуникаций «Росатома»

Неваляшка - качество стойко держаться назло всем негативным событиям было особенно свойственно основателям атомной отрасли.



● замятнинки ●



ЛЕТ
АТОМНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ



«Выдающиеся научные открытия делаются не потому, что они полезны, а потому, что они оказались возможными, – это глубокая и неоспоримая истина.» Роберт Оппенгеймер

ИСТОРИЯ СОВЕТСКОГО АТОМНОГО ПРОЕКТА:

от РДС-1 до АЭС



Ю.Б. Харитон

Замятнин, Юрий Сергеевич - советский физик, доктор физико-математических наук, профессор, лауреат Сталинской премии (1953 г.) за исследования в области ядерной физики, связанные с разработкой и испытанием изделия РДС-6с, и Ленинской премии (1962 г.) за работы по конструированию термоядерного оружия.

За научную работу и организацию ряда научных направлений по решению проблем в ходе реализации Атомного проекта СССР он награжден четырьмя орденами Трудового Красного Знамени.

В ОИЯИ работал с 1976 года - в ЛЯР, затем с 1984-го - в ЛНФ, где и работал всю последующую жизнь, 24.03.2008.





● замятнинки ●



«Выдающиеся научные открытия делаются не потому, что они полезны, а потому, что они оказались возможными, – это глубокая и неоспоримая истина.» Роберт Оппенгеймер



Замятнин, Юрий Сергеевич - советский физик, доктор физико-математических наук, профессор, лауреат Сталинской премии (1953 г.) за исследования в области ядерной физики, связанные с разработкой и испытанием изделия РДС-6с, и Ленинской премии (1962 г.) за работы по конструированию термоядерного оружия.

За научную работу и организацию ряда научных направлений по решению проблем в ходе реализации Атомного проекта СССР он награжден четырьмя орденами Трудового Красного Знамени.

В ОИЯИ работал с 1976 года - в ЛЯР, затем с 1984-го - в ЛНФ, где и работал всю последующую жизнь, 24.03.2008.



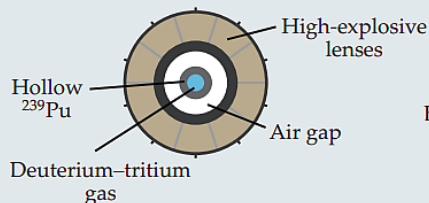
TWO APPROACHES TO THERMONUCLEAR WEAPONS

Volume 70, Issue 4
1 April 2017

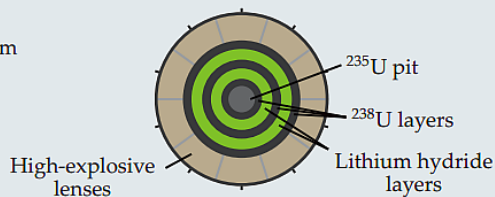
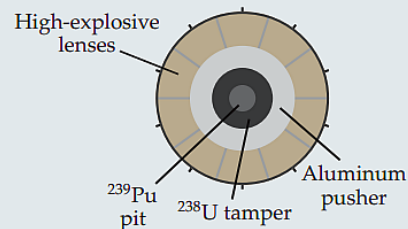
The secret of the Soviet hydrogen bomb

Was the first Soviet thermonuclear device really a step in the wrong direction?

Deuterium-boosted fission bomb (US Greenhouse Item, 1951)



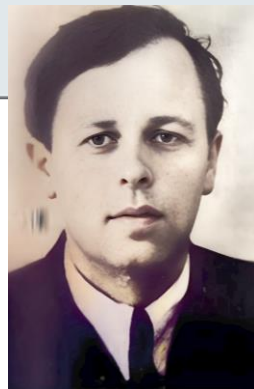
Basic implosion fission bomb (US Fat Man, 1945; USSR RDS-1, 1949)



Sloika (USSR RDS-6s, 1953)

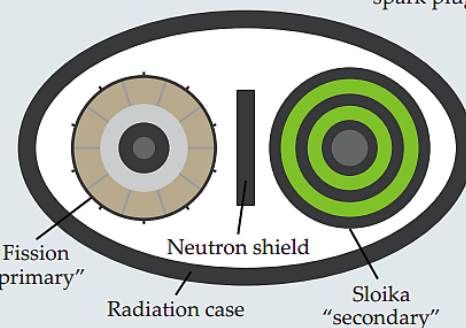
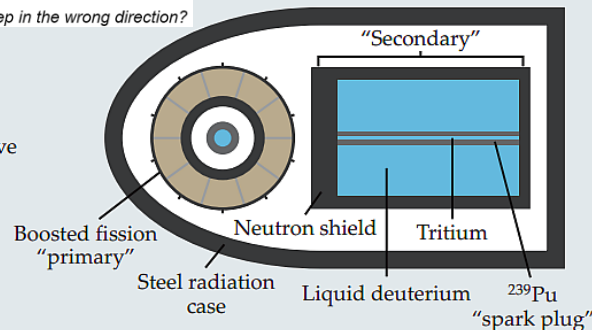


Джон фон Нейман. В 1946 г. вместе с К.Фуксом запатентовал способ детонации термоядерного заряда «классический супер» посредством радиационного обжаривания.



Андрей Дмитриевич Сахаров. В 1948 г. предложил конструкцию бомбы с чередующимися слоями урана-238 и дейтерия («слойка»). Соавтор (вместе с Я.Б.Зельдовичем) концепции конструирования двухступенчатой водородной бомбы РДС-37.

Teller-Ulam design (US Ivy Mike, 1952)



Sakharov Third Idea design (USSR RDS-37, 1955)

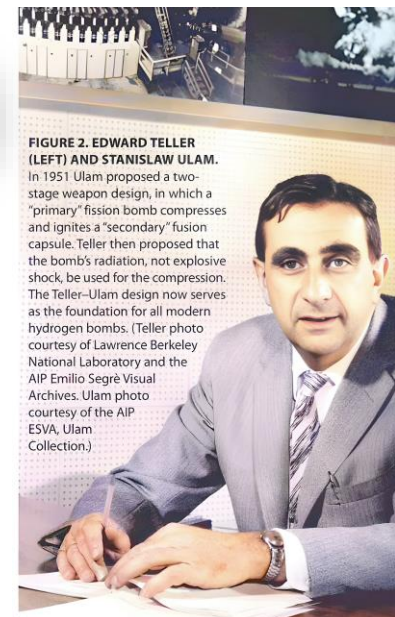


FIGURE 2. EDWARD TELLER (LEFT) AND STANISLAW ULAM. In 1951 Ulam proposed a two-stage weapon design, in which a "primary" fission bomb compresses and ignites a "secondary" fusion capsule. Teller then proposed that the bomb's radiation, not explosive shock, be used for the compression. The Teller-Ulam design now serves as the foundation for all modern hydrogen bombs. (Teller photo courtesy of Lawrence Berkeley National Laboratory and the AIP Emilio Segrè Visual Archives; Ulam photo courtesy of the AIP ESVA, Ulam Collection.)

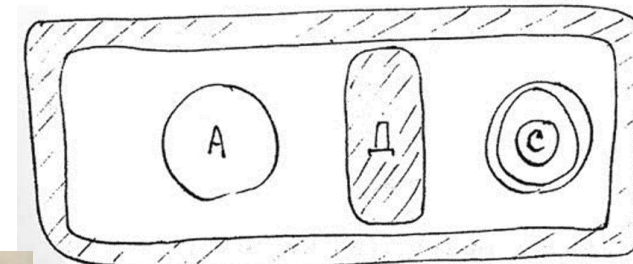
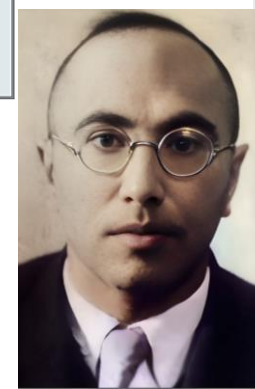
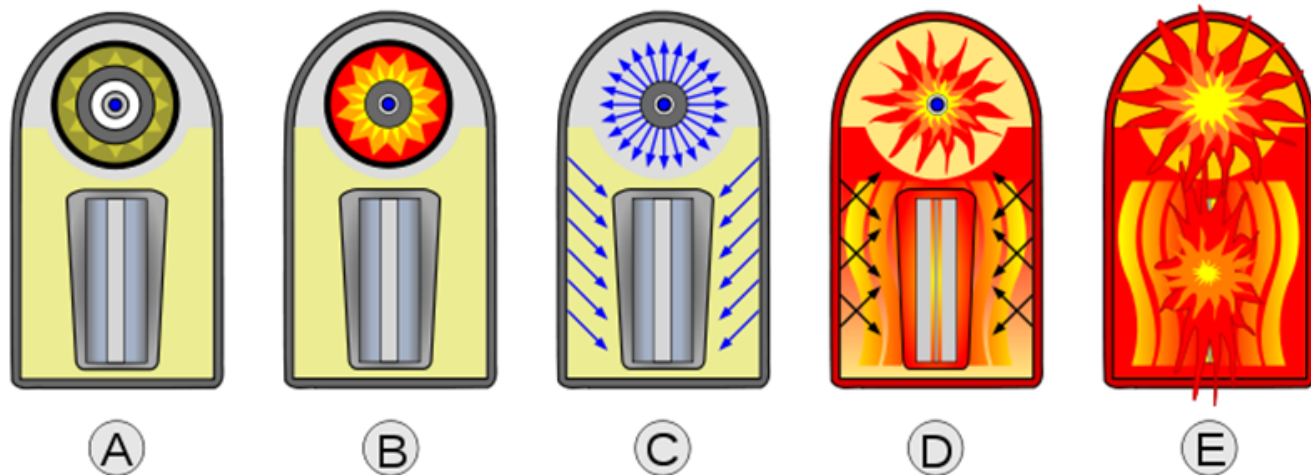


FIGURE 3. ANDREI SAKHAROV is pictured next to the first formulation of the "Third Idea," a heavy box containing an atomic bomb (A), a neutron shield or diaphragm (Д, the Cyrillic letter for "D"), and a Sloika (С, the Cyrillic letter for "S"). (Sakharov photo from the Russian Federal Nuclear Center, VNIIEF Museum and Archive, courtesy of the AIP Emilio Segrè Visual Archives; diagram adapted from ref. 8, doc. 56, p. 128.)

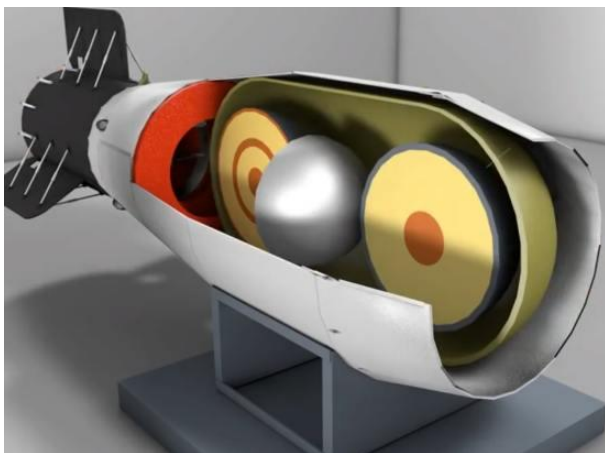


Яков Борисович Зельдович – соавтор (вместе с А.Д.Сахаровым) концепции конструирования двухступенчатой водородной бомбы РДС-37.

Английский физик Клаус Фукс. Внес значительный вклад в программу «Супер», разрабатывавшуюся в Лос-Аламосе. Передавал советской разведке сведения о работах в США по атомной и водородной бомбам. Возвратился в Англию. Провел девять лет в британской тюрьме. Снимок сделан в ГДР в 1960 г., когда он уже был на свободе.



А Боеголовка перед взрывом; первая ступень вверх, вторая ступень вниз. Оба компонента термоядерной бомбы.
 В Взрывчатое вещество подрывает первую ступень, сжимая ядро плутония до сверхкритического состояния и инициируя цепную реакцию расщепления.
 С В процессе расщепления в первой ступени происходит импульс рентгеновского излучения, который распространяется вдоль внутренней части оболочки, проникая через наполнитель из пенополистирола.
 D Вторая ступень сжимается вследствие абляции (испарения) под воздействием рентгеновского излучения, и плутониевый стержень внутри второй ступени переходит в сверхкритическое состояние, инициируя цепную реакцию, выделяя огромное количество тепла.
 Е В сжатом и разогретом дейтериде лития-6 происходит реакция слияния, испускаемый нейтронный поток является инициатором реакции расщепления тампера. Огненный шар расширяется...



АН-602
 Термоядерная авиационная бомба
КУЗЬКИНА МАТЬ!
 Самое мощное взрывное устройство за всю историю человечества

Search Google Maps



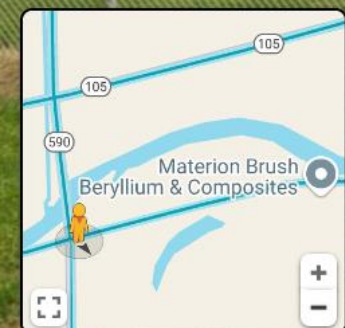
← 14998 Township Rd 18

Elmore, Ohio

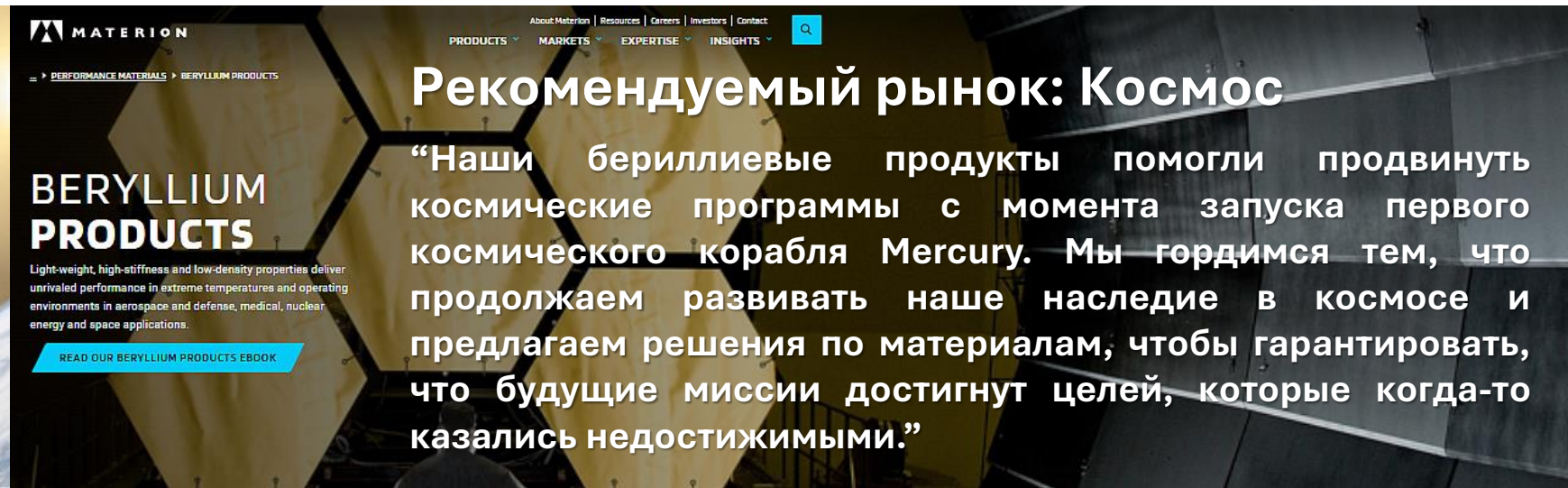


Google Street View

May 2024 See more dates



Google



MATERION

PRODUCTS MARKETS EXPERTISE INSIGHTS

PERFORMANCE MATERIALS > BERYLLIUM PRODUCTS

BERYLLIUM PRODUCTS

Light-weight, high-stiffness and low-density properties deliver unrivaled performance in extreme temperatures and operating environments in aerospace and defense, medical, nuclear energy and space applications.

READ OUR BERYLLIUM PRODUCTS EBOOK

Рекомендуемый рынок: Космос

“Наши бериллиевые продукты помогли продвинуть космические программы с момента запуска первого космического корабля Mercury. Мы гордимся тем, что продолжаем развивать наше наследие в космосе и предлагаем решения по материалам, чтобы гарантировать, что будущие миссии достигнут целей, которые когда-то казались недостижимыми.”

- 1931 --- Brush Beryllium Company** с уставным капиталом в 500 долларов была зарегистрирована 9 января 1931 года в Кливленде, штат Огайо.
- 1933 ---** материалов из оксида бериллия для использования в радиолампах и других областях .
- 1939 --- Правительство США проявило интерес к бериллию для своих совершенно секретных оборонных разработок.**
- 1961 ---** Командир Алан Б. Шепард стал первым американцем, совершившим полет в космос. Теплозащитный экран, изготовленный Brush, а также черепица и пластины из бериллия обеспечили поверхность входа в атмосферу капсулы.
- 1964 ---** Известный гонщик Эй Джей Фойт одерживает победу в гонке «Индианаполис 500» с комплектом «теплосберегающих и экономичных» бериллиевых тормозов от Brush Materials.
- 1969 --- Brush** разрабатывает месторождения берtrandитовой руды в штате Юта, строя новую шахту и перерабатывающую фабрику, что делает Brush единственным полностью интегрированным производителем бериллия, бериллиевых сплавов и бериллиевой керамики.
- 2020 --- Materion** приобрела компанию Optics Balzers, производителя тонкопленочных оптических покрытий.
- 2023 --- Materion** укрепляет свои позиции на рынке коммерческой космонавтики, размещая новые заказы на материалы, используемые в космических двигательных установках.

mdr WISSEN

Термоядерная электростанция

Почему ядерный синтез (пока) не решает нашу энергетическую проблему
Энергоснабжение является особенно спорным вопросом в федеральной избирательной кампании. Некоторые партии поддерживают ядерный синтез как возможный вариант.

Но является ли термоядерная энергия решением энергетической проблемы?

Месторождения
циннвальдита в
Рудных горах



Литиевый кризис: почему бы нам не добывать его самим?

Электромобильность является основным драйвером мирового спроса на литий.

В настоящее время металл активно добывается в Австралии, Китае и Южной Америке. Однако крупные месторождения имеются также в Германии.

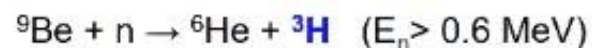
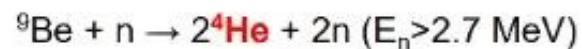
Proceedings of the 15th International Workshop on Beryllium Technology (BeWS-15)
September, 14-15, 2022, Karlsruhe, Germany
Pavel Vladimirov, Christopher Dorn, Ramil Gaisin (eds.)

MDR KULTUR - Das Radio
Di 21.01.2025 11:02Uhr
04:20 min

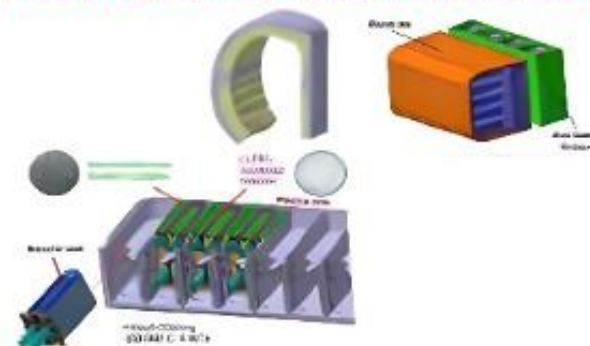
Beryllium application in fusion technology

- Application as a “First Wall” material in ITER.
- As neutron multiplier material in different tritium-breeding blanket concepts for the future demonstration fusion power plant DEMO.

Production of helium and tritium (^3H) by transmutation reactions



Helium Cooled Pebble Bed Blanket



Prediction of irradiation resistance of beryllium pebbles under close-to-fusion conditions.

- operation temperature,
- accumulated damage dose,
- amount of helium and tritium generated by neutron-induced transmutation.

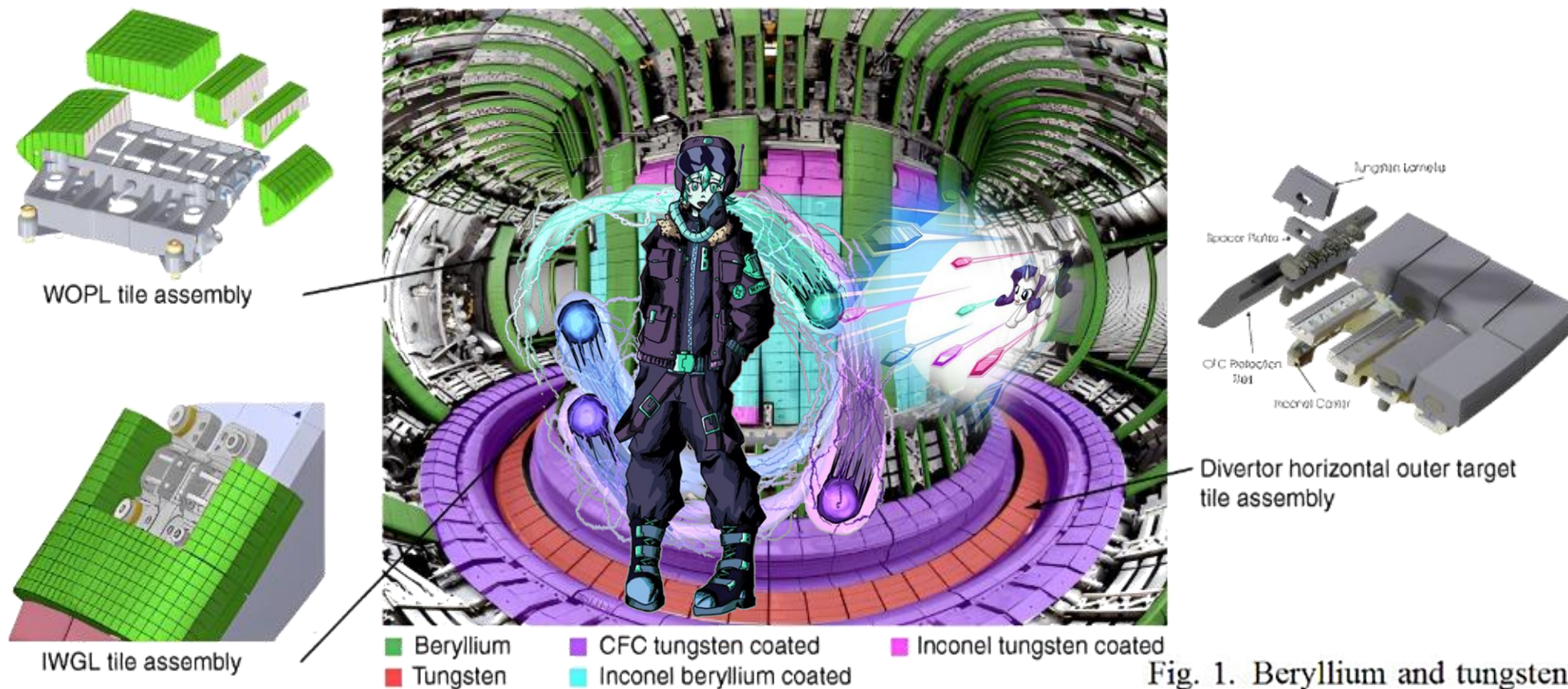


Fig. 1. Beryllium and tungsten components in JET.

Обзор **JET ILW PFC**. Первая стенка (**зеленая**, **голубая** и **пурпурная**) в основном состоит из объемного **бериллия**, плиток с бериллием или вольфрамовым покрытием. Покрытые плитки сделаны либо из **CFC**, либо из **Inconel**.

Дивертор (**красный** и **фиолетовый**) состоит из объемного вольфрама или плиток с вольфрамовым покрытием **CFC**.

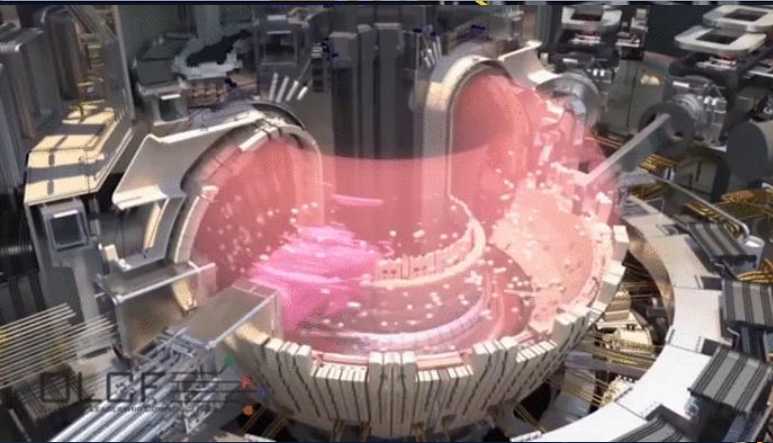
Детали сборки плиток показаны для широкого внешнего полоидального ограничителя, **IWGL** и горизонтального дивертора, внешней цели (объемный **W**).

JET ILW PFC - Joint European Torus (JET) ITER-Like Wall (ILW) Plasma-Facing Components (PFCs).

IWGL - Inner Wall Guard Limiter; **WOPL** - Woven Outer Plasma-facing Layer; **CFC** – Carbon Fiber Composites;

INCOnel - International Nickel Company (INCO), n-(from "nickel"), "el" (from "element").

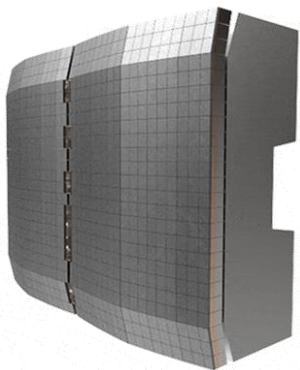
Первые стеновые панели и щитовые блоки



МАШИНА

Что такое токамак?

Организация ИТЭР приняла решение в 2023 году изменить материал брони, запланированный для первой стенки blankets ИТЭР, заменив бериллий на вольфрам. Обоснование этого изменения двоякое. Во-первых, все будущие термоядерные устройства, разработанные для горячей плазмы, планируют использовать вольфрам в качестве материала брони; в этом контексте работа ИТЭР с бериллием не соответствовала дорожной карте термоядерного сообщества по термоядерной энергии. Во-вторых, особые опасения по поводу бериллия — например, количество пыли, образующейся в результате эрозии, токсичность металла и последствия для обслуживания, а также недавнее моделирование, которое предполагает, что сильное плавление бериллия во время ненормальных плазменных событий при средних плазменных токах может привести к преждевременному выходу из строя панелей первой стенки из-за индуцированных электромагнитных сил — оправдали рассмотрение альтернативы.



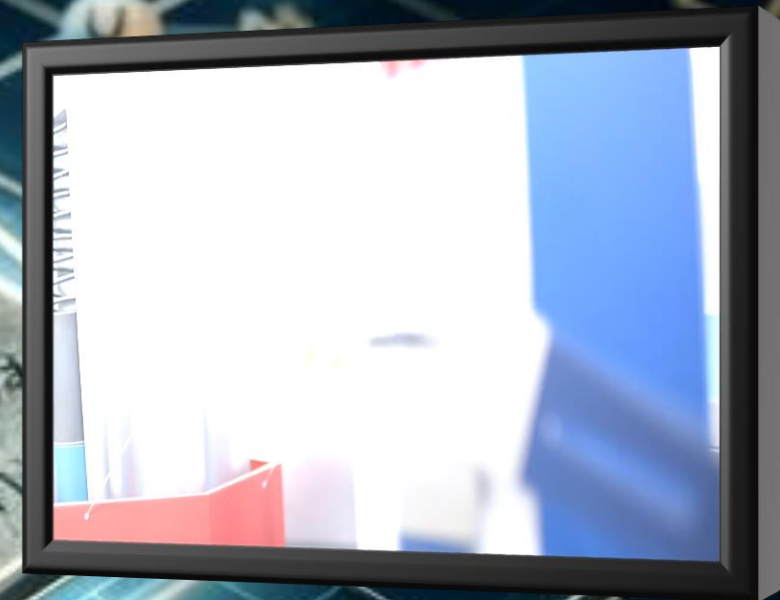
Бериллий был естественным «getterом» кислорода, образуя стабильный оксид (BeO). Способность бериллия поглощать кислород особенно важна в термоядерных реакторах, где он помогает контролировать загрязнение плазмы и улучшать ее характеристики. Его кислородопоглощающие свойства помогают поддерживать целостность первой стенки и предотвращать загрязнение.

Новый процесс — борирование — должен быть реализован в токамаке для покрытия вольфрамовой стенки тонким слоем бора с целью улучшения захвата атомов кислорода, которые могут увеличить загрязнение плазмы.

Nuclear Data
Need for....

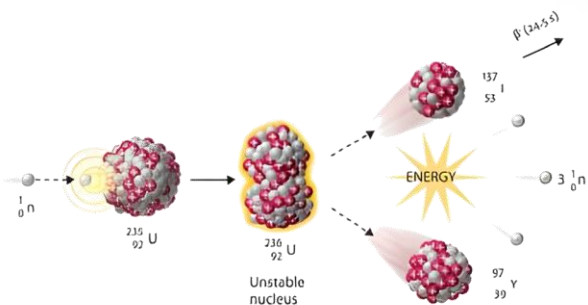
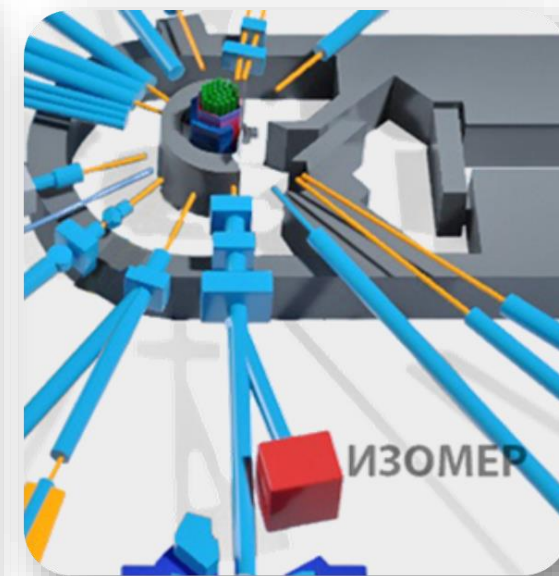
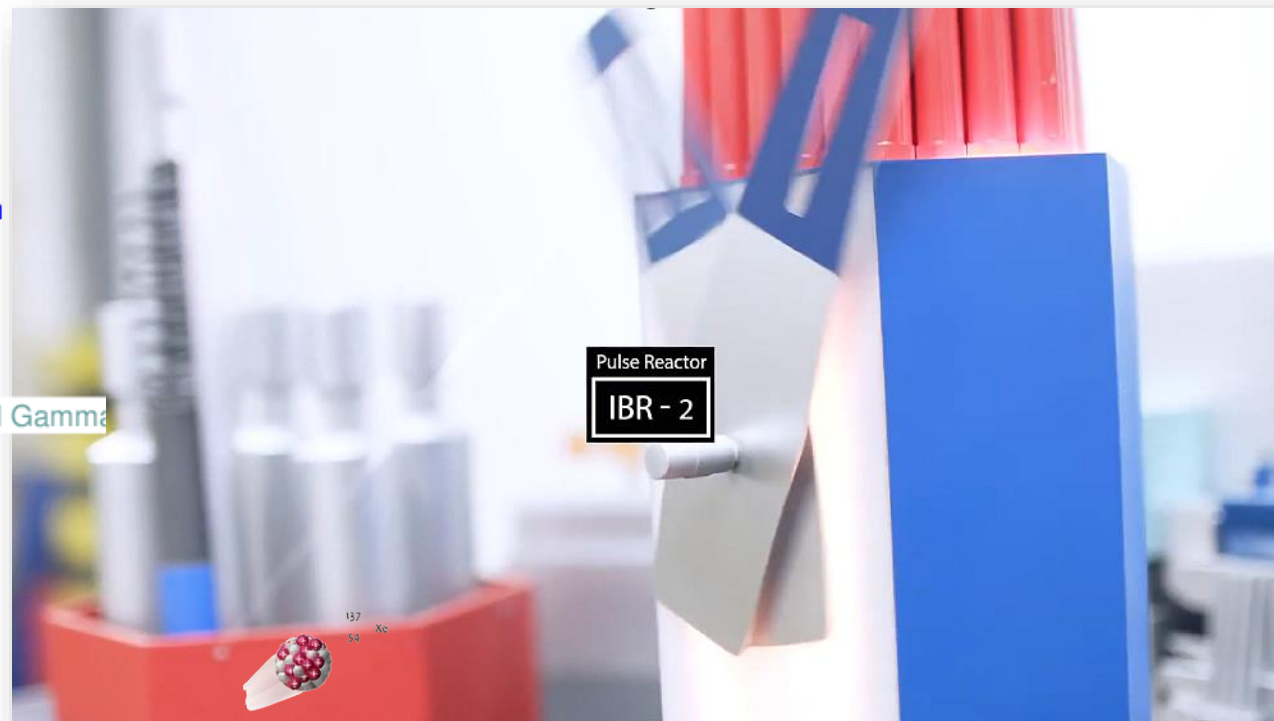
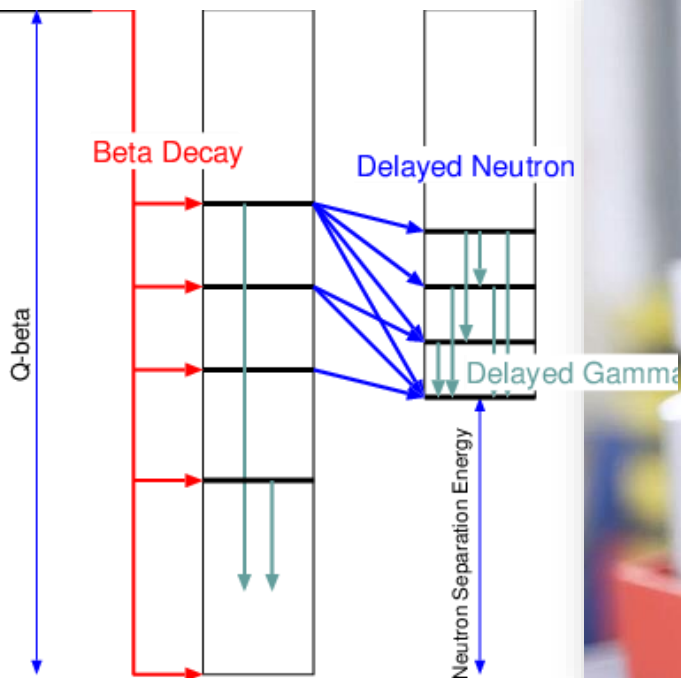
For new missiles and
nuclear reactors

Для новых ракет и
атомных реакторов



Бериллий, один из редких металлов, необходим для развития науки и техники. Лёгкость, прочность, твёрдость, термостойкость делают его незаменимым в оборонной промышленности, авиастроении, ракетостроении, электронике и электротехнике. В частности, его используют: как легирующую добавку для увеличения прочности, твёрдости, электро- и теплопроводности сплавов; **для производства замедлителей и отражателей нейтронов в атомных реакторах**; для производства «окон» рентгеновских трубок, откуда выходит рентгеновское излучение; как конструкционный материал в авиастроении, ракетостроении и космической технике.

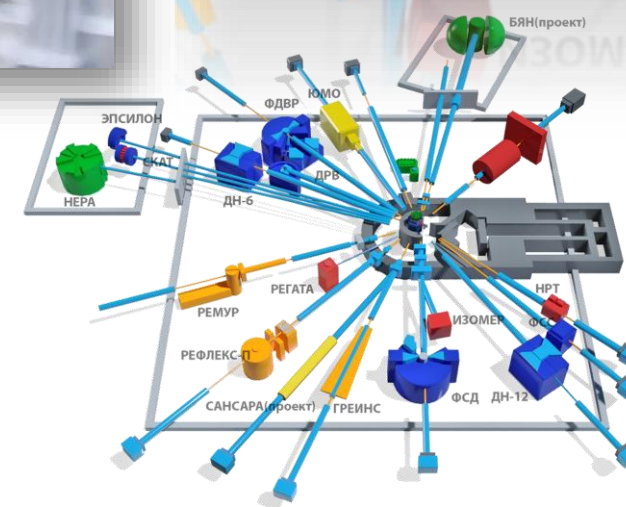
В атомных реакторах из бериллия изготавливают замедлители и отражатели нейтронов, Ампульные изотопные нейтронные источники: (^{241}Am -, ^{210}Po -, ^{239}Pu - ^9Be ($^9\text{Be} + \alpha \rightarrow n + ^{12}\text{C}^*$))



<https://flnp.jinr.int/ru/glavnaya/ustanovki/ibr-2>

<https://flnp.jinr.int/ru/glavnaya/ustanovki/ibr-2/izomer>

<https://flnp.jinr.int/ru/glavnaya/ustanovki/ibr-2/regata>





Этот чертов кошачий глаз (Пережитки суеверия)

Кошачий глаз: разновидность минерала **хризоберилла**, содержащего бериллий, с оптическим эффектом, напоминающим глаз кошки.



Отношение к кошкам и бериллию: Автор выражает неприязнь к кошкам за их эгоизм и к бериллию из-за неудач в его использовании в ядерных установках.

Первая неудача: пайка бериллиевого «окна» для бустера ИБР+микротрон.

Вторая неудача: проблема с отражателем во время пуска ИБР-2 в 1978 году, который не обеспечивал нужную длительность импульса.

Третья неудача (1999–2000): создание холодного бериллиевого отражателя, который не соответствовал требованиям физиков.

Разработка новых технологий: После множества неудач автор продолжает работать над проектами, связанными с бериллием, несмотря на предостережения и сложности.

Заключение В конце текста автор иронично отмечает, что без бериллия невозможно достичь поставленных целей, подчеркивая парадокс своего отношения к этому элементу.



«Выдающиеся научные открытия делаются не потому, что они полезны, а потому, что они оказались возможными, – это глубокая и неоспоримая истина.». Дж. Роберт Оппенгеймер.

“А я не люблю ни кошек, ни бериллий. Кошек, потому что они эгоисты, а бериллий — потому что, в моей практике создания ядерных установок, **использование** этого замечательного, во всех отношениях, металла (самый легкий, самый прочный и не поглощающий нейтроны) **приносило** только неудачи“. Е.Ш.

Не спрашивай.
От тепла
распаялся.

Как дела?
Запаял
Источник ?



Умельцы ядерных технологий

Что только там не вытворяли!
Вклад живота определяли,
Плутоний на пол уронили,
Полоний напрочь распылили
(Впервые, в Англии — потом).



В те дни пуска ИБРа в июне 1960 года в зону был поставлен **полоний-бериллиевый источник нейтронов**. Упакован он был в контейнер, запаянный из-за спешки легкоплавким припоем. **Контейнер источника плохо охлаждался, и были опасения, что он разгерметизируется.** Володя Ананьев сделал аккуратные тепловые расчеты и сказал Стависскому, что температура превысит точку плавления припоя. **Юрий Яковлевич**, проделав в уме расчеты по своей схеме, утверждал, что этого не будет, и дал добро на подъем мощности. **Источник распаялся...** Спустя 40 лет, летом 2000 года, на прогулочном теплоходе «Москвич» все здравствующие тогда участники пуска Первого в мире праздновали годовщину этого события, а Стависский и Ананьев схватились в жарком споре по поводу распаявшегося тогда источника. Суть спора соответствовала известному парадоксу: «**Кто был прав и в чем его вина**». Пришлось охлаждать пыл уже немолодых людей (в сумме обоим было тогда 137 лет).

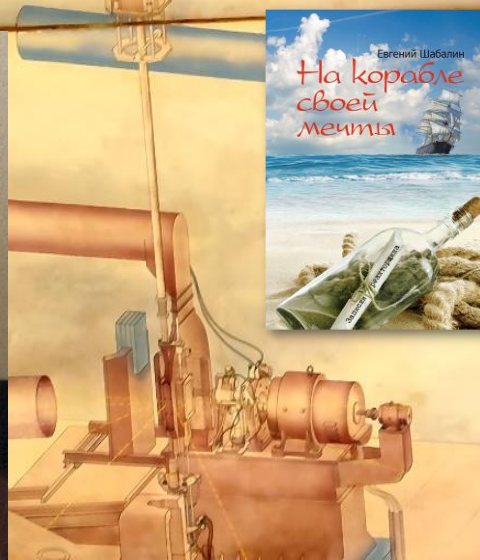
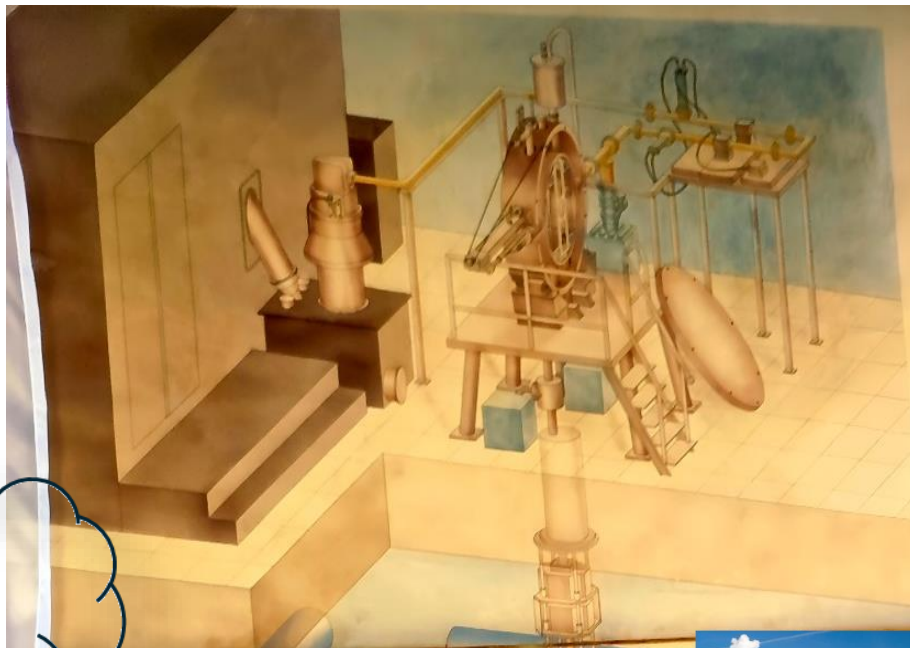
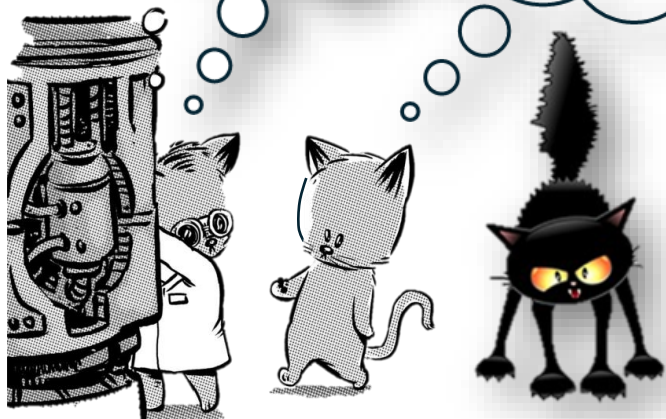
«Выдающиеся научные открытия делаются не потому, что они полезны, а потому, что они оказались возможными, – это глубокая и неоспоримая истина.». Дж. Роберт Оппенгеймер.

“А я не люблю ни кошек, ни бериллий.

Кошек, потому что они эгоисты, а бериллий — потому что, в моей практике создания ядерных установок, **использование** этого замечательного, во всех отношениях, металла (самый легкий, самый прочный и не поглощающий нейтроны) приносило только неудачи“. Е.Ш.

Не спрашивай.
Сгорел и...
улетел.

Как дела?
Где
Бериллий
?



Решил делать вакуумное донышко канала пучка электронов, "окно", из бериллия - самого легкого металла. Старшие коллеги предупреждали, что соединить тонкую фольгу бериллия с трубкой канала невозможно, к тому же бериллий ядовит. Но я настойчиво уцепился за бериллий - дело в том, что электроны рассеиваются на "окне", и чем оно тоньше и чем легче металл, тем больше электронов попадает на вольфрамовую мишень. Такие расчеты сделал лучший тогда в ЛНФ теоретик Виктор Николаевич Ефимов. Я нашел в технической литературе описание технологии специальной пайки бериллия с применением химикатов. Спаянный шов должен был иметь структуру стекла (что-то похожее на известный коваровый переход).

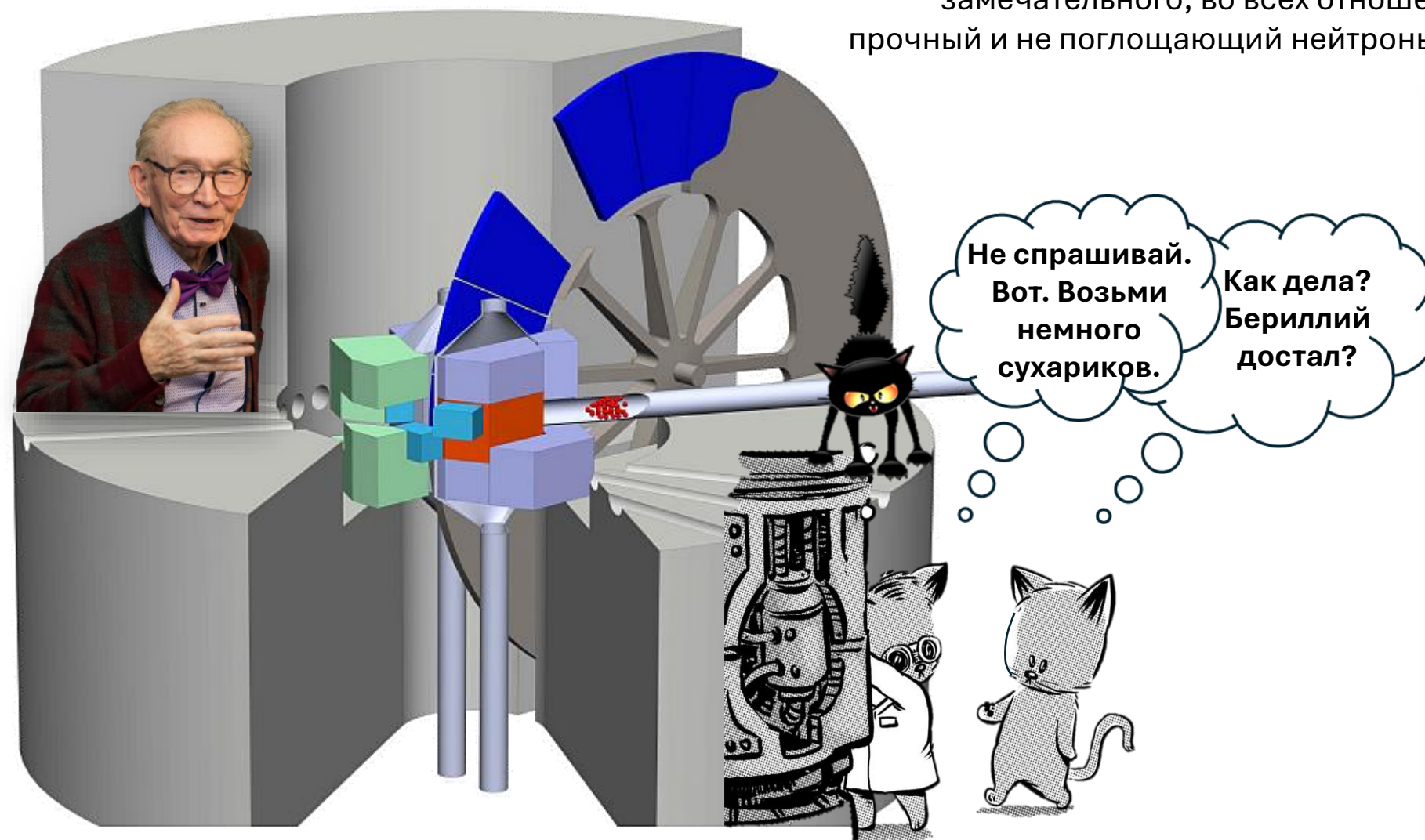
После химической обработки и нанесения флюса бериллиевая фольга была подвергнута нагреву... в результате которого мгновенно, чуть ли не со взрывом, превратилась в белый дым. Дым исчез в вент-трубе, и это спасло меня от разноса за "распыление отравляющего вещества".

$2\text{Be} + \text{O}_2 = 2\text{BeO}$ – оксид
(Бериллий сгорает на воздухе при температуре около 900°C)

«Выдающиеся научные открытия делаются не потому, что они полезны, а потому, что они оказались возможными, – это глубокая и неоспоримая истина.». Дж. Роберт Оппенгеймер.

“А я не люблю ни кошек, ни бериллий.

Кошек, потому что они эгоисты, а **бериллий** — потому что, в моей практике создания ядерных установок, **использование** этого замечательного, во всех отношениях, металла (самый легкий, самый прочный и не поглощающий нейтроны) **приносило только неудачи**“. Е.Ш.



«Выдающиеся научные открытия делаются не потому, что они полезны, а потому, что они оказались возможными, – это глубокая и неоспоримая истина.». Дж. Роберт Оппенгеймер

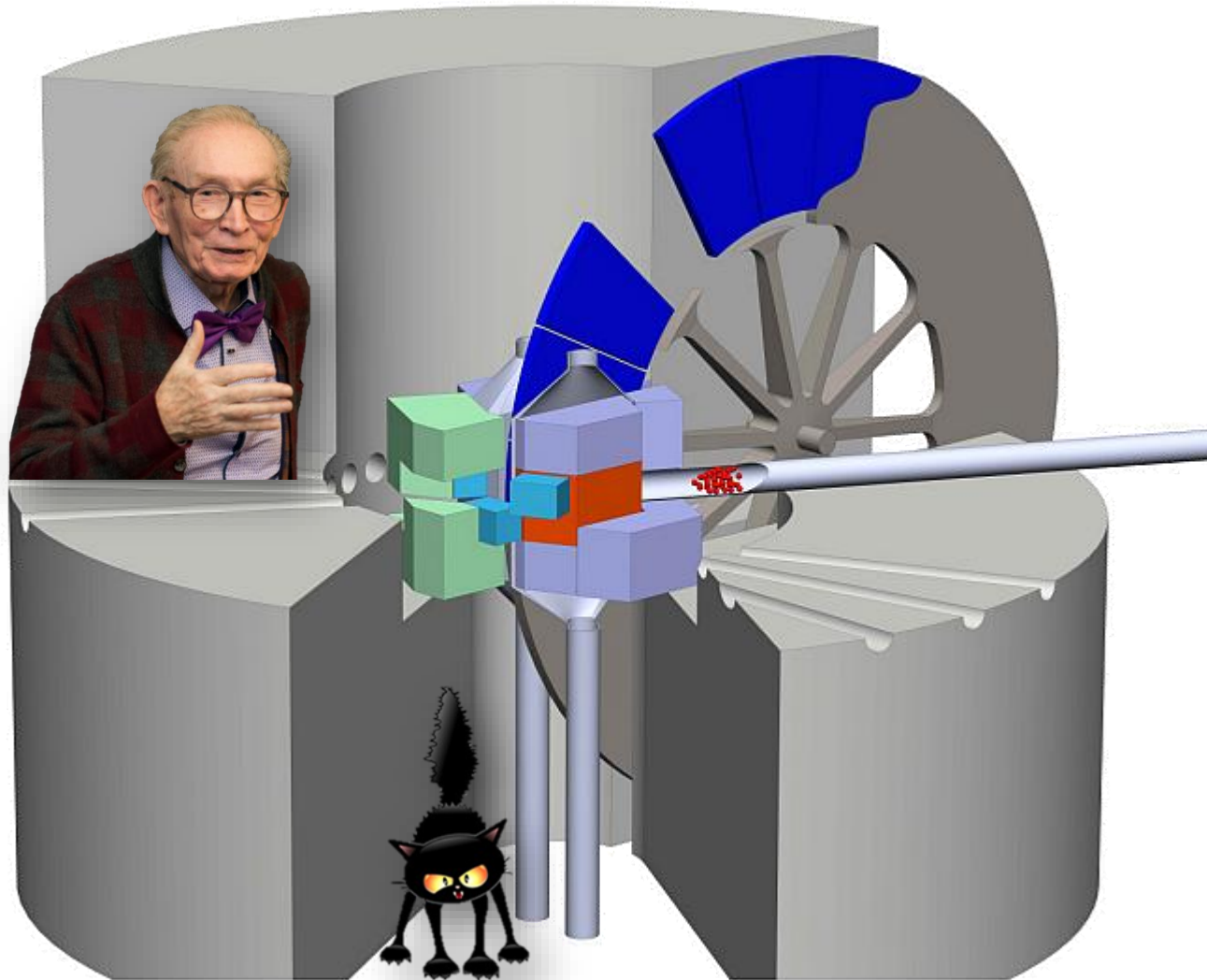
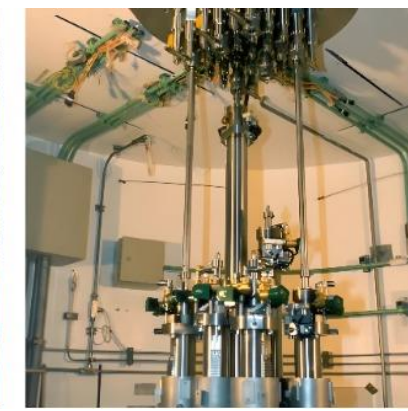
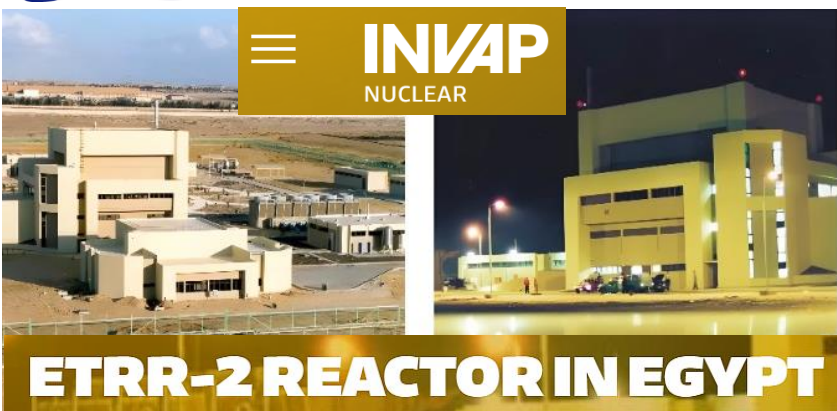


Схема NEPTUN с боковым расположением замедлителей (синие). Замедлители окружены бериллиевым отражателем (зеленые). Диск модулятора реактивности (синий – сектора гидрида титана) проходит между двумя отдельными частями активной зоны, окруженными никелевыми отражателями (фиолетовые). В одну из них поступает пучок ускоренных протонов (красные шарики). Выведенные нейтронные пучки проходят через каналы в бетонной защите. Колпак над активной зоной – выход теплоносителя.

Система аварийной безопасности будет реализована с помощью бериллиевых отражательных блоков.



Technical data

- **Reactor Type:** Open pool
- Thermal Power, Steady (kW): **22,000**
- **Max Flux SS, Thermal (n/cm2-s):** **2.8E+14**
- **Max Flux SS, Fast (n/cm2-s):** **2.2E+14**
- Thermal Power, Pulsed (MW): 0.00
- **Moderator:** Light Water
- **Coolant:** Light Water
- Forced Cooling: 2000 M3/H, upward
- Coolant Velocity in Core: 4.7 M/S
- **Reflector:** **Beryllium**
- Reflector Number of Sides: 4
- Control Rods Material: AG, IN, CD
- Control Rods number: 6

Experimental facilities

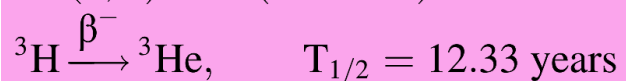
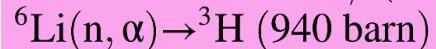
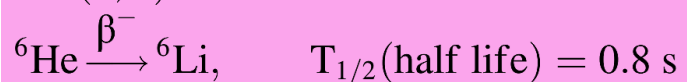
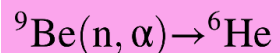
- Horizontal Channels: 5
- Horizontal Max Flux (n/cm2-s): **4.0E+9**
- **Horizontal Use :** Neutron research and radiography
- Vertical Channels: none
- Core Irradiation Facilities: 3
- Core Max Flux (n/cm2-s): **1.25E+14, thermal**
- Reflector Irradiation Facilities: 26
- Loops Number: 2
- Loops Max Flux: 8E13
- Loops use : **research, INAA**

Fuel data

- Origin of Fissile Material: Russia
- Enrichment Supplier: INVAP, Argentina
- Equilibrium Core Size: 40 DIA. X 48 X 80
- Plates per Element: 19
- Dimensions of Plates: 64 X 800 X 1.5
- Cladding Material: Aluminum Alloy
- Cladding Thickness, mm: 0.4
- Fuel Thickness, mm: 0.7
- Uranium Density, g/cm3: 3.017
- Burnup on Discharge, max %: 63.7
- Burnup Average, %: 61.7
- Last Shipment Year: 1997
- Last Receipt Year: 1997
- Fuel Fabricator: Argentina

Utilization

- Hours per Day: 24
- Days per Week: 1
- Weeks per Year: 48
- MW Days per Year: 920
- Materials/fuel test experiments: **Yes**
- **Isotope production:** **Yes**
- **Neutron Scattering:** **No**
- **Neutron radiography:** **Yes**
- **Neutron capture therapy:** **No**
- **Activation Analysis:** **Yes**
- **Transmutation:** **Yes**
- **Geochronology:** **No**
- **Teaching:** **Yes**
- **Training:** **Yes**
- **Other Uses:** **medical and nuclear solid state research, condensed matter research, nuclear engineering experiments**

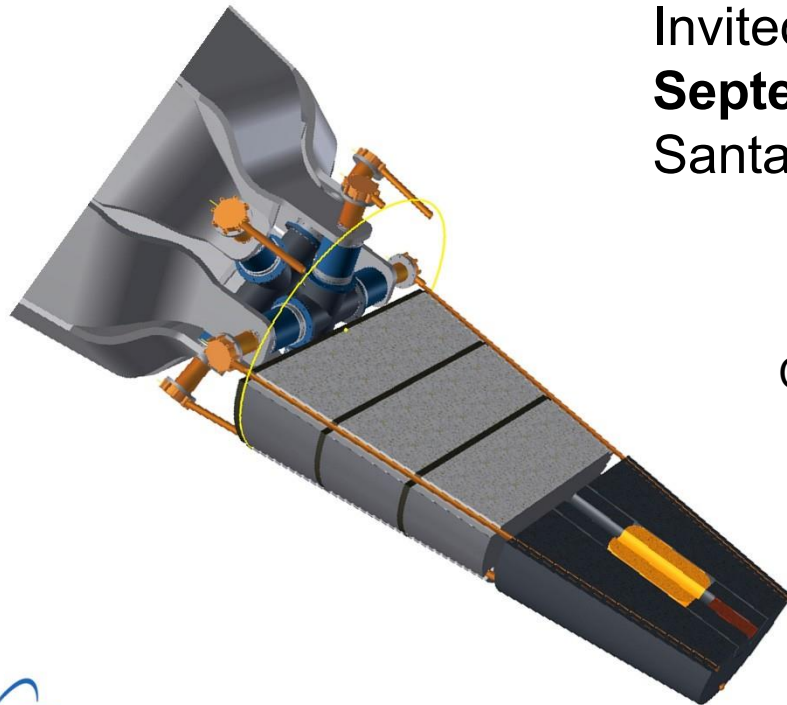
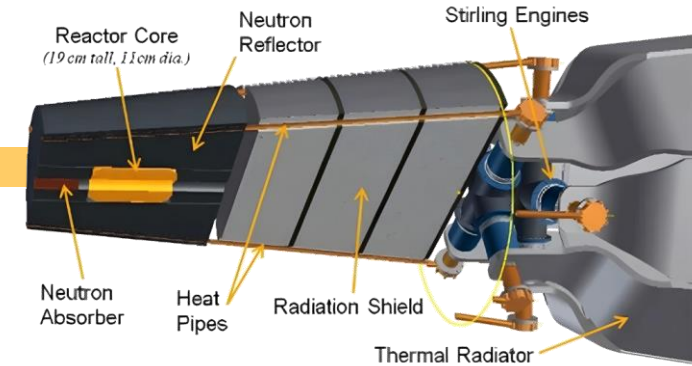


Как видно из уравнения, часть бериллия почти сразу превращается в ${}^6\text{Li}$, а поглощение нейтронов ${}^6\text{Li}$ производит тритий (${}^3\text{H}$), который распадается, производя ${}^3\text{He}$. Последний поглощает нейтроны, снова производя ${}^3\text{H}$ и так далее..... → снижение реактивности из-за поглощения нейтронов в бериллии.

Самое сильное отравление бериллием в результате длительного периода простоя (примерно 10 лет) приводит к значительному снижению реактивности активной зоны и продолжительности цикла (неготовности реактора). Бериллиевые элементы следует заменять или периодически менять для подтверждения готовности реактора.

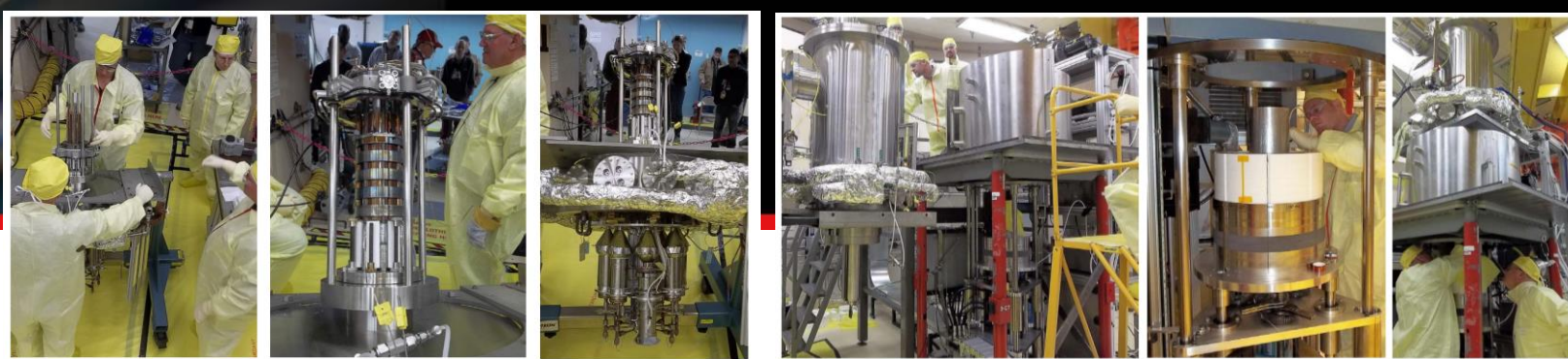
Design and Testing of Small Nuclear Reactors for Defense and Space Applications

Invited Talk to ANS Trinity Section
September 20th, 2013
Santa Fe, NM



Contact: Patrick McClure, pmcclure@lanl.gov
David Poston, poston@lanl.gov

Los Alamos National Laboratory



Overview of the Kilopower System Development and Testing at the Nevada National Security Site

Max Chaiken

Kilopower Project

NASA GRC

AIAA Briefing, June 20th, 2018



**Обзор разработки и тестирования системы Kilopower
на объекте национальной безопасности в Неваде**

Kilowatt Reactor Using Stirling TechnologY (KRUSTY)

Figure 4.—BeO radial reflectors (white) installed around centering ring and on Comet platen.



Kilopower System Overview



- **Fast spectrum nuclear reactor**

- **Uranium** / **Molybdenum** high temperature metal core
- **Beryllium Oxide (BeO)** radial and axial neutron reflectors
- **Boron Carbide (B₄C)** control rod

- **Heat pipe thermal transfer**

- Haynes 230 alloy pipes
- **Sodium** working fluid
- ~800 °C temperature

- **Radiation shield**

- **Lithium Hydride (LiH)** neutron shielding
- **Tungsten** or **Depleted Uranium** gamma shielding

- **Stirling engine thermal power conversion**

- Radioisotope Power Systems heritage
- High efficiency 30-40%

- **Heat rejection radiators**

- **Titanium**-water heat pipes
- ~100 °C temperature

1000 W: 400 kg

Titanium/Water Heat Pipe Radiator

Stirling Power Conversion System

Sodium Heat Pipes

Lithium Hydride/Tungsten Shielding

Beryllium Oxide Neutron Reflector

Uranium Moly Cast Metal Fuel

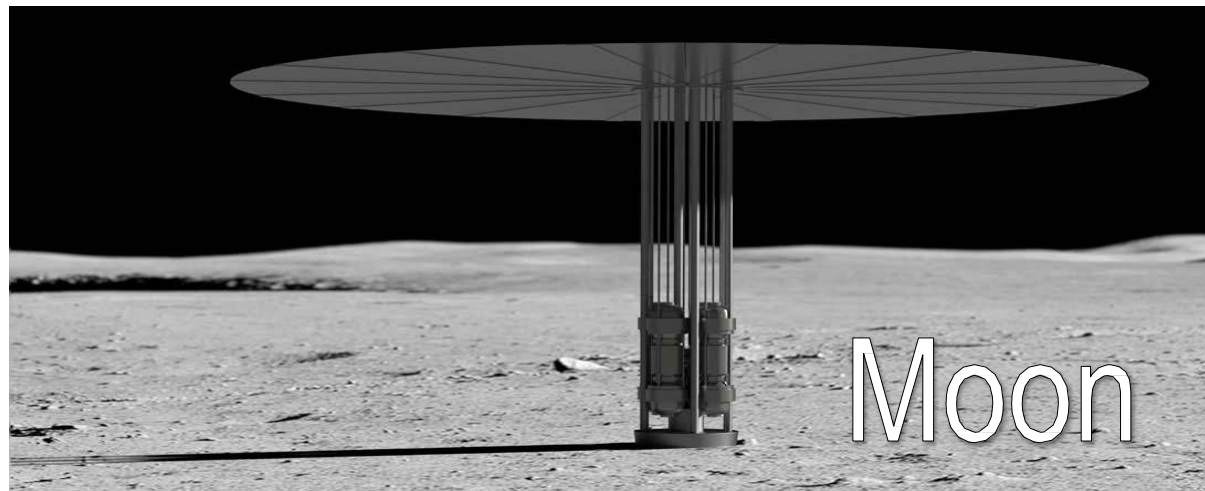
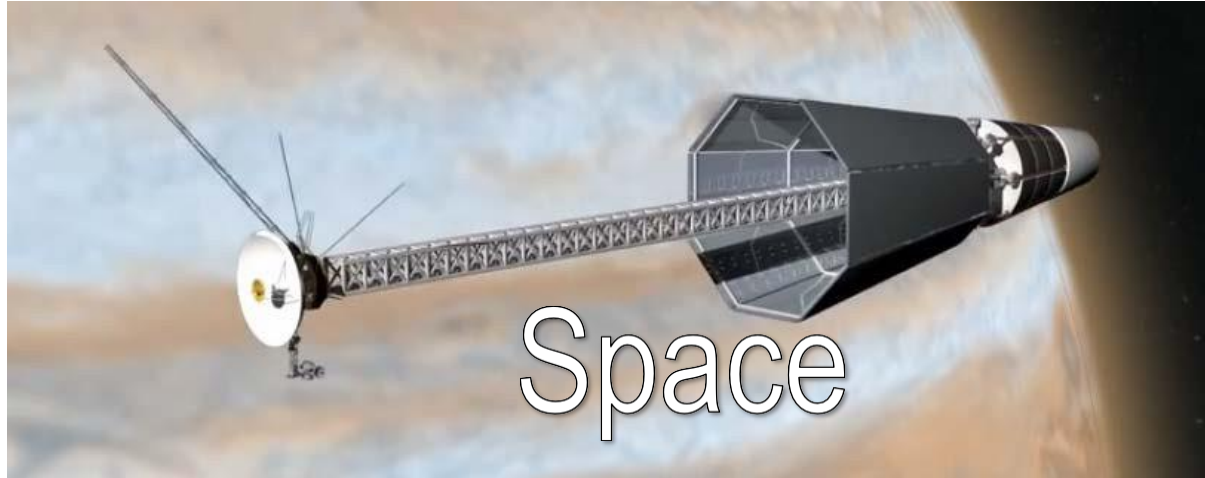
B₄C Neutron Absorber Rod



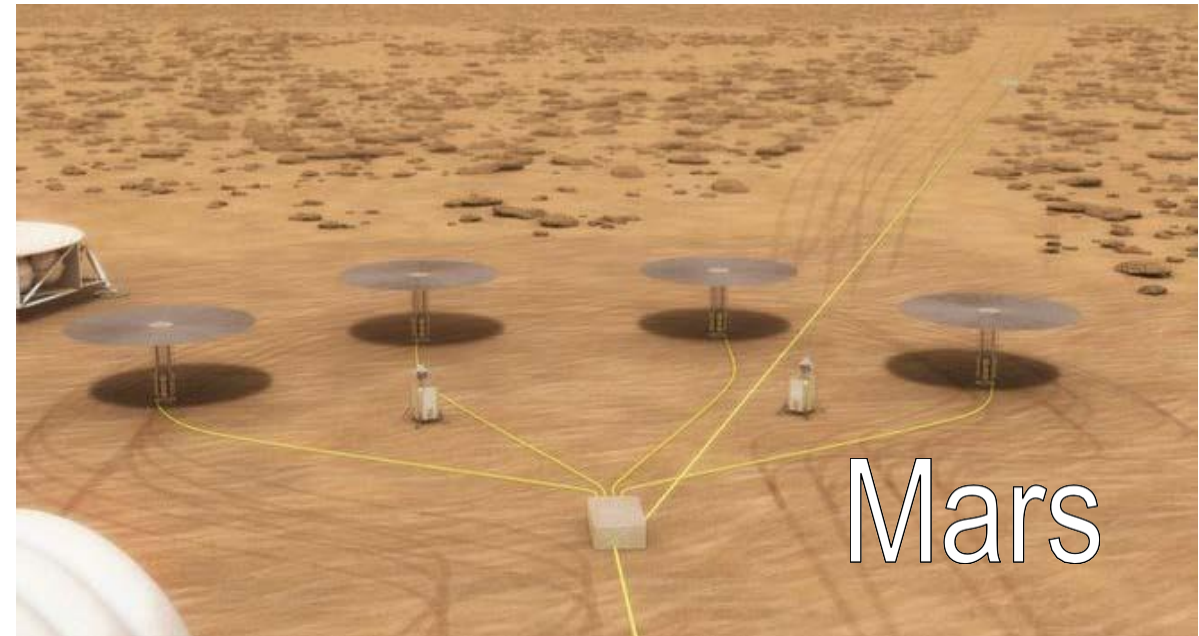
Fig. 1. Layout for 1-kW(electric) Kilopower system.



The Future of Kilopower



KRUSTY - Kilowatt Reactor Using Stirling Technology



Использование BeO в ядерных реакторах: замедлитель, отражатель, материал топливной матрицы

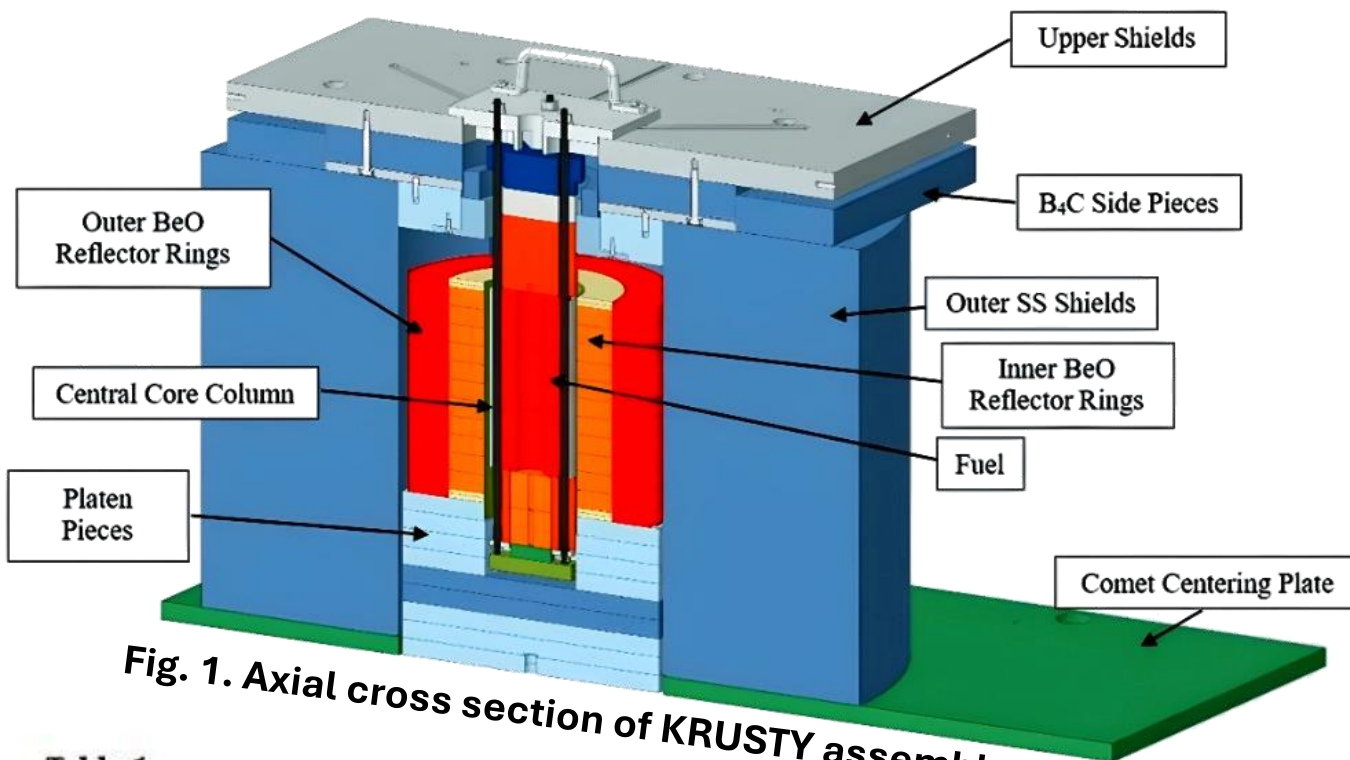


Fig. 1. Axial cross section of KRUSTY assembly

Table 1

The comparison of different moderator materials.

	Thermal neutron absorption cross section/barn (Primary/Avg Isotope) [16,22]	Slowing down power/cm ⁻¹	Moderating ratio
H ₂ O	H: 0.333 O: 0.00019	1.35 [17], 1.53 [18], 2.63 [22]	62 [13], 70 [17], 72 [18]
D ₂ O	D: 0.00052, 0.00057 [20,21] O: 0.00019	0.188 [17], 0.370 [18]	5000 [13], 2000 [17], 12000 [18]
Graphite	C: 0.0035	0.079 [16,22], 0.064 [17,18]	165 [13], 249.9 [16], 170 [17,18]
Be	Be: 0.0076	0.195 [16,22], 0.154 [17], 0.176 [18]	145 [13], 207.3 [16], 159 [17,18]
BeO	Be: 0.0076 O: 0.00019	0.151 [16,22], 0.13 [17]	266.9 [16], 180 [17]
δ-ZrH _{2-x}	Zr: 0.011/0.185H: 0.333	4.75 [16,22]	134.3 [16]
δ-YH _{2-x}	Y: 1.28H: 0.333	4.64 [16,22]	74.7 [16]

Тепловые реакторы

1. Требуется замедлитель для термализации нейтронов (например, вода, графит, **бериллий**)
2. Замедлитель вводит потенциальные положительные обратные связи реактивности

Быстрые реакторы

1. Без замедлителя
2. Могут быть меньше и проще (теоретически!)
3. Требуют более высокого обогащения из-за меньших сечений деления
4. Обеспечивают высокую степень пассивного управления и отслеживания нагрузки

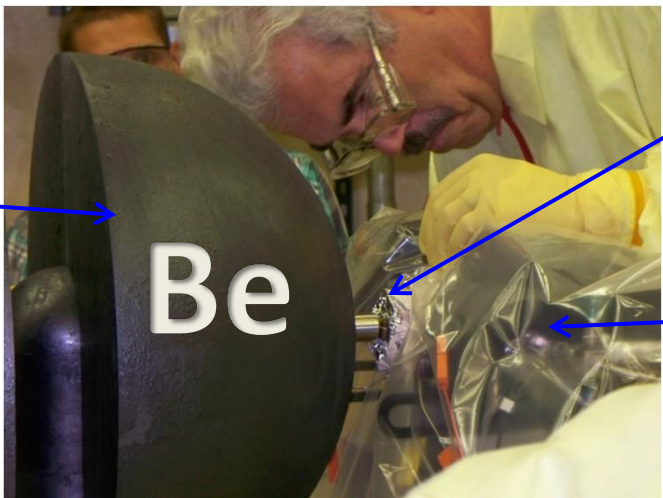
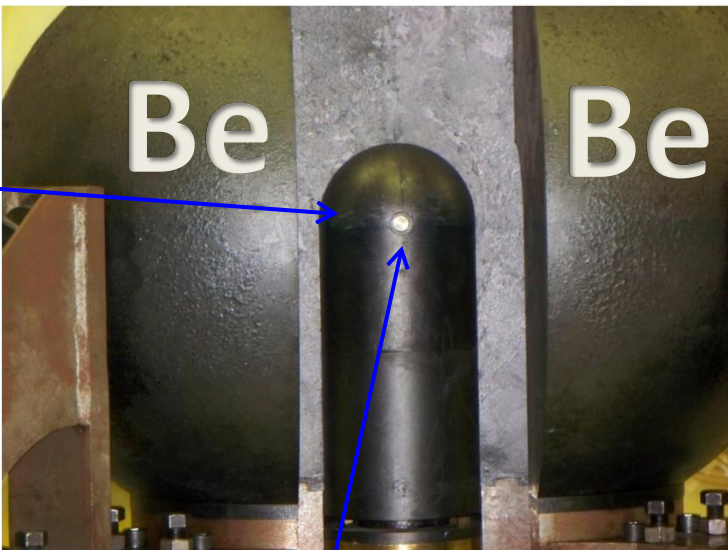
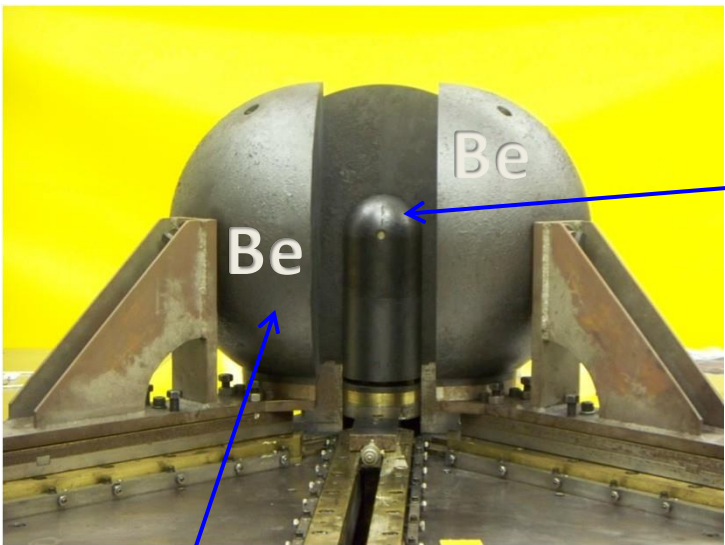


DUFF Experimental Setup - Core



Flattop core on pedestal with reflector

Close up picture of core



Core

Heat pipe

Reflector

Stirling Engine



Operated by Los Alamos National Security, LLC for NNSA

Unclassified

LA-UR-13-27054

Slide 1



Forschungszentrum Jülich GmbH

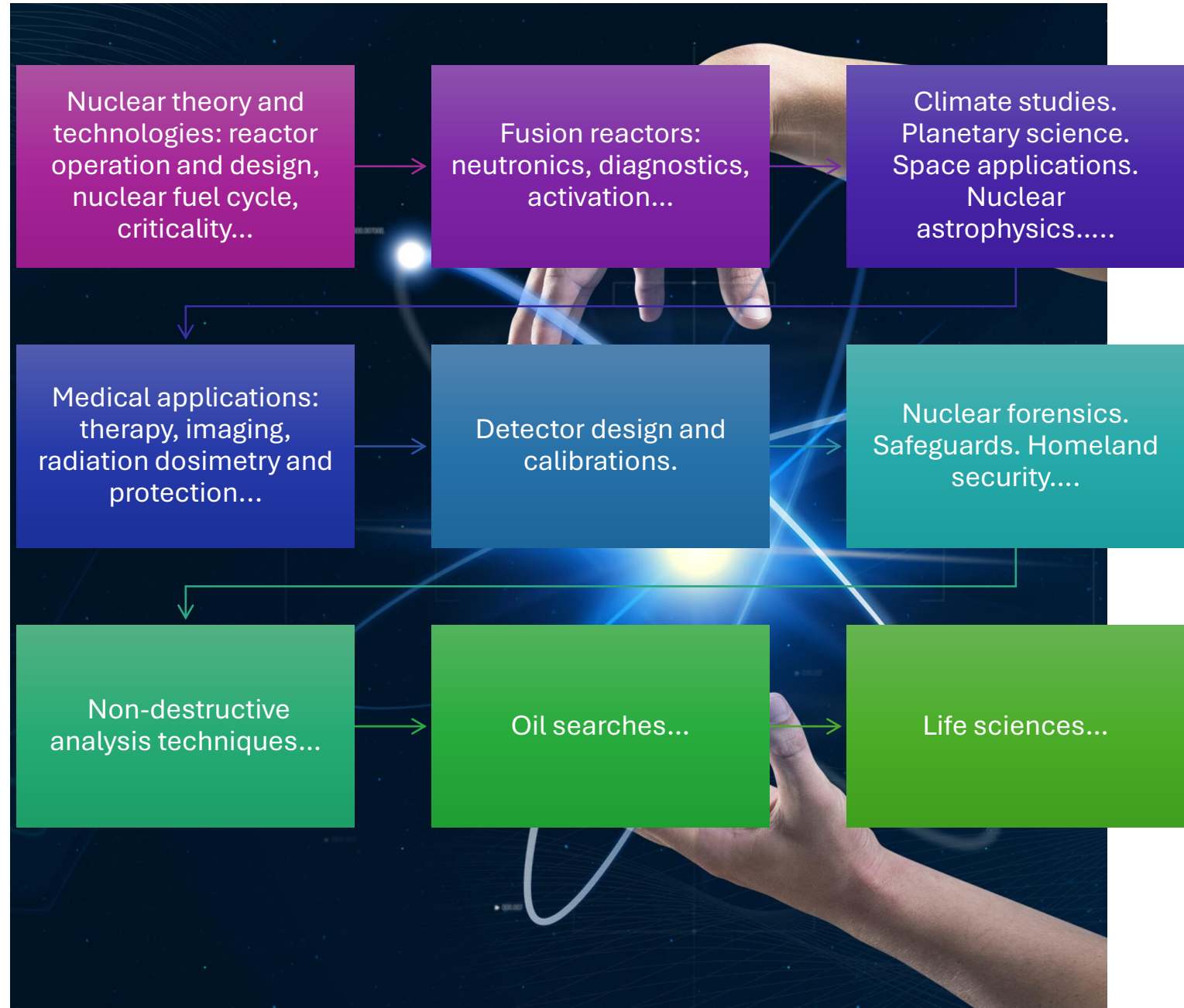
S.M.Qaim (Ed.)

Nuclear Data

for Science and Technology

Research Reports

Proceedings



- Nuclear reaction mechanisms (direct, compound, pre-equilibrium, other)
- Nuclear fission
- Statistical Hauser-Feshbach theory
- Surrogate methods
- Optical model
- Level densities and photon strength functions
- R-matrix theory
- Nuclear structure for nuclear reactions
- Measurements relevant to compound-nuclear reactions (direct and indirect)
- Nuclear data evaluation and dissemination (including Machine Learning, Statistics, Bayesian Inference)
- Applications in nuclear astrophysics, energy, waste management, nonproliferation, medical physics, etc.
- Experimental facilities

Nuclear Data Need for....

The SANDA and APRENDE European nuclear data projects

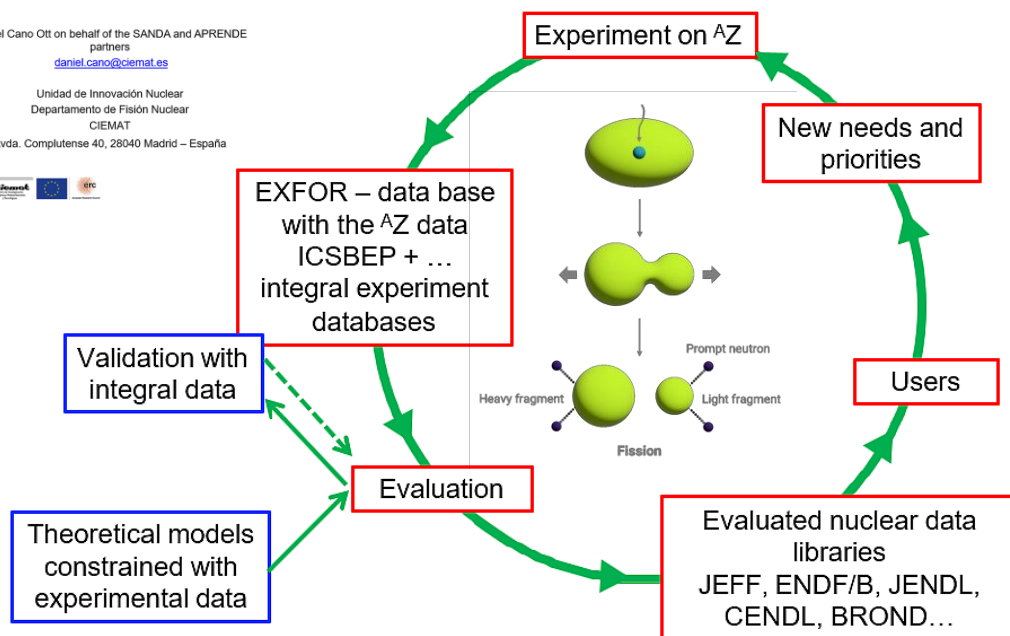
The nuclear data cycle

Daniel Cano Ott on behalf of the SANDA and APRENDE partners

daniel.cano@ciemat.es

Unidad de Innovación Nuclear
Departamento de Fisión Nuclear
CIEMAT

Avda. Complutense 40, 28040 Madrid – España



Forschungszentrum Jülich GmbH

S.M. Qaim (Ed.)

Nuclear Data

for Science and Technology

Research Report

- Nuclear reaction measurements.
- Nuclear structure.
- Decay data.
- Facilities & instruments.
- Sample preparation.
- Fission and spallation.
- Nuclear data for reactors (thermal & fast, ADS, SMR, MSR, ATF).
- Nuclear fusion.
- Nuclear astrophysics and space applications.
- Medical applications.
- Criticality safety.
- Isotope production.
- Nuclear theory.
- Monte Carlo simulation.
- Machine learning.
- Nuclear data evaluation.
- Standards.
- Integral experiments and validation.
- Dissemination.
- Education, training and



Ядерные данные по рассеянию нейтронов с энергией 14 МэВ на бериллии

Бериллий, благодаря своим уникальным структурным, химическим, атомным и нейтронным характеристикам сечения поглощения, используется в аэрокосмической и автомобильной промышленности, ракетах, ядерном оружии, рентгеновских приборах в медицине, сельском хозяйстве, пищевой промышленности, разведке нефти и газа, горнодобывающей промышленности, робототехнике, средствах безопасности.

Он успешно использовался в качестве отражателя нейтронов для трех поколений ядерных реакторов деления.

Сечение реакции ${}^9\text{Be}(n,t_1){}^7\text{Li}^* \rightarrow {}^7\text{Li} + \gamma(0,477 \text{ МэВ})$ можно измерить, обнаружив гамма-лучи под разными углами рассеяния.

Реакция ${}^9\text{Be}(n,2n)$ важна для разработки термоядерного реактора, поскольку это реакция размножения нейтронов, а ее сечение реакции относительно велико при энергии около 14 МэВ и дает информацию о ядерном механизме процесса $(n, 2n)$, поскольку различные ядерные реакции могут вносить вклад в сечение.

Ядерные данные для этой реакции напрямую влияют на нейтронные характеристики твердотельного blankets-размножителя для термоядерного реактора ИТЭР.

Метод времени пролета (TOF) можно использовать для отделения гамма-лучей от высокого нейтронного фона.

Более точная информация о взаимодействии нейтронов с энергией 14 МэВ с бериллием также повысит качество существующих библиотек с оцененными ядерными данными.

Progress of Shielding Integral Experiments at China Institute of Atomic Energy

YangBo-Nie, ShiYu-Zhang, YanYan-Ding, Qi-Zhao, KuoZhi-Xu, XinYi-Pan

ShiYu-Zhang

*Key Laboratory of Nuclear Data
China Nuclear Data Center(CNDC)
China Institute of Atomic Energy(CIAE)
Lanzhou Univeristy(LZU)
Beijing 102413, P.R.China
E-Mail: zsy20821@126.com*

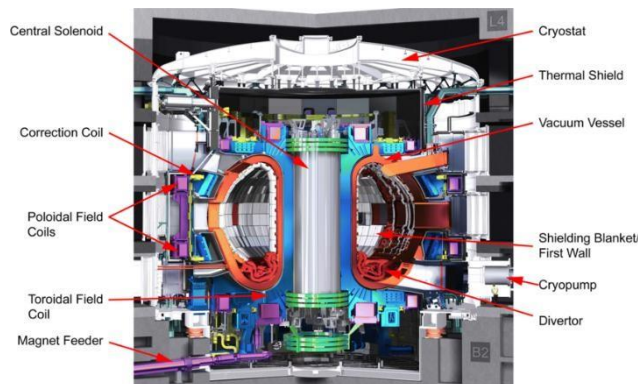


Current Focus of Integral Experiments

Current integral experiments focus on **precise measurements at multiple angles and thicknesses** for key nuclides.

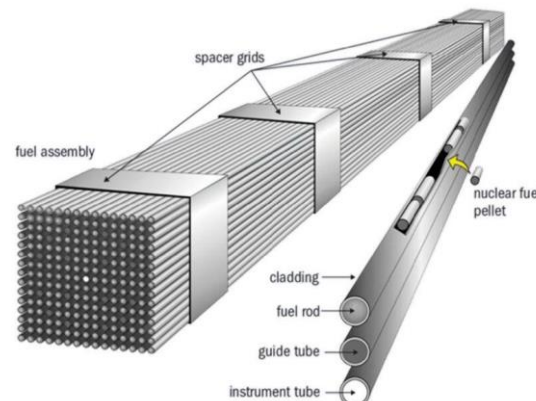
Experiments are conducted with **3 thicknesses and 6 detection angles**.

The platform upgrade to enable **higher-precision TOF** measurements.



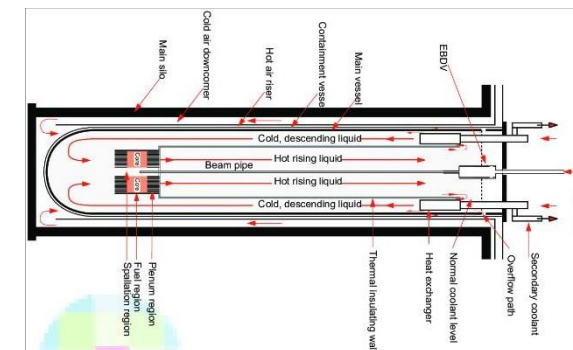
Beryllium

Widely used in **fusion reactors**
Key material for neutron multiplier and shielding



Zirconium

Common in **reactor structural components**
Low absorption, good for neutron economy

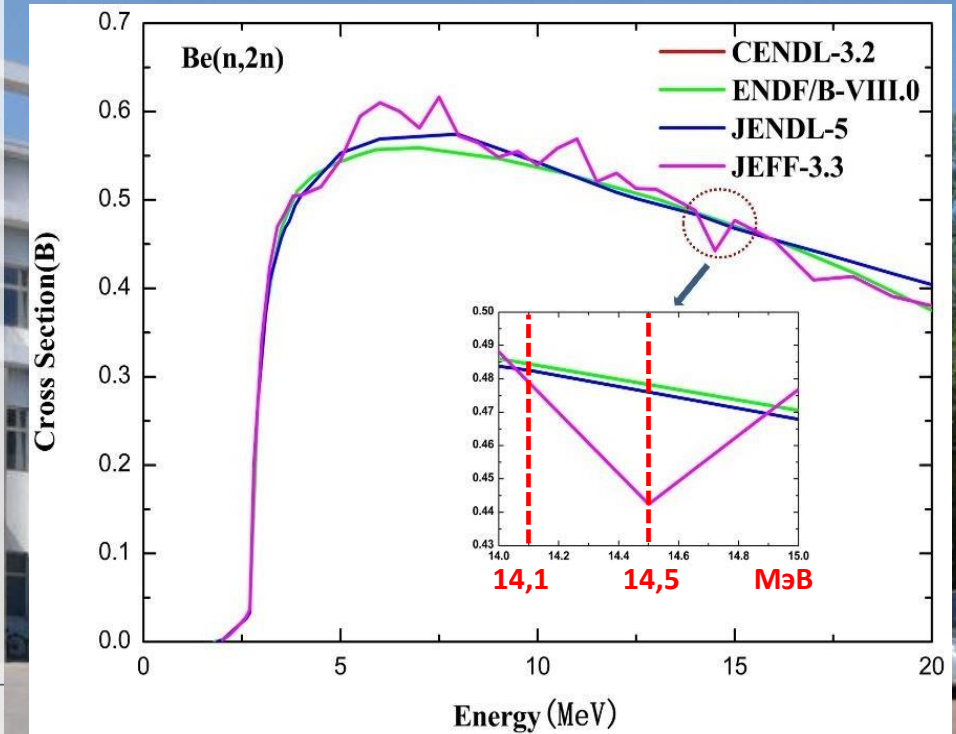
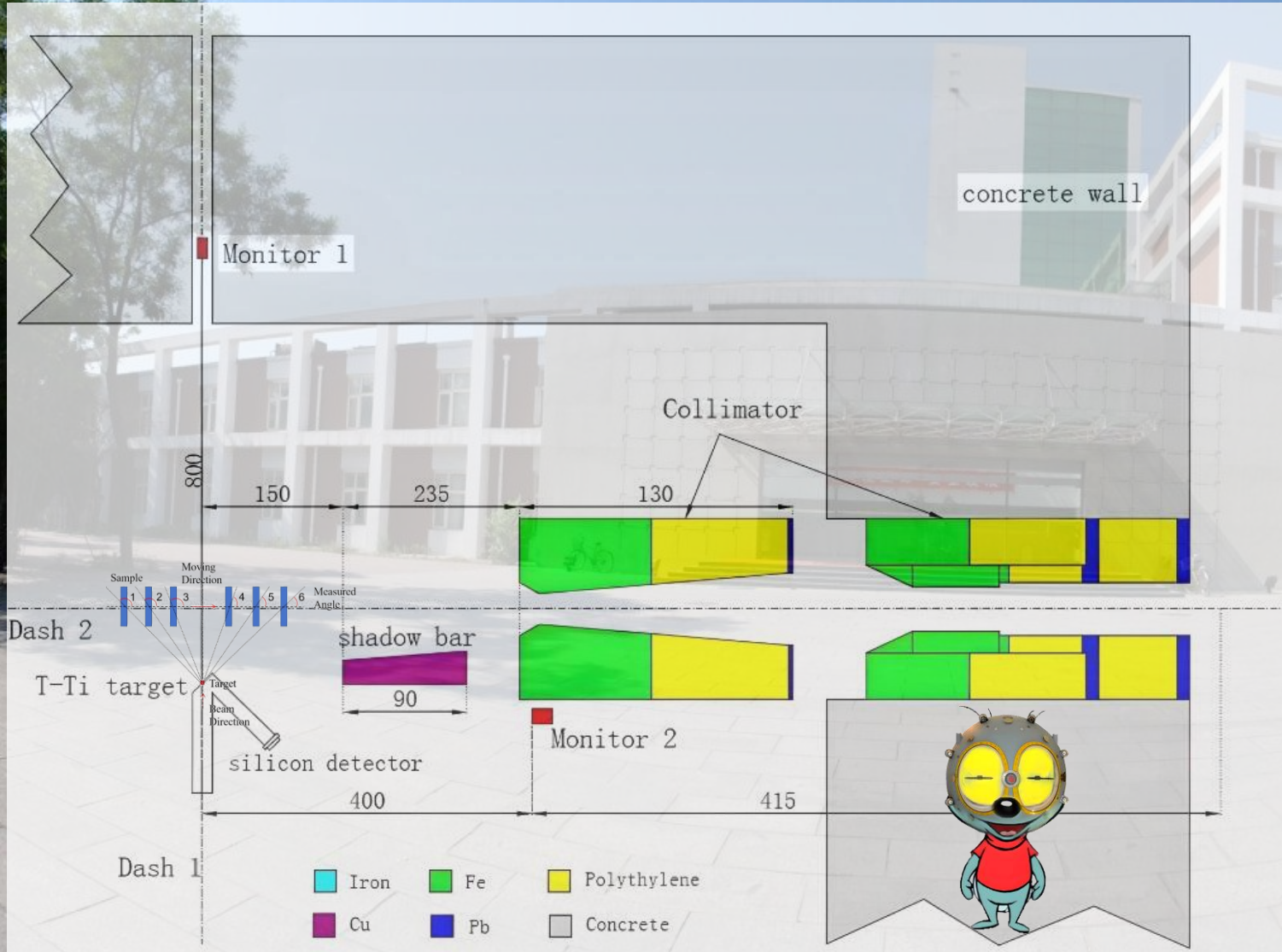


Bismuth

Component of **Pb-Bi eutectic coolant**
Applied in **lead-cooled fast reactors (LFRs) and ADS**



(n,2n) Reaction Cross Sections



- ① JEFF-3.3 is notably low in the (n,2n) region.
- ② All libraries underestimate low-energy, large- angle results.

For **Beryllium**,

CENDL-3.2 demonstrated reasonable agreement with experimental data in the elastic scattering region, with minor overestimations observed at small angles. However, **in the (n,2n) reaction region**, significant deviations in spectral shape were present, particularly at larger angles.

ENDF/B-VIII.0 and JENDL-5 provided good agreement at small angles but underestimated neutron spectra at larger angles.

JEFF-3.3 consistently underestimated experimental results across all angular ranges, highlighting the need for further refinement in the (n,2n) reaction region.



Summary

1. Upgrades to the experimental platform significantly enhanced measurement accuracy and reliability.
2. In this work, the validation of the evaluated nuclear data for **Be/Zr/Bi** was performed.
3. The theoretical calculation was carried out by MCNP code using the evaluated nuclear data of the **CENDL-3.2, ENDF/B-VIII.0, JENDL-5 and JEFF-3.3** libraries. From the comparison, some discrepancies in different energy ranges are found.
4. In conclusion, the evaluated data of four libraries need to be improved as required in different energy ranges.

NST Open Research

BROWSE COLLECTIONS HOW TO PUBLISH ABOUT

Nuclear Science and Technology Open Research

An international publishing platform of the American Nuclear Society

SUBMIT YOUR RESEARCH

ANS American Nuclear Society

29th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei (29 May – 2 June 2023)

Neutronic Chain Reactions in Bismuth Salts

ISINN-29
May 29 - June 2, 2023
ON-LINE + ON-SITE

Solomon Lim
National University of Singapore High School of Mathematics and Science

NUS HIGH SCHOOL of Math & Science

The Production of the Industrially Significant ²¹⁰Po Radionuclide Irradiating ²⁰⁹Bi by Neutrons

Из-за стратегической важности радионуклида **полония-210**, например, в **ядерном оружейном комплексе**, **политических операциях**, **спутниковых генераторах энергии**, **радиотерапии** и

Открытое исследование NST

ПРОСМАТРИВАТЬ КОЛЛЕКЦИИ КАК ОПУБЛИКОВАТЬ

Ядерная наука и технологии Открытые исследования

Международная издательская платформа Американского ядерного общества

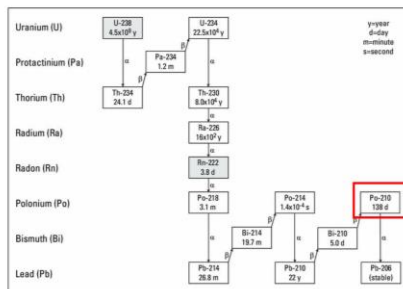
ОТПРАВЬТЕ СВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

ANS American Nuclear Society

solomonlim210@gmail.com

Producing Po-210

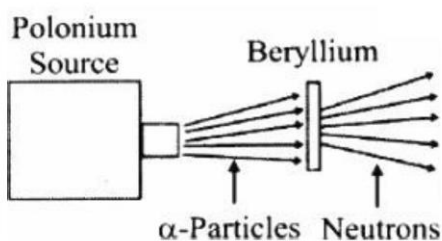
- Purification from uranium ore
 - Led to its discovery by M. Curie



Introduction Significance Methods Results Conclusions

Po-210 as an alpha source

- Mixed with light elements, e.g. Be, Li, F to produce neutrons
- Neutron output depends on (α, n) cross section of light element



Polonium-210: A Nuclear Oddity

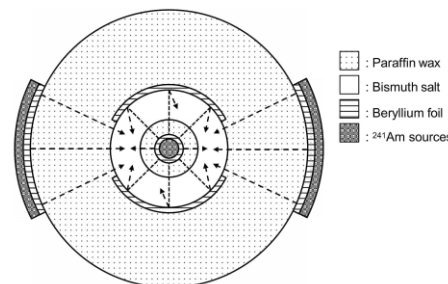
- Properties:
 - Specific activity of 4490 curies per gram
 - Pure alpha-emitter
 - Alpha emission energy of 5.41 MeV
 - Highly radiotoxic (LD₅₀ = 0.89μg)
 - "Sublimes" in air due to intense alpha activity



Introduction Significance Methods Results Conclusions

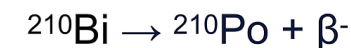
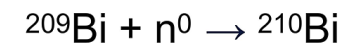
Irradiation Assembly

- Mast source used as central source and plate sources used as peripheral sources
- Beryllium reflectors used to increase neutron flux

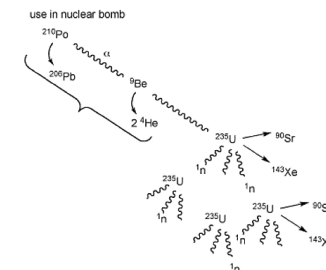


Producing Po-210

- Neutron irradiation of bismuth-209
 - Used in the Manhattan Project



$t_{1/2}$ of ²¹⁰Bi: 5.012 days

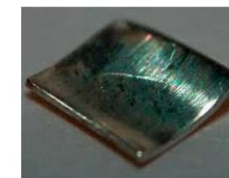


Introduction Significance Methods Results Conclusions

Future Work



Mobile polonium-210 generators



Purification of polonium-210



Gaseous neutron sources



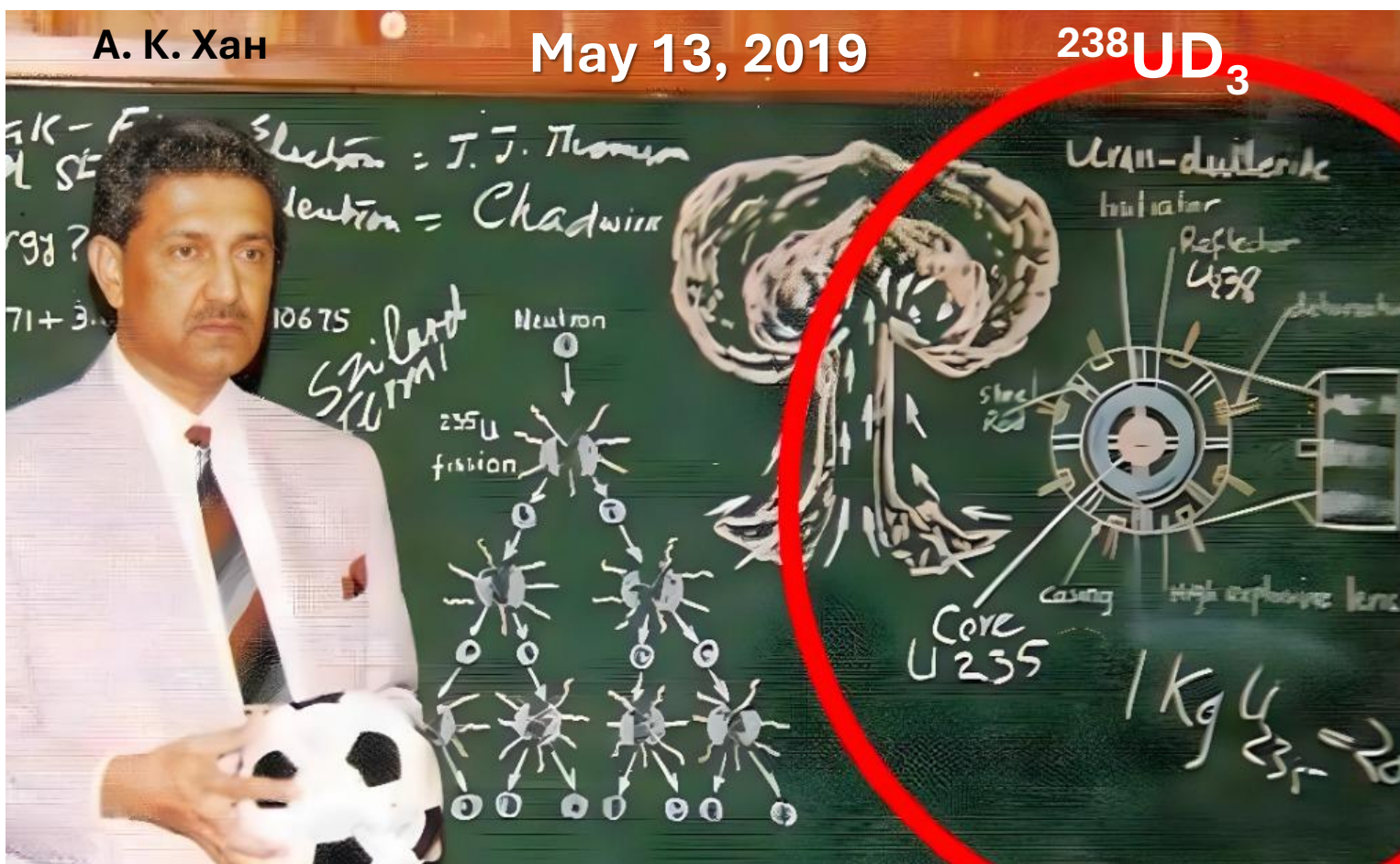
Neutron Source: Iran's Uranium Deuteride Neutron Initiator [1]

Источник нейтронов: Иранский нейтронный инициатор на основе дейтерида урана

A. K. Хан

May 13, 2019

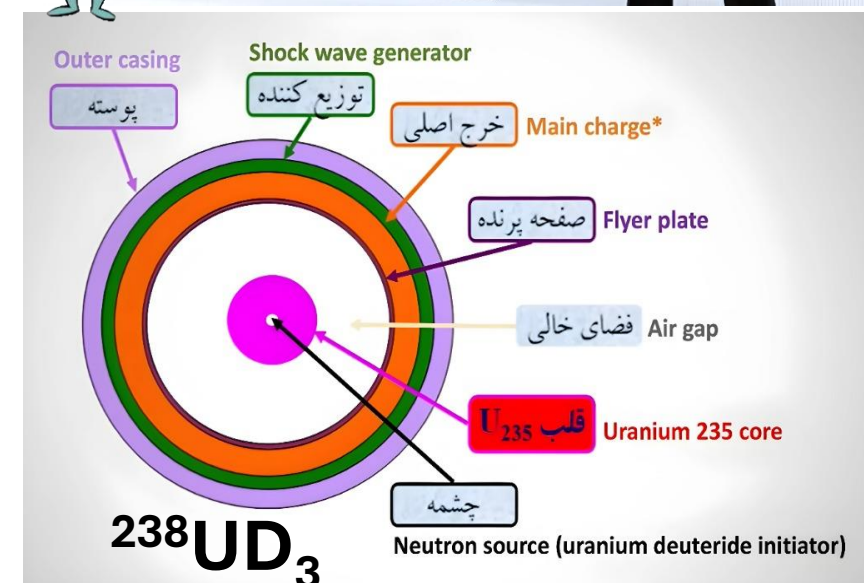
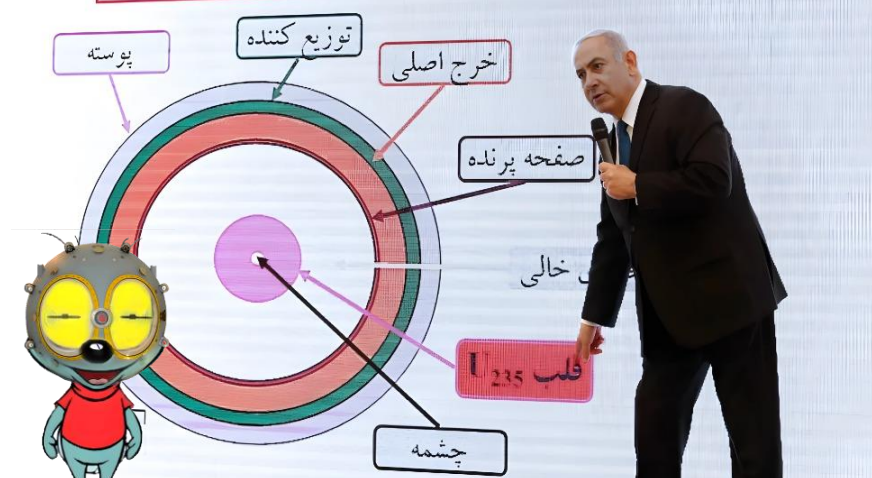
$^{238}\text{UD}_3$



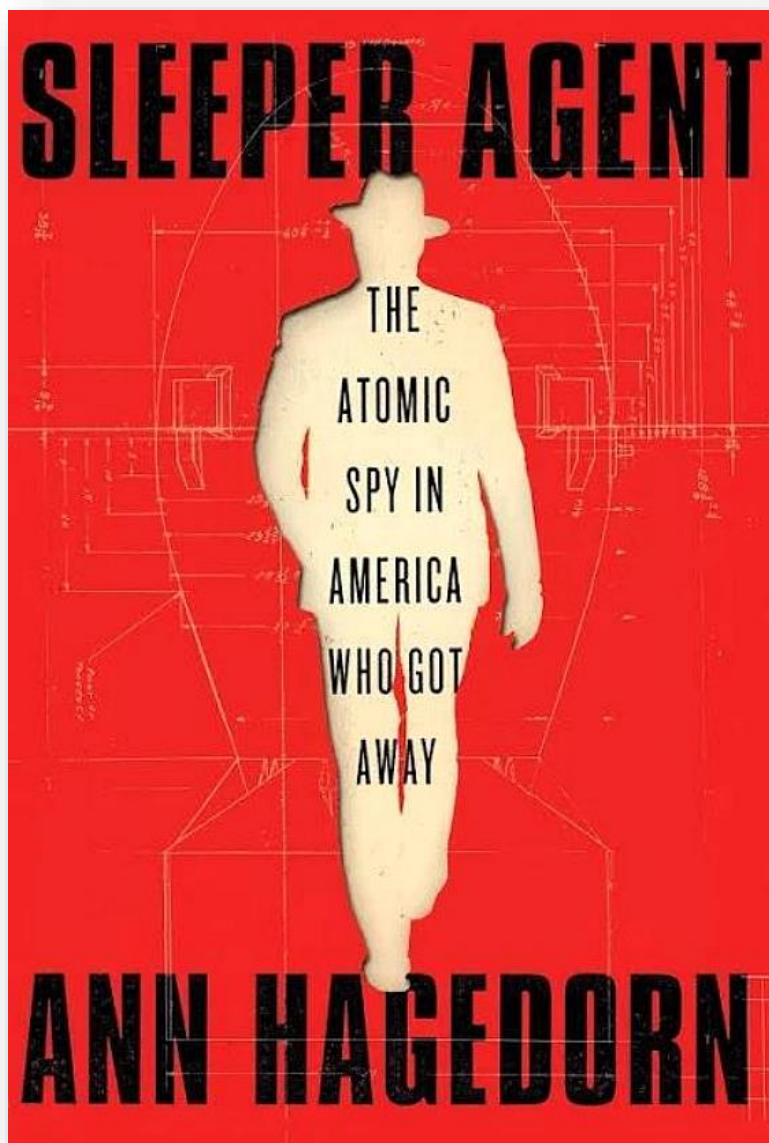
1. Designing nuclear weapons

Original Iranian illustration

10 ОКТЯБРЯ 2024 Г.,
6:16 УТРА



«Шпион, о котором вы, вероятно, никогда не слышали»



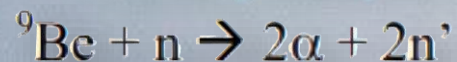
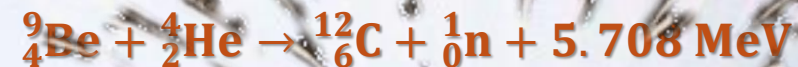
Книга «Спящий агент» повествует о Джордже Ковале, малоизвестном российском шпионе, родившемся в США и посмертно удостоенном чести Путина, и, возможно, одном из самых влиятельных оперативников XX века.

СТРАНА
РОСАТОМ

6 февраля 2019
в 20:05

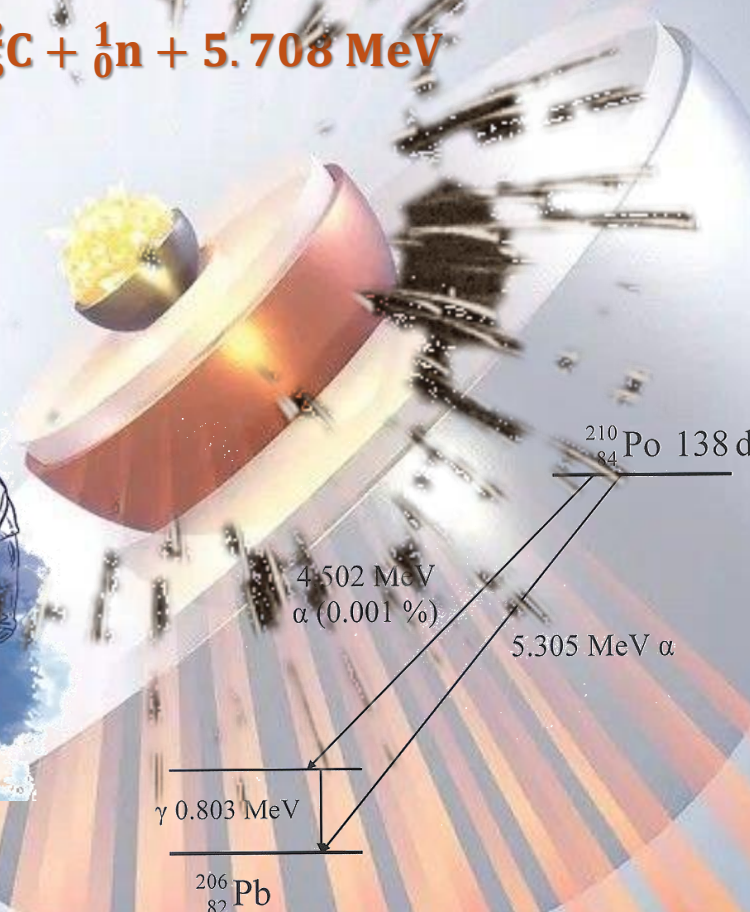
84 POLONIUM

По рецептам Дельмара



Polonium is extremely radioactive and one of the deadliest known substances.

Po



Но 29 августа 1949 года Советы взорвали свою первую атомную бомбу на Семипалатинском испытательном полигоне в Казахстане. Устройство представляло собой плутониевое оружие. Только в 2007 году российские военные чиновники раскрыли один важный фактор своего ускоренного достижения: инициатор этой бомбы был «подготовлен по „рецепту“, предоставленному агентом военной разведки Дельмаром — Жоржем Абрамовичем Ковалем», — сообщила газета Министерства обороны «Красная звезда», когда Коваль получил свою золотую звезду.

По рецептам "Дельмара"



Хронология Джорджа Коваля

25 декабря 1913 г. Родился в Су-Сити, штат Айова.

1939 Получил диплом химика в Московском химико-технологическом институте им. Д.И. Менделеева.

Август 1944 г. — Отбор в Специальный инженерный отряд армии США и перевод в Ок-Ридж, штат Теннесси.

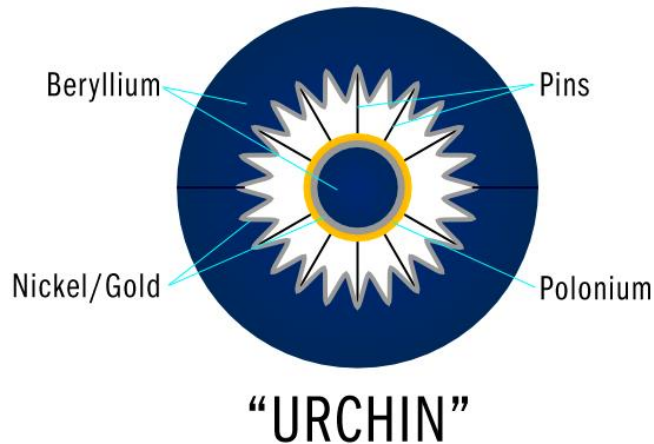
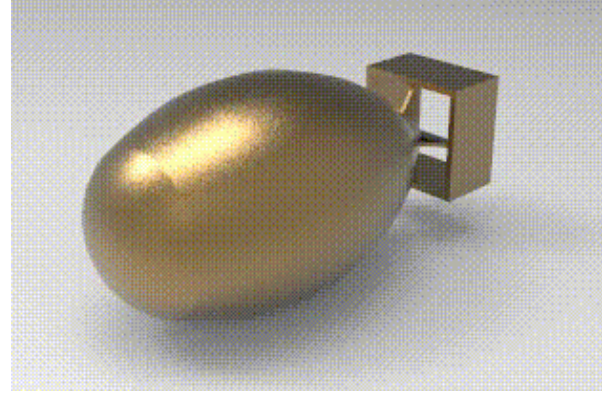
1945, июнь. Переведен в Дейтон, штат Огайо, где передал Советскому Союзу информацию об устройстве для инициирования имплозии под кодовым названием «Еж».

2006 31 января Умер в Москве, Россия.

Нейтронный инициатор

Инициатором, которого «дядя Ник» убедил Ферми и который в итоге был использован в изделиях «Тринити» и «Нагасаки», был..... «Ёж».

Это была полая сфера из бериллия, всего два сантиметра в диаметре. Внутренняя сторона сферы была обработана с канавками, обращенными внутрь. В центре этих канавок находилась еще одна сфера из бериллия, центрированная штифтами, вмонтированными во внешнюю оболочку. Как внутренние канавки внешней оболочки, так и внешняя поверхность внутренней сферы были покрыты никелем и золотом. На никеле внутренней сферы была тонкая пленка крайне радиоактивного полония. Полоний испускает альфа-частицы; в недетонированном состоянии «Ёжа» они были бы безвредно поглощены золотом и никелем. Но когда взрывчатка взорвалась вокруг него, бериллий и полоний были бурно смешаны, вызывая хорошо известную реакцию (бериллий + альфа-частица = углерод + нейтрон), которая производила необходимые нейтроны.

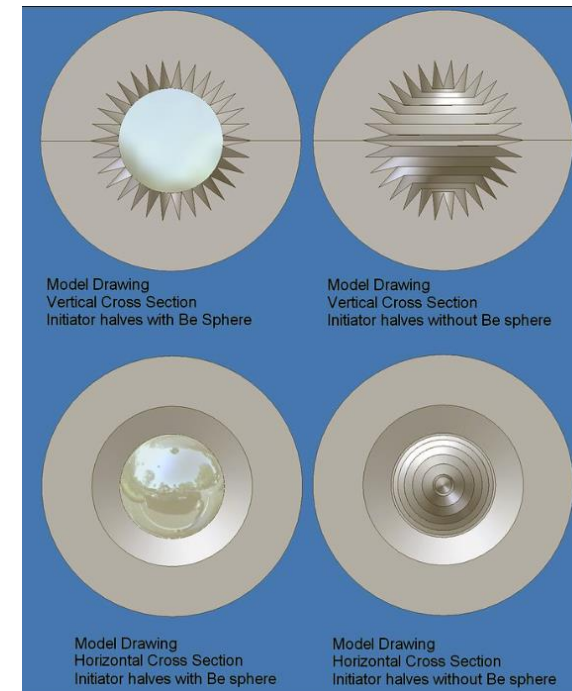
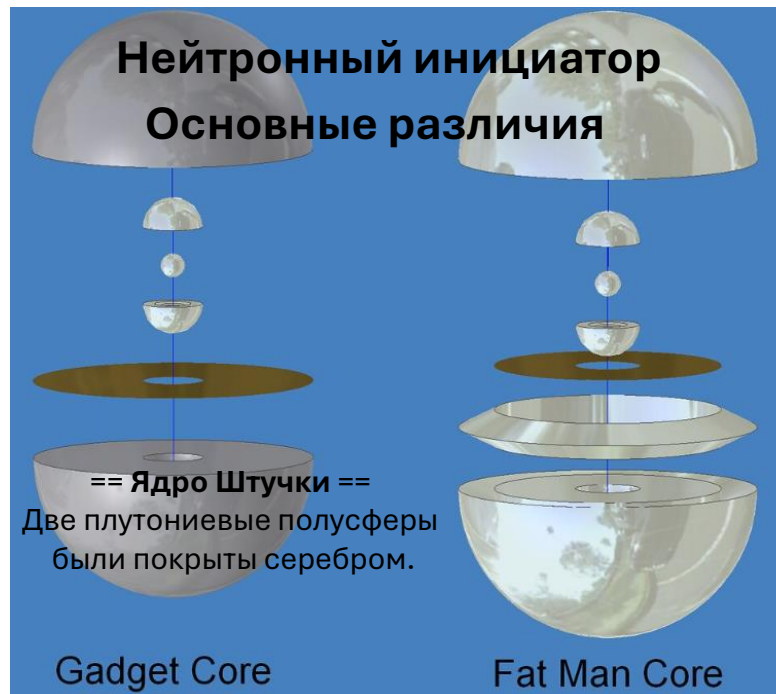


«Urchin» был не единственным проектом инициатора на столе. Ферми, по-видимому, отдавал предпочтение проекту с кодовым названием «Grape Nuts». Что такое «Grape Nuts»? Понятия не имею — это все еще засекречено. Вероятно, эти названия что-то значили, поскольку «Urchin», похоже, отсылает к внутренним шипам. В списке тем для лабораторного colloquium в Лос-Аламосе в мае 1945 года обсуждались три проекта инициатора и их создатели: «Urchin», приписываемый Джеймсу Таку и Гансу Бете; «Melon-Seed», приписываемый Джеймсу Сердюку; и, наконец, «Nichodemus», приписываемый... Николасу Бейкеру, кодовое имя Нильса Бора.

ATOM BOMBS



000357



== Ядро Толстяка ==

Трехкомпонентный сердечник Толстяка (Fat Man) был посеребрен.

Он состоял из двух полусферических частей и струйного кольца, которое имело треугольное поперечное сечение.

Использованный бериллиевый инициатор назывался «Urchin» (Ёж) или «Screwball». Это была сфера, состоящая из полый бериллиевой оболочки с твердой бериллиевой таблеткой внутри.

На внутренней поверхности оболочки было вырезано 15 параллельных клиновидных канавок. Как и ямка, оболочка была сформирована из двух половин. Поверхности оболочки и центральной сферы были покрыты 0,1 мм золота, а также слоем никеля.



Аркадий и Люба Бриш

Когда приехали в Арзамас, встал вопрос, куда Любе пойти работать. Ей предложили работу в группе, где делали **полониево-бериллиевые источники**; **это яд считается**, и ее определили туда. Почему? Не знаю.

Цукерман понимал, что это очень вредная работа. **Люба сделала четыре источника для первой бомбы, и она была первой, кто заболел на объекте лучевой болезнью.** Ее увезли в Москву, и она там умирала. Никто не говорил, что это облучение, из-за режима секретности.

Но она выжила, а все остальные, с кем она работала, — умерли. Люба прожила 82 года.

Она не была алчной, не стремилась к богатству. Жили мы неплохо, много занимались спортом, путешествовали.

Люба очень любила охоту, а я там был такой вспомогательный элемент: она стреляла, причем хорошо стреляла, а я должен был лезть в воду и вытаскивать дичь. Холодина страшная, но деваться-то некуда, приходилось преодолевать себя.

В ней было много житейской мудрости, она понимала, как и что нужно в этой жизни.

Меня держала в руках.

Да и теперь приглядывает. Вот отсюда — с портрета.

Источник: https://memory.biblioatom.ru/persons/brish_a_a/zolotoy_vek_uchenyyh/

THE BLADE

Editorial: Legacy of lies

Наследие лжи

MAY 8, 2025

7:00 AM



ALEXA YORK

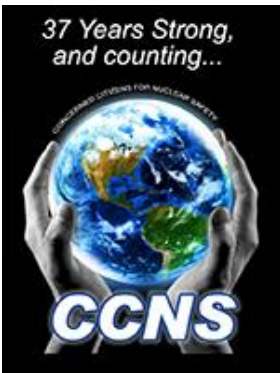
Legacy of Luckey: For decades, officials downplayed risks of Cold War-era weapons site

Уинстон Черчилль сказал: «Во время войны правда настолько драгоценна, что ее всегда должен сопровождать телохранитель из лжи».

Там, на окраине города, рядом с фермерскими полями и сельскими дорогами, располагался огромный завод, перерабатывающий так **много высокотоксичного металлического бериллия для ядерных бомб** и другого оружия, что завод был пропитан смертоносной пылью. Каждый день десятки рабочих подвергались чрезмерному облучению.

Помимо переработки опасного металлического бериллия для ядерных бомб и другого оружия, федеральное правительство использовало Лаки в качестве полигона для захоронения плутония и радиоактивного мусора с других федеральных объектов.

Результаты указывают на превышение нормы уровня радиоактивности, что свидетельствует о наличии в воздухе и почве радона, вызывающего рак.



TODAY! Virtual Workshop about DOE's Plans for Expanded Plutonium Pit Production at LANL for the Next 50 Years, Public Meetings Next Week

May 22nd, 2025 in Action Alerts / Events / Weekly News Updates

[Share](#) / [Save](#) [f](#) [t](#)

May 22nd, 2025

Concerned Citizens for Nuclear Safety

СЕГОДНЯ! Виртуальный семинар о планах DOE по расширению производства плутониевых питов в LANL на следующие 50 лет, публичные встречи на следующей неделе



Граждане,
обеспокоенные
ядерной
безопасностью

"Let them know what you think about the \$2 trillion 'modernization' program to keep nuclear weapons forever while domestic programs are gutted to pay for tax cuts for the rich."

Jay Coghlan of
Nuclear Watch New Mexico

«**Бериллий** используется в качестве «отражающего» материала (или «**пит-лайнера**») в большинстве современных американских ядерных боеприпасов и термоядерных «первичных зарядов». **Пит-лайнер**, иногда также называемый «черепом», окружает сферическую плутониевую яму и, в свою очередь, окружен взрывчатыми веществами. Все три этих компонента вместе составляют «первичку» или триггер современного ядерного оружия, который инициирует термоядерную реакцию во вторичных компонентах оружия.

Бериллиевый лайнер эффективно действует как:

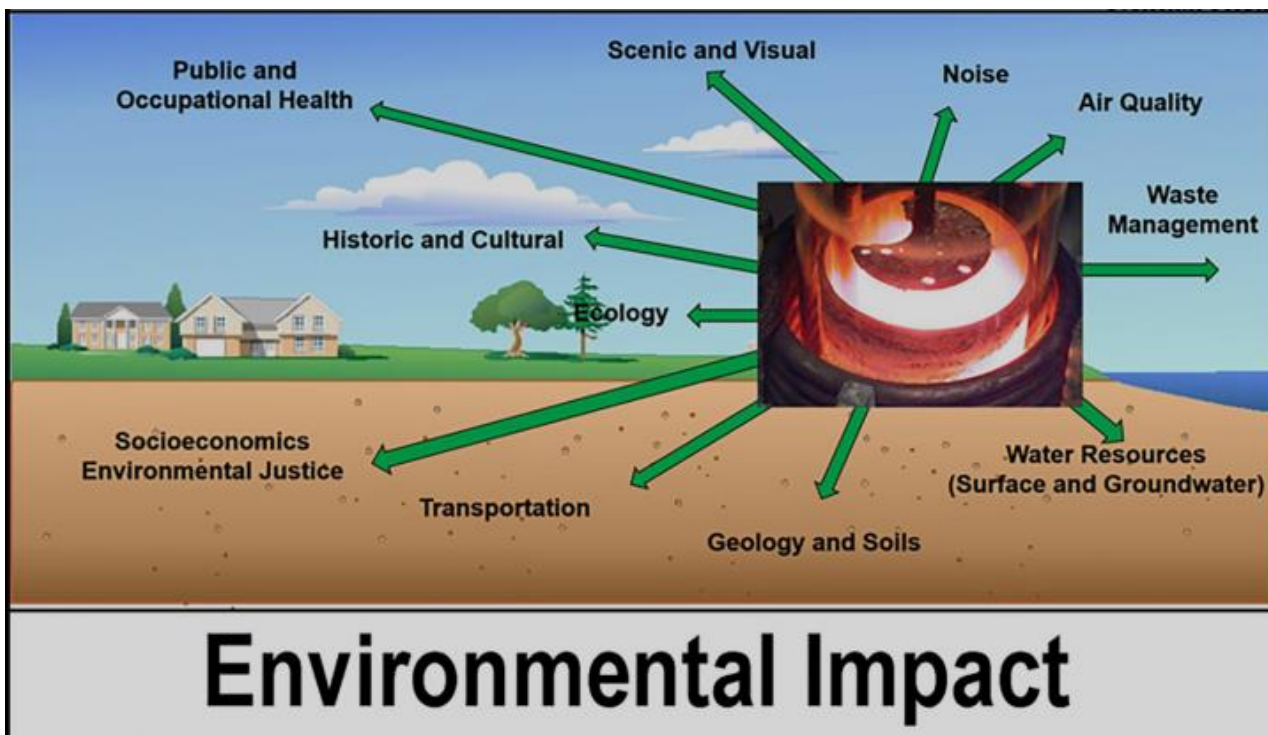
- 1) **отражатель**, который «направляет» нейтроны обратно в плутониевую яму;
- 2) **тампер**, который изначально сдерживает и тем самым помогает увеличить силу взрыва; и
- 3) **генератор дополнительных нейтронов**.

Поток нейтронов в начале детонации ядерного оружия инициирует критическую массу, которая впоследствии приводит к проектируемой разрушительной мощности оружия.

«Расскажите им, что вы думаете о программе модернизации стоимостью 2 триллиона долларов, которая позволит сохранить ядерное оружие навсегда, в то время как внутренние программы будут разорены, чтобы оплатить снижение налогов для богатых.»



Из-за вышеуказанных свойств операции по производству бериллия неразрывно связаны с операциями по производству плутониевых питов. Оба производственных процесса теперь переведены в Лос-Аламосскую национальную лабораторию (LANL) с печально известного завода Rocky Flats около Денвера. Rocky Flats так и не возобновил производство плутониевых питов после рейда ФБР в 1989 году по расследованию экологических преступлений.



LANL заявляет, что теперь она имеет возможность изготавливать бериллиевые компоненты примерно для 50 плутониевых питов в год вместе с соответствующими бериллиевыми мишенями. LANL также заявляет, что с ее давно желаемым расширением операций по созданию ядерного оружия бериллиевые компоненты могут быть изготовлены для 80 питов и небольшого увеличения количества бериллиевых мишеней.⁴

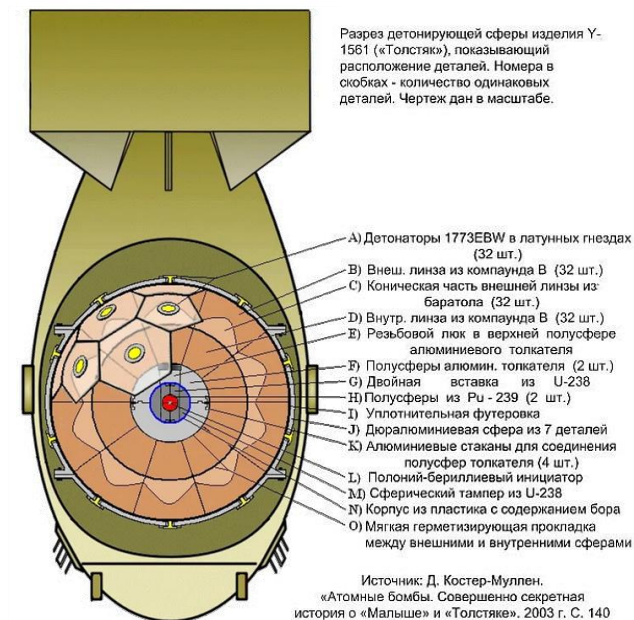
Согласно одной статье в СМИ, лаборатория утверждает, что она может выполнять определенные операции по переработке бериллия, которые не подпадают под правила Закона о чистом воздухе Агентства по охране окружающей среды. LANL также имеет историю неразрешенных источников бериллия. LANL прекратил мониторинг бериллия в окружающем воздухе в декабре 1995 года. В том же году штат Нью-Мексико отменил свой стандарт регулирования выбросов бериллия в окружающий воздух.

Заряд-демон: третья ядерная бомба, предназначенная для Японии, убила известных американских учёных

Заряд-демон или «демоническое ядро» (англ. Demon core) — название, данное подкритическому объёму плутония, который участвовал в двух несчастных случаях в лаборатории Лос-Аламоса в 21 августа 1945 (Гарри Даглян) и 21 мая 1946 года (Луис Злотин). В обоих случаях радиоактивное облучение в результате незапланированного перехода в надкритическое состояние приводило к гибели учёных, после чего сборка и получила своё название. Конструкция состояла из двух половин шаров плутония в дельта-фазе, покрытых слоем никеля, общей массой 6,2 кг, с плотностью $15,7 \text{ г/см}^3$ диаметром 89мм.



Физики Гарри Даглян (в центре слева) и Луис Злотин (в центре справа) во время подготовки испытания «Тринити». Оба погибли в результате сверхкритических инцидентов, связанных с «зарядом-демоном».



внутренний нейтронный инициатор



Как была устроена первая атомная бомба

1 Бериллиево-полониевый инициатор – источник нейтронов, срабатывающий при взрыве бомбы. Диаметр – 2 см. Вес – 7 г

2 Ядро плутония – 239. Диаметр – 9 см. Вес – 6,5 кг

3 Оболочка из урана – 238, отражающего нейтроны. Диаметр – 23 см. Вес – 120 кг

4 Оболочка из алюминия, понижающая давление при имплозии. Диаметр – 46 см. Вес – 120 кг

5 32 линзы-детонатора образуют сферическую взрывчатую оболочку. Диаметр – 130 см

6 Взрыватели на линзах-детонаторах

7 Оболочка из «быстрой» взрывчатки – смеси тротила, гексогена и воска

8 Оболочка из «медленной» взрывчатки – смеси тротила, нитрата бария и воска

9 Дюралевый сферический корпус из широкого пояса и двух крышек. Диаметр – 136 см

Конструкция бомбы позволяла собрать ее без плутониевого сердечника для безопасности при транспортировке. Для того чтобы вставить на место плутоний, отвинчивали верхнюю крышку корпуса и вынимали одну взрывчатую линзу.

5





FLnP

Бериллий : драгоценный чёртовый металл



U.S. Swan Device - 1956

- High explosive
- Beryllium
- Plutonium-239
- Tritium / Deuterium
- Air lens



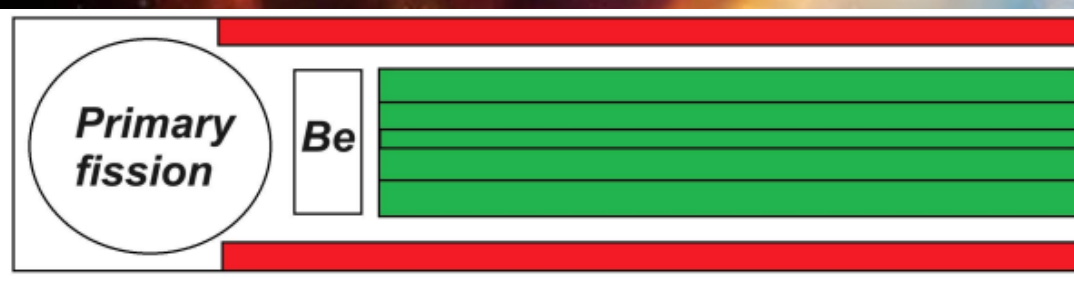
Бериллий : драгоценный чёртовый металл



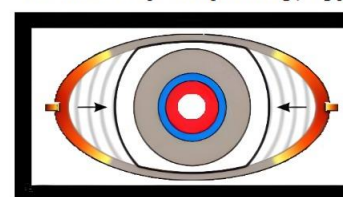
U.S. Swan Device - 1956

- High explosive
- Beryllium
- Plutonium-239
- Tritium / Deuterium
- Air lens

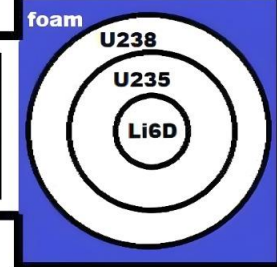
НЕЙТРОННОЙ БОМБЕ!



Komodo 2-point primary, Type 126 pit



(Primary has 4.5" small axis diameter)
W88 schematic. 475kt. Built in 1980s, taking 14 nuclear tests in Nevada.

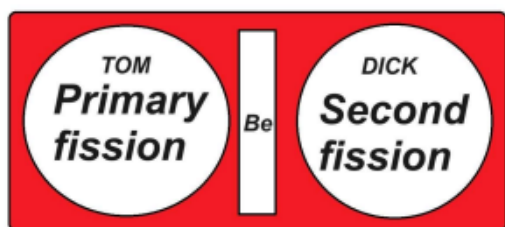


Cursa 7" diameter secondary



Teller's Radiation Mirrors (in red) and Sausage (green,

Penney's
1955 AWRE
1 megaton
pure fission
"two stager"



RED = foam
filling to
disperse x-
ray energy
around Dick

Penney
1955
AWRE
3-stage
10 Mt

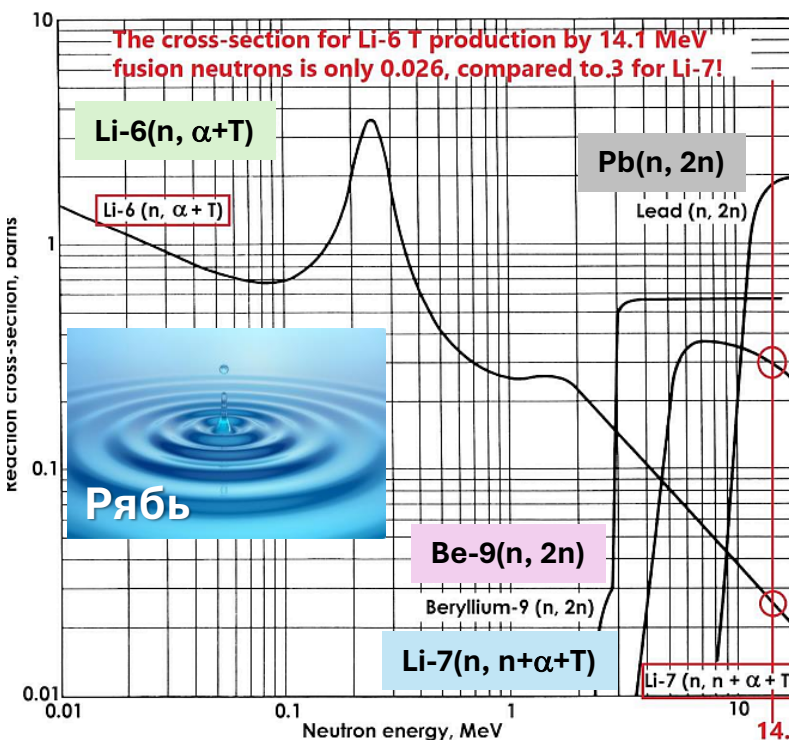


Russian
Project
"49"



Russia
used 2
primar
stages

Trutnev: no foam case filling. but a laver on fusion fue



Доказано в ходе успешного испытания вторичной ступени Ripple II мощностью 9,96 Мт (99,9% чистой бомбы, использующей 10-кт усиленную первичную ступень Kinglet) Джоном Наколлсом; операция «Доминик», тест «Хаусатоник» 10 Мт, 30 октября 1962 г.

Секрет ядерного испытания Ripple II (Рябь II): почему литий-7 на самом деле лучше подходит для усиления чистых вторичных секций, чем литий-6! Для нейтронов 14,1 МэВ из синтеза D+T литий-7 имеет поперечное сечение 0,3 б по сравнению с всего лишь 0,026 б для лития-6! Плюс, он дает ЕЩЕ один дополнительный нейтрон В ОТЛИЧИЕ ОТ лития-6.

International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei



isinn-30
April 14 - 18, 2024



2. F.S. Dietrich, L.F. Hansen & R.P. Koopman (1976), Cross Section for the $^9\text{Be}(n, t_1)^7\text{Li}$ Reaction Between 13.3 and 15 MeV, Nuclear Science and Engineering, 61:2, 267–268
3. Simakov S. P., Pavlik A., Vonach H., et al., Status of Experimental and Evaluated Discrete Gamma-Ray Production at $E_n=14.5$ MeV, IAEA, Vienna, Austria, 1998,
4. Zhenpeng Chen, Yeying Sun, Qianghua Wu, A primary evaluation for $n+^9\text{Be}$ (2019), Consultants' Meeting on INDEN for Light Elements, 15 to 19 March 2021, IAEA, Vienna.

Interaction of 14-MeV Neutrons with ^9Be

I.N. Ruskov* for TANGRA collaboration

Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy, Bulgarian Academy of Sciences,
72 Tzarigradsko chaussee blvd., 1784 Sofia, Bulgaria

*e-mail: i.ruskov@mail.com

Within the framework of the JINR project TANGRA (TAGged Neutrons & Gamma RAYS) [1], a comprehensive investigation into the characteristics of nuclear reactions induced by 14-MeV neutrons is currently underway, focusing on elements crucial for both fundamental and applied neutron-nuclear physics. These elements lack sufficient or accurate data. The research program also includes a series of measurements using beryllium-containing samples, employing two multi-detector systems to detect gamma rays and neutrons generated in reactions between "tagged" neutrons from ING-27 and beryllium nuclei.

Beryllium, renowned for its distinctive structural, chemical, atomic, and neutron absorption cross-section properties, finds widespread applications in aerospace, automotive industries, rockets, nuclear weapons, medical X-ray devices, agriculture, food processing, oil and gas exploration, mining, robotics, and safety products. Additionally, it has proven successful as a neutron reflector in three generations of nuclear fission reactors.

The cross-section for the $^9\text{Be}(n, t_1)^7\text{Li}^* \rightarrow ^7\text{Li} + \gamma$ (0.477 MeV) reaction [2] can be determined by registering gamma rays at various scattering angles. The significance of the $^9\text{Be}(n, 2n)$ reaction lies in fusion reactor development, as it involves neutron multiplication and exhibits a relatively large cross-section around 14 MeV, providing insights into the nuclear mechanism of the (n,2n) process, where different nuclear reactions may contribute. Nuclear data for this reaction directly influences the neutronic characteristics of the solid breeder blanket for the fusion reactor ITER. The time-of-flight (TOF) technique serves to differentiate gamma rays from the neutron background. A more precise understanding of the interaction between 14-MeV neutrons and beryllium nuclei could also enhance the quality of existing libraries containing evaluated nuclear data [3, 4].

Consultants' Meeting on INDEN for Light Elements

15 to 19 March 2021, IAEA, Vienna

Background

The two meetings on R-matrix codes for charged-particle reactions in the resolved-resonance region and INDEN for Light Elements, which were held back-to-back and were hosted on different webpages, are now merged into one meeting called INDEN for Light Elements (INDEN-LE) comprising two separate sessions, one on R-matrix calculations for charged-particle-induced reactions and the other on neutron-induced reactions.

The purpose of this meeting is to review the progress in the assignments agreed upon at the previous meetings which were held in May 2019.

In particular, for the R-matrix calculations for charged-particle reactions, we are going to discuss the results of the two exercises, Test 2 and Test 3, that aim at comparing the minimization and evaluation techniques implemented in each of the R-matrix code and used by the evaluator participating in the project, respectively. The exercises are all performed on the charged-particle-induced reactions leading to the formation of the ^7Be system and are defined in INDC(NDS)-0787.

For the INDEN-LE meeting, we are going to review the status of the evaluations of the $n+^9\text{Be}$, $n+^{14,15}\text{N}$, $n+^{16}\text{O}$, and $n+^{23}\text{Na}$ systems, undertaken by the evaluators participating in the INDEN-LE project as reported in INDC(NDS)-0788.

(α,n) reactions for applications: a special session will be dedicated to (α,n) reactions on Thursday 18th March, where several groups within the INDEN-LE project and beyond, working on measurements, modelling and evaluation of (α,n) reactions for various applications, will present their work. The ultimate goal of this session is to assess the need for a concerted and coordinated effort to address the various applications needs -spanning spent fuel management, new tolerant reactor fuels, astro-particle and nuclear astrophysics, and detector development- for reliable and up-to-date (α,n) data.

The report on the presentations and technical discussions of the meetings is published as INDC(NDS)-0827.

Agenda

The agenda is available here.

Presentations for R-matrix calculations for charged-particle reactions:

#	Author	Title	Link
1	Zh. Chen	Results of global evaluation of all light systems up to A=23	PDF File 1 File 2 File 3 File 4 File 5
2	I.J. Thompson	Results of Test 2 and Test 3	PDF
3	D. Odell	Bayesian analysis of the ^7Be compound system	PDF
4	B. Raab	Novel r-Matrix Formalism for Three-Body Breakup Reactions in Light Nuclei	PDF

Presentations for INDEN-LE (neutron-induced):

#	Author	Title	Link
1	H. Leeb	Reduced R-matrix formalism on $n+^9\text{Be}$ system	PDF
2	P. Tamagno	Improvement perspectives for ^{23}Na in the RRR	PDF
3	R.J. deBoer	Report on $n+^{14}\text{N}$ system	PDF
4	M. Pigni	Report on $n+^{16}\text{O}$ system	PDF
5	M. Paris	EDA R-Matrix Evaluations Report on $n+^9\text{Be}$ and $n+^{16}\text{O}$	PDF
6	I.J. Thompson	Towards R-matrix evaluations of $n+^{14}\text{N}$ and other reactions producing ^{15}N	PDF

Participants
H. Leeb
B. Raab
T. Srdinko
T. Stary
Z. Chen

Consultants' Meeting on INDEN for Light Elements

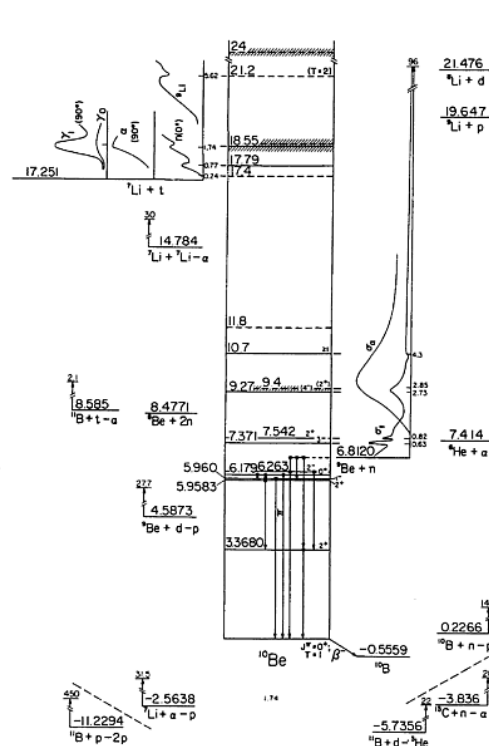
15 to 19 March 2021, IAEA, Vienna



Level Scheme and neutron-induced Reactions of ^{10}Be



n-induced Reactions



$^{10}\text{Be}(n,n)^{10}\text{Be}$	$Q = 0.0000 \text{ MeV}$	
$^{10}\text{Be}(n,\alpha)^6\text{He}$	$Q = -0.5971 \text{ MeV}$	
$^{10}\text{Be}(n,2\alpha)^4\text{He}$	$Q = -1.6636 \text{ MeV}$	←
$^{10}\text{Be}(n,\alpha)^5\text{He}$	$Q = -2.3073 \text{ MeV}$	←
$^{10}\text{Be}(n,t)^7\text{Li}$	$Q = -10.4373 \text{ MeV}$	
$^{10}\text{Be}(n,p)^9\text{Li}$	$Q = -12.8248 \text{ MeV}$	
$^{10}\text{Be}(n,t\alpha)t$	$Q = -12.9049 \text{ MeV}$	←
$^{10}\text{Be}(n,d)^8\text{Li}$	$Q = -14.6615 \text{ MeV}$	←
$^{10}\text{Be}(n,t)^8\text{Li}$	$Q = -14.6615 \text{ MeV}$	←
$^{10}\text{Be}(n,nd)^7\text{Li}$	$Q = -16.6932 \text{ MeV}$	←
$^{10}\text{Be}(n,np)^8\text{Li}$	$Q = -16.8861 \text{ MeV}$	←
$^{10}\text{Be}(n,nt)^6\text{Li}$	$Q = -17.6871 \text{ MeV}$	←
$^{10}\text{Be}(n,\alpha)^6\text{Li}$	$Q = -19.2874 \text{ MeV}$	
$^{10}\text{Be}(n,pt)^6\text{He}$	$Q = -20.4108 \text{ MeV}$	←
$^{10}\text{Be}(n,^3\text{He})(^7\text{He})$	$Q = -21.5845 \text{ MeV}$	←
$^{10}\text{Be}(n,p\alpha)^5\text{H}$	$Q = -23.1857 \text{ MeV}$	←

Presentations for INDEN-LE (neutron-induced):

#	Author	Title	Link
1	H. Leeb	Reduced R-matrix formalism on $n+^9\text{Be}$ system	PDF
2	P. Tamagno	Improvement perspectives for ^{23}Na in the RRR	PDF
3	R.J. deBoer	Report on $n+^{14}\text{N}$ system	PDF
4	M. Pigni	Report on $n+^{16}\text{O}$ system	PDF
5	M. Paris	EDA R-Matrix Evaluations Report on $n+^9\text{Be}$ and $n+^{16}\text{O}$	PDF
6	I.J. Thompson	Towards R-matrix evaluations of $n+^{14}\text{N}$ and other reactions producing ^{15}N	PDF

<https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/NuDatBandPlotServlet?nucleus=10Be&unc=NDS>




REDUCED R-MATRIX THEORY: Features, Parametrisation and Application

Atominstytut, TU Wien:
H. Leeb, T. Stary, Th. Srdinko, B. Raab

This work has been carried out within the framework of the EUROfusion Consortium and has received funding from the Euratom research and training programme 2014-2018 and 2019-2020 under grant agreement No 633053. The views and opinions expressed herein do not necessarily reflect those of the European Commission.

supported by the KKKO Matching Grant MG 2020-7 of the Austrian Academy of Sciences is acknowledged.

H. Leeb
March 16, 2021

Reduced R-Matrix: Features, Parametrisation and Application
IAEA Consultancy Meeting - International Nuclear Data Network on Light Elements (INDEN-LE)

EDA R-Matrix Evaluations Report on $n+^9\text{Be}$, $n+^{16}\text{O}$

Mark Paris & Gerry Hale
(LANL/Theoretical Division/T-2)

IAEA
International Nuclear Data Evaluation
Network on Light Elements (INDEN-LE)



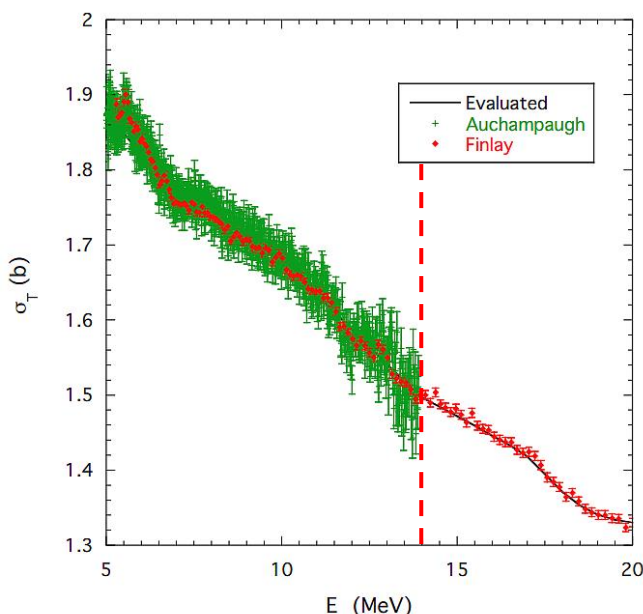
2021-03-17
Online meeting

EST. 1943

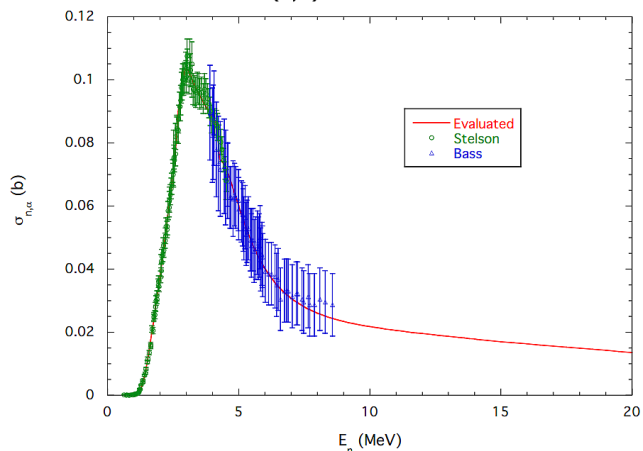
NIST

$n+^9\text{Be}$ Integrated Cross Sections

$n+^9\text{Be}$ Total Cross Section



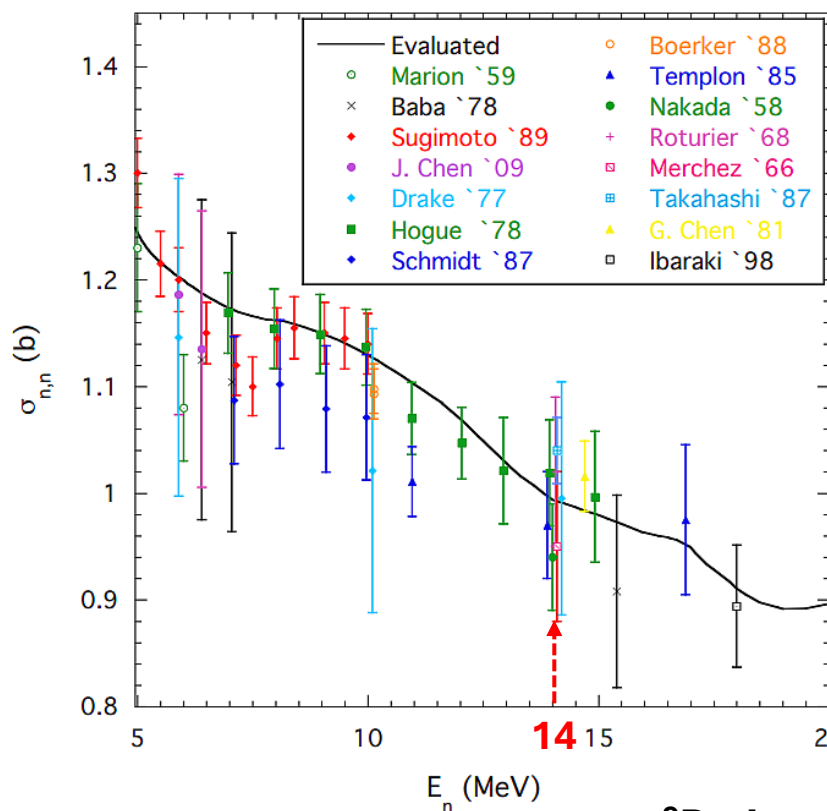
$^9\text{Be}(n,\alpha)^6\text{He}$ Cross Section



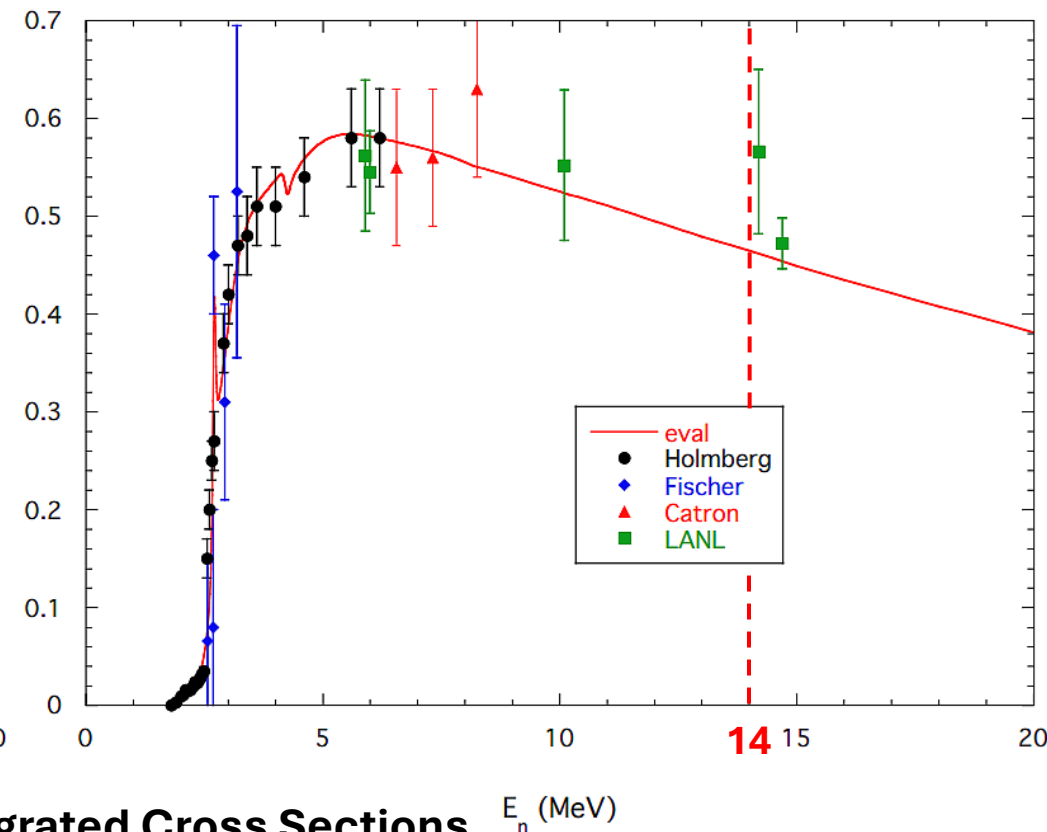
Consultants' Meeting on INDEN for Light Elements

15 to 19 March 2021, IAEA, Vienna

$^9\text{Be}(n,n)^9\text{Be}$ Cross Section



$^9\text{Be}(n,2n)\alpha\alpha$ Cross Section



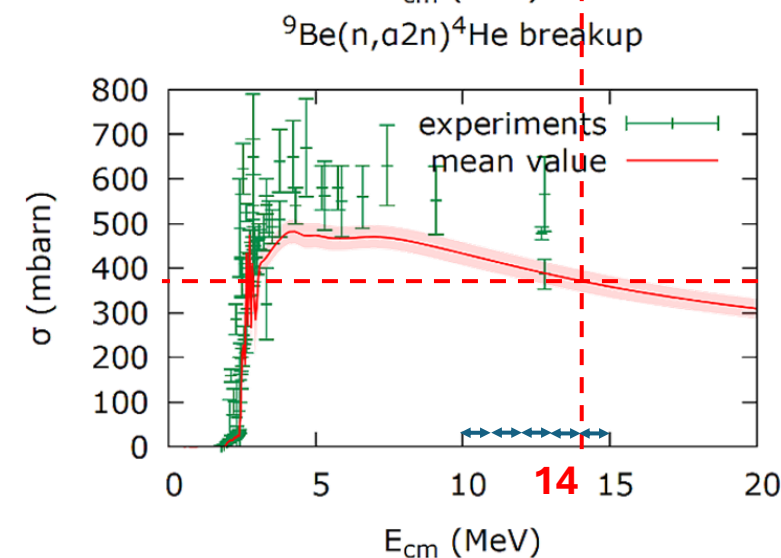
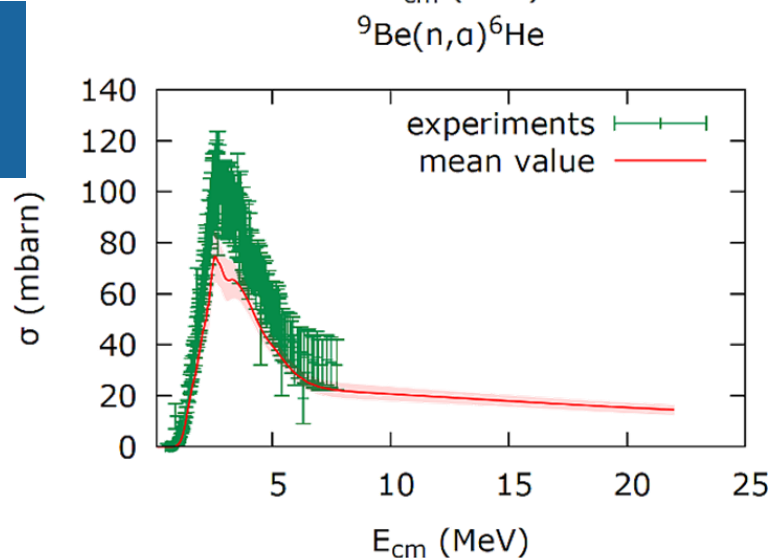
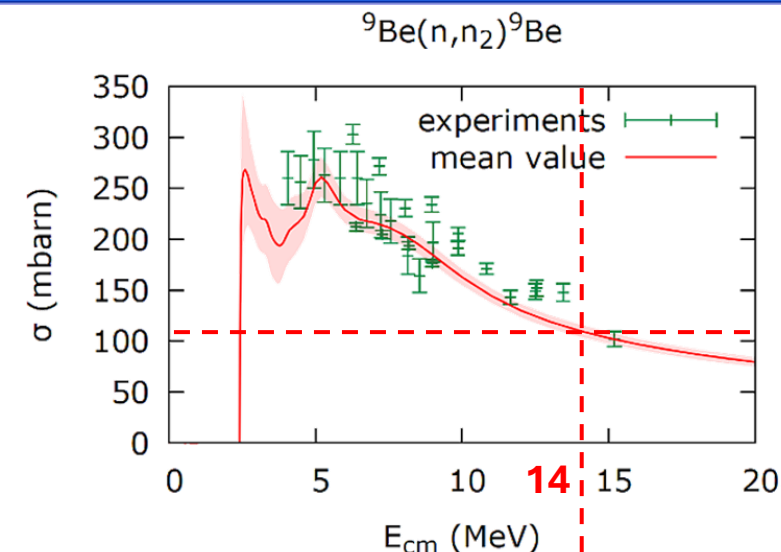
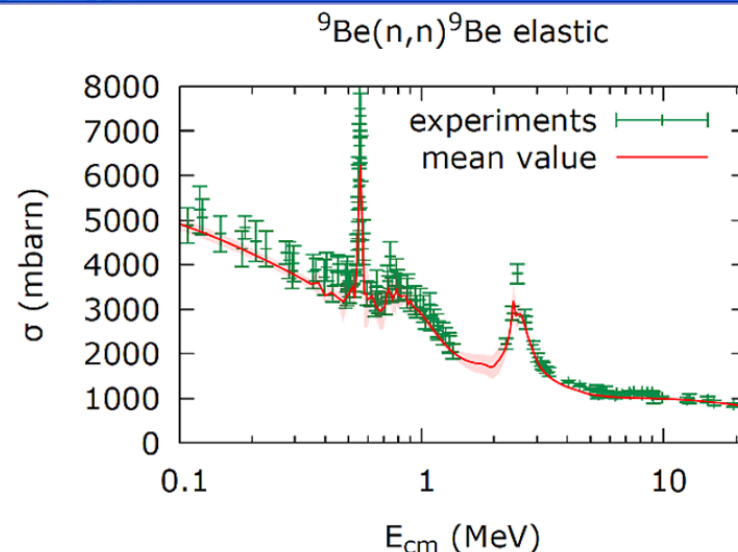
$n+^9\text{Be}$ Integrated Cross Sections

WONDER-2023 - 6th International Workshop On Nuclear Data Evaluation for Reactor applications

Aix-en-Provence, France, June 5-9, 2023
O. Serot and A. Chebboubi (Eds.)

[EPJ Web of Conferences 294, 04006 \(2024\)](#)

Helmut Leeb and Thomas Srdinko
Towards a Bayesian evaluation technique for
light nuclear systems



Compound-
Nuclear
Reactions and
Related Topics
(CNR*24)

[EPJ Web of Conferences 322, 10001 \(2025\)](#)

Helmut Leeb

Nuclear data evaluation: status and perspectives

Figure 3: Mean values and error bands (2σ) of the evaluated reaction cross sections in the $n+{}^9\text{Be}$ system.

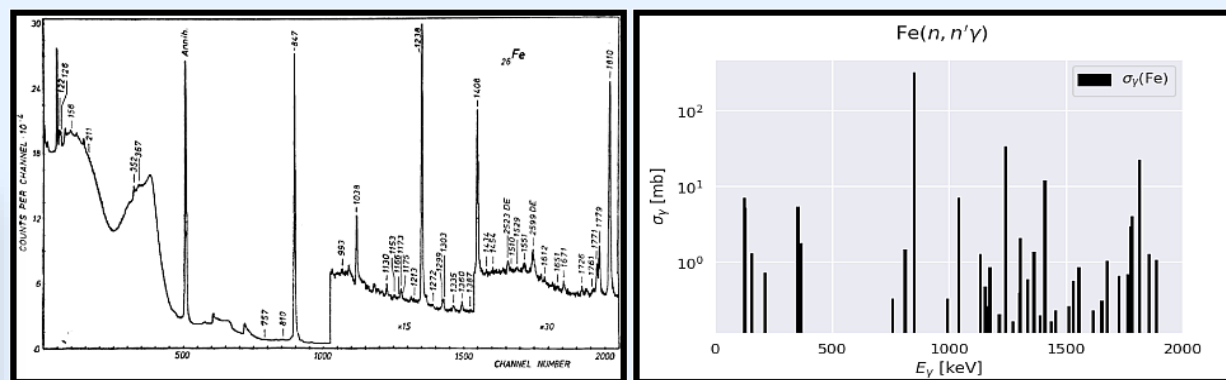
Atlas of Gamma-Ray Spectra from the Inelastic Scattering of Reactor Fast Neutrons

Reference articles:

A.M. Demidov, L.I. Govor, Yu.K. Cherepantsev, M.R. Ahmed, S. Al-Najjar, M.A. Al-Amili, N. Al-Assafi, N. Rammo, *Atlas of Gamma-Ray Spectra from the Inelastic Scattering of Reactor Fast Neutrons*, Nuclear Research Institute, Baghdad, Iraq (Moscow, Atomizdat 1978).

A.M. Hurst, L.A. Bernstein, T. Kawano, A.M. Lewis, K. Song, *The Baghdad Atlas: A relational database of inelastic neutron-scattering ($n, n'\gamma$) data*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A **995**, 165095 (2021).

Measured $^{nat}\text{Fe}(n, n'\gamma)$ spectrum cf. γ -ray energy spectrum retrieved from SQL database query



Aaron Hurst <amhurst@berkeley.edu>

Department of Nuclear Engineering, University of California, Berkeley

March 1, 2017



АТЛАС
СПЕКТРОВ
ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ
ОТ НЕУПРУГОГО
РАССЕЯНИЯ
БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ
РЕАКТОРА
1978



Nuclear Instruments and Methods in Physics
Research Section A: Accelerators, Spectrometers,
Detectors and Associated Equipment

Volume 995, 11 April 2021, 165095

The Baghdad Atlas: A relational database of
inelastic neutron-scattering ($n, n'\gamma$) data

A.M. Hurst ^a, L.A. Bernstein ^{a, b}, T. Kawano ^c, A.M. Lewis ^d, K. Song ^a

Симаков С.П., Павлик А., Вонах Г., Главач С.

1998

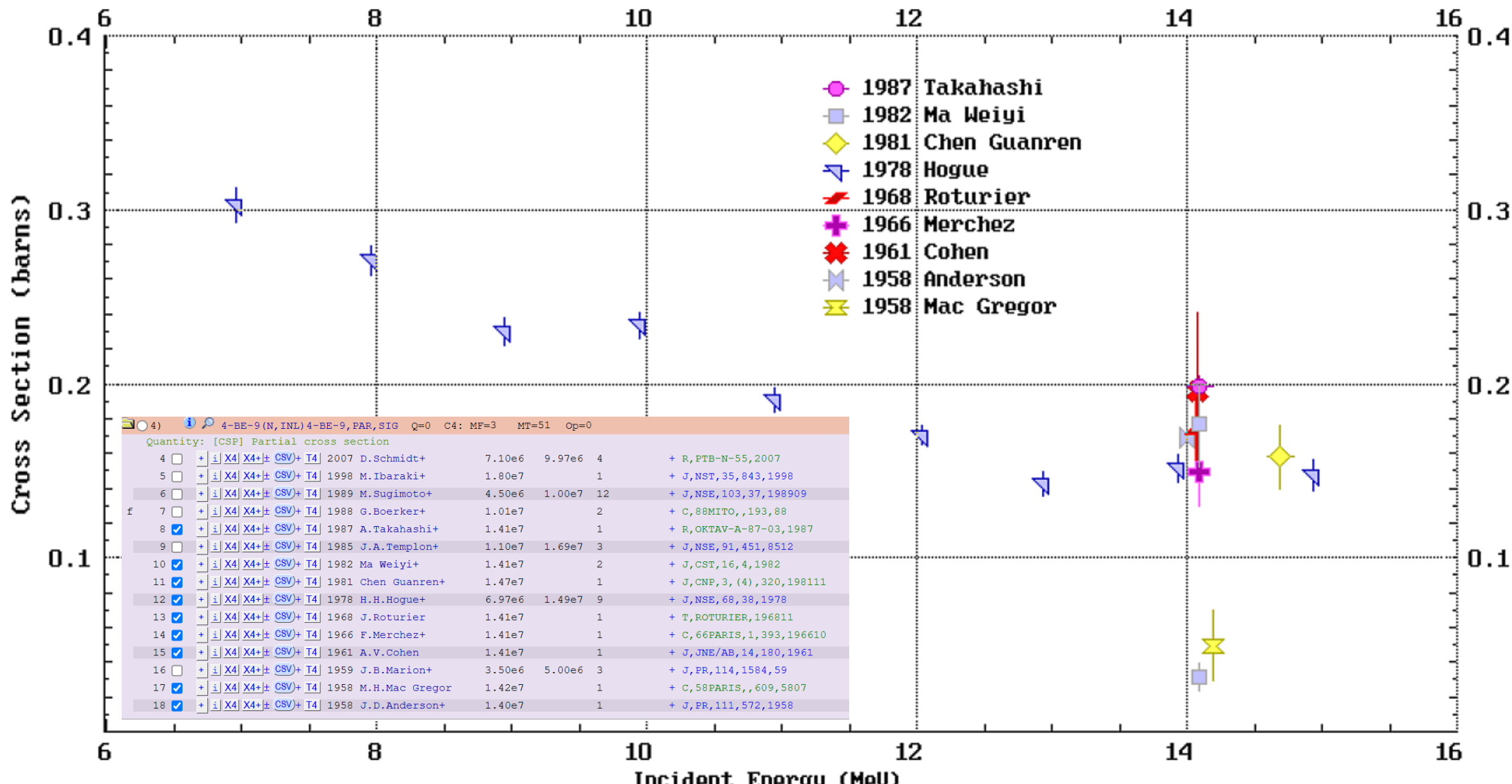
СОСТОЯНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО И ОЦЕНЕННОГО
ДИСКРЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА γ -ЛУЧЕЙ ПРИ $E_n = 14,5$ МэВ

Table 3. Compilation of measured and corrected discrete photon production cross sections (Comments: (s) - these data were skipped during the calculation of the averaged cross-section; * - these data are preliminary and could be still corrected by the authors).

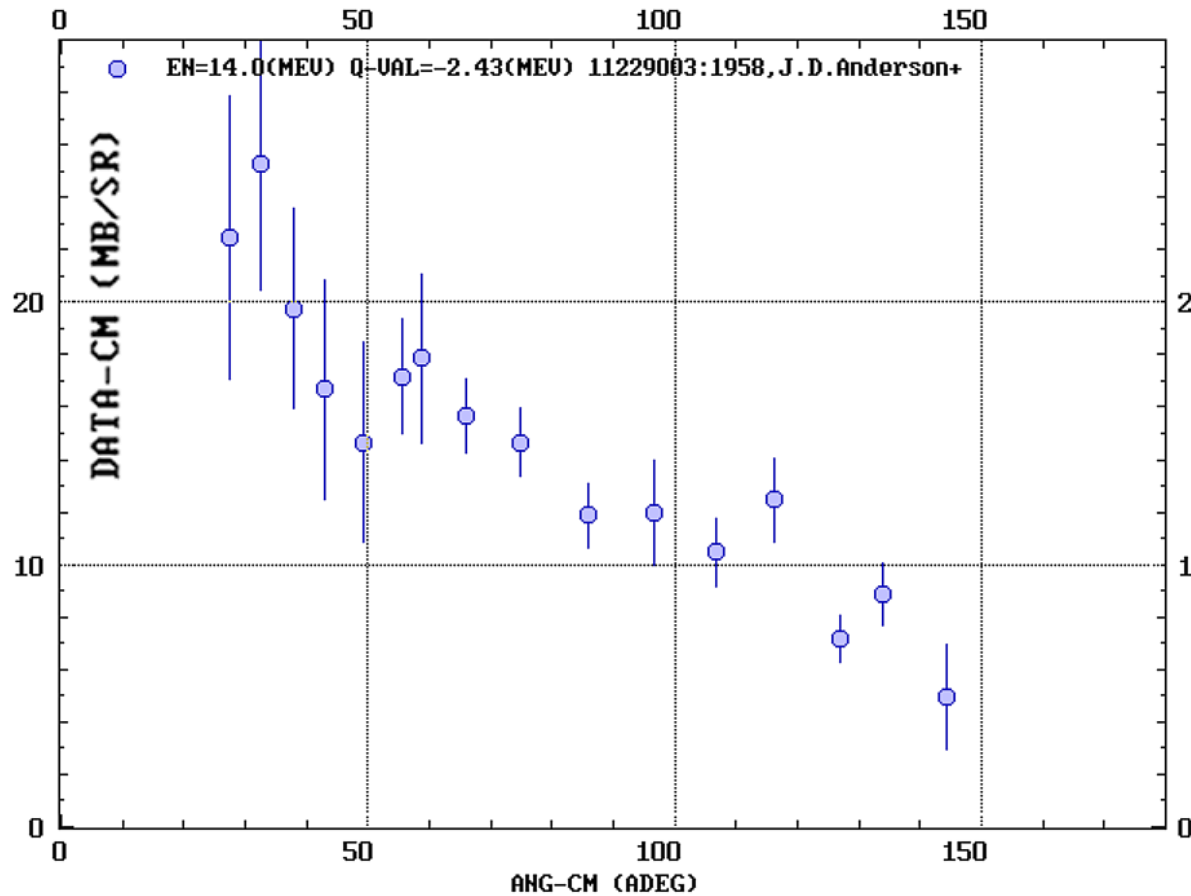
E _γ , keV	Reaction	Transition U _i (I _i ^π)→U _f (I _f ^π), Speed	E, MeV	Angle, Degree	Sample Mat:Size (mm), At/MS	Detect.	σ, mb	Author	Publ Year	Correction			Corrected σ mb	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Δσ, mb	13	14
3-Lithium-6														
3562	⁶ Li(n,n') ⁶ Li	3562(3 ⁺)→0(1 ⁻), p	14	0-180	⁶ Li:Ø70×Ø??, +/-	Nal(Tl)	1.4±0.5	Bezotosny	1976	1.0	1.0	-0.11		1.29±0.46
3-Lithium-7														
478	⁷ Li(n,n') ⁷ Li	478(1/2 ⁻)→0(3/2 ⁻), p	14	0-180	⁷ Li:Ø70×Ø??, +/-	Nal(Tl)	20±3	Bezotosny	1976	1.0	1.0	-2.8	(s) 17.2±2.6	
			14.8	90	⁷ Li:Ø?×?, +/-	Nal(Tl)	97±7	Western	1965	1.0	1.12	1.7	110.3±7.8	
			13.6	150	LiH:Ø360×Ø300×40, +/-	Nal(Tl)	108±12	Benveniste	1962	1.0		-5.0		
			13.7	140	LiH:Ø360×Ø300×40, +/-	Nal(Tl)	86±10	Benveniste	1962	1.0		-4.4		
			13.7	130	LiH:Ø360×Ø300×40, +/-	Nal(Tl)	86±10	Benveniste	1962	1.0		-4.4		
			13.8	120	LiH:Ø360×Ø300×40, +/-	Nal(Tl)	87±10	Benveniste	1962	1.0		-3.9		
			14.0	110	LiH:Ø360×Ø300×40, +/-	Nal(Tl)	82±10	Benveniste	1962	1.0		-2.8		
			14.1	100	LiH:Ø360×Ø300×40, +/-	Nal(Tl)	77±9	Benveniste	1962	1.0		-2.2	85.5±10	
			14.2	90	LiH:Ø360×Ø300×40, +/-	Nal(Tl)	75±9	Benveniste	1962	1.0		-1.7		
			14.3	80	LiH:Ø360×Ø300×40, +/-	Nal(Tl)	78±9	Benveniste	1962	1.0		-1.1		
			14.4	70	LiH:Ø360×Ø300×40, +/-	Nal(Tl)	91±10	Benveniste	1962	1.0		-0.6		
			14.6	50	LiH:Ø360×Ø300×40, +/-	Nal(Tl)	99±11	Benveniste	1962	1.0		+0.6		
			14.7	40	LiH:Ø360×Ø300×40, +/-	Nal(Tl)	80±9	Benveniste	1962	1.0		+1.1		
			14.8	30	LiH:Ø360×Ø300×40, +/-	Nal(Tl)	115±13	Benveniste	1962	1.0		+1.7		
4-Beryllium-9 (100%)														
478	⁹ Be(n,t) ⁷ Li	478(1/2 ⁻)→0(3/2 ⁻), p	14	0-180	Ø60×Ø20, +/-	Nal(Tl)	2±.5	Bezotosny	1976	1.0	1.0	+1.0	3±0.5	
			14.2	90	Ø44×6,Ø31×Ø25×32,+/-	Nal(Tl)	8.8±2.5	Drake	1978	1.0	?	+0.6	9.4±2.5	

4-BE-9(N, INL)4-BE-9

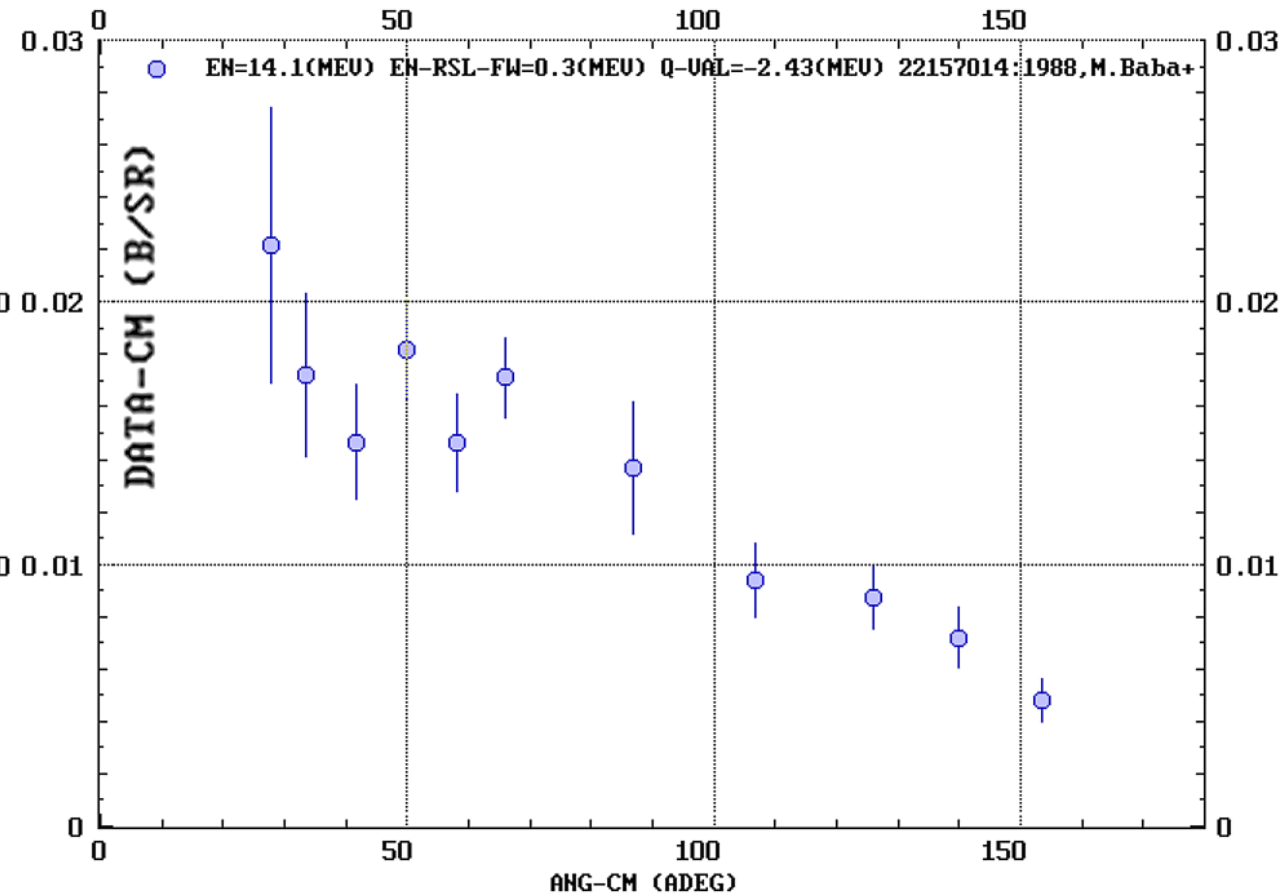
EXFOR Request: 1695/1, 2025-Jun-24 2025:06:11



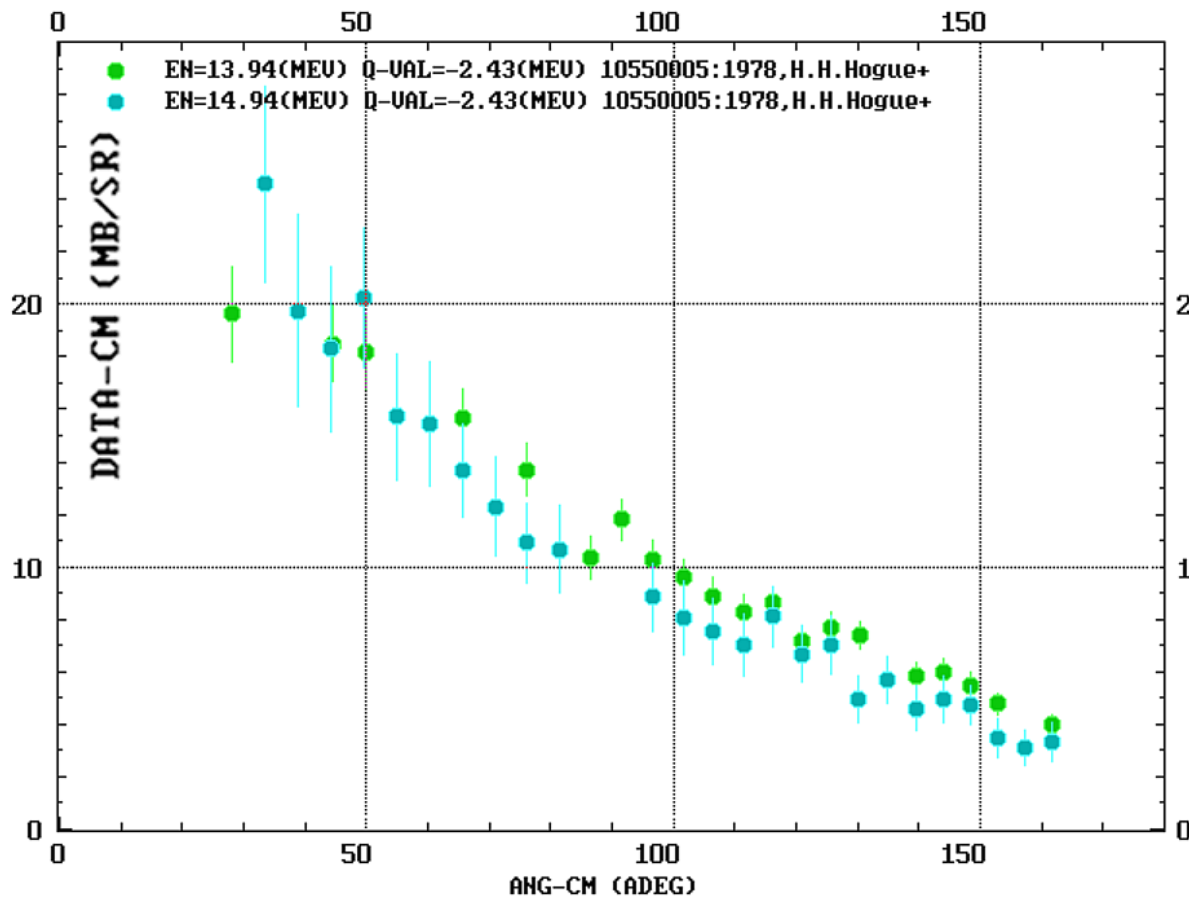
EXFOR
4-BE-9(N, INL)4-BE-9, PAR, DA



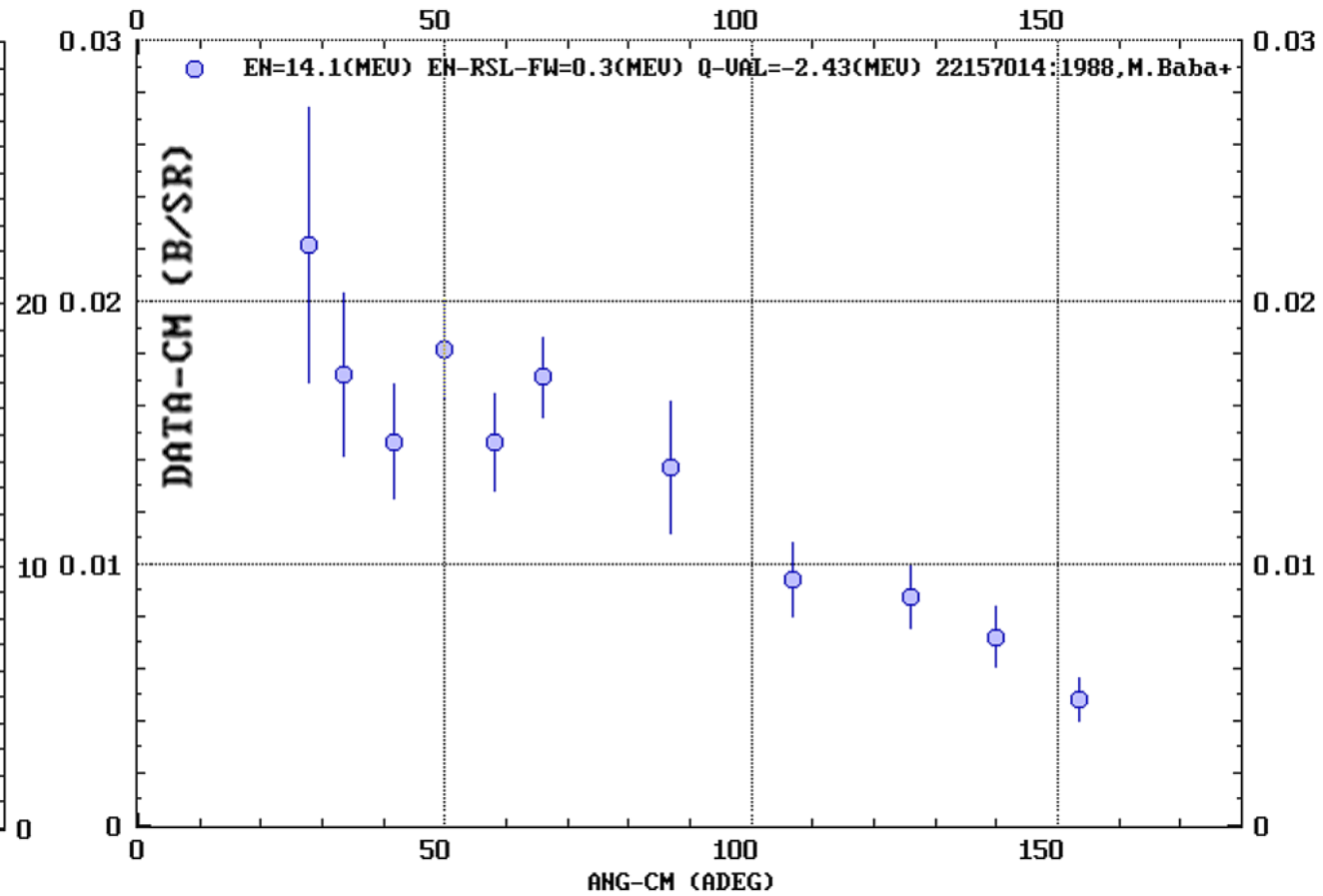
EXFOR
4-BE-9(N, INL)4-BE-9, PAR, DA

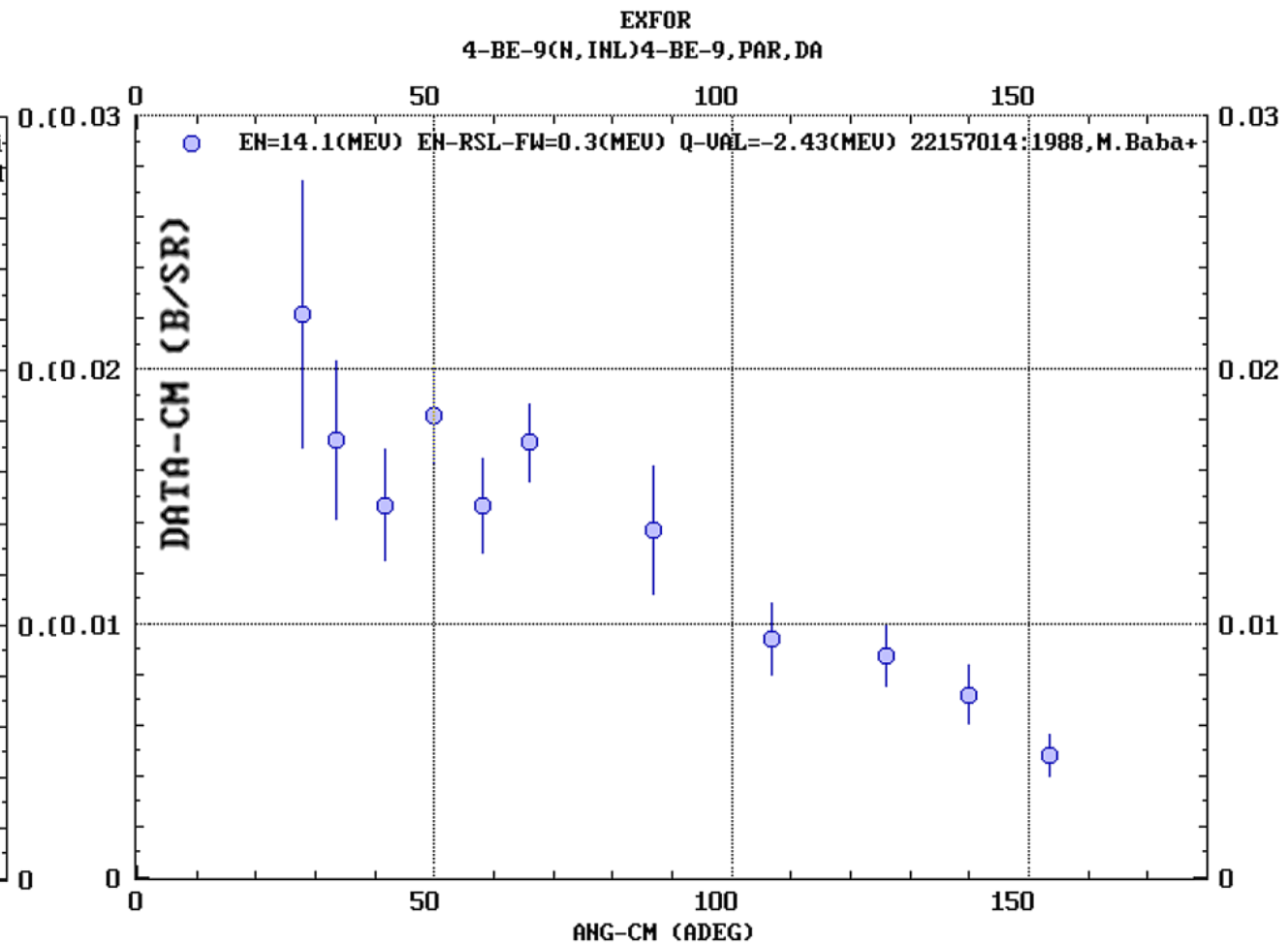
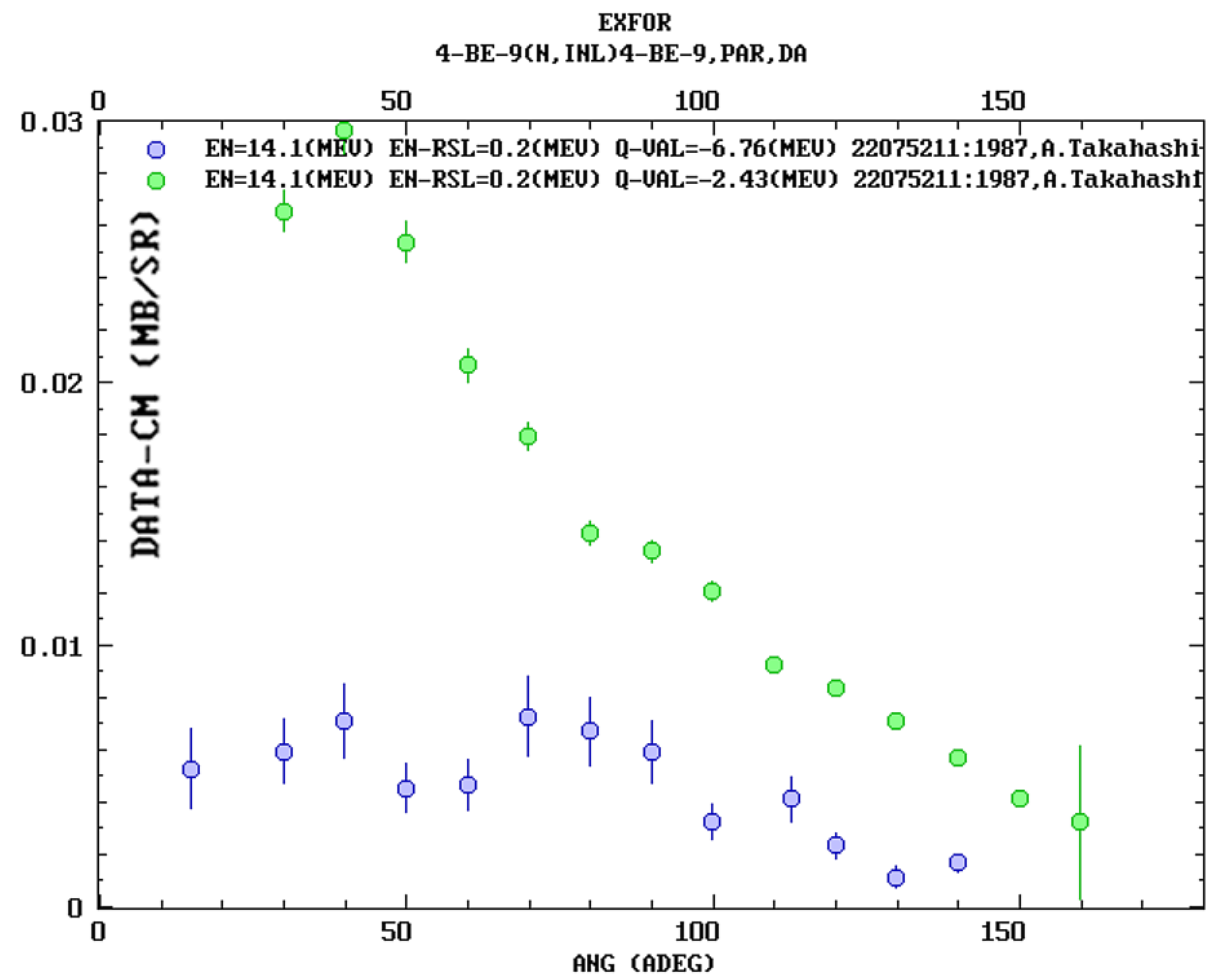


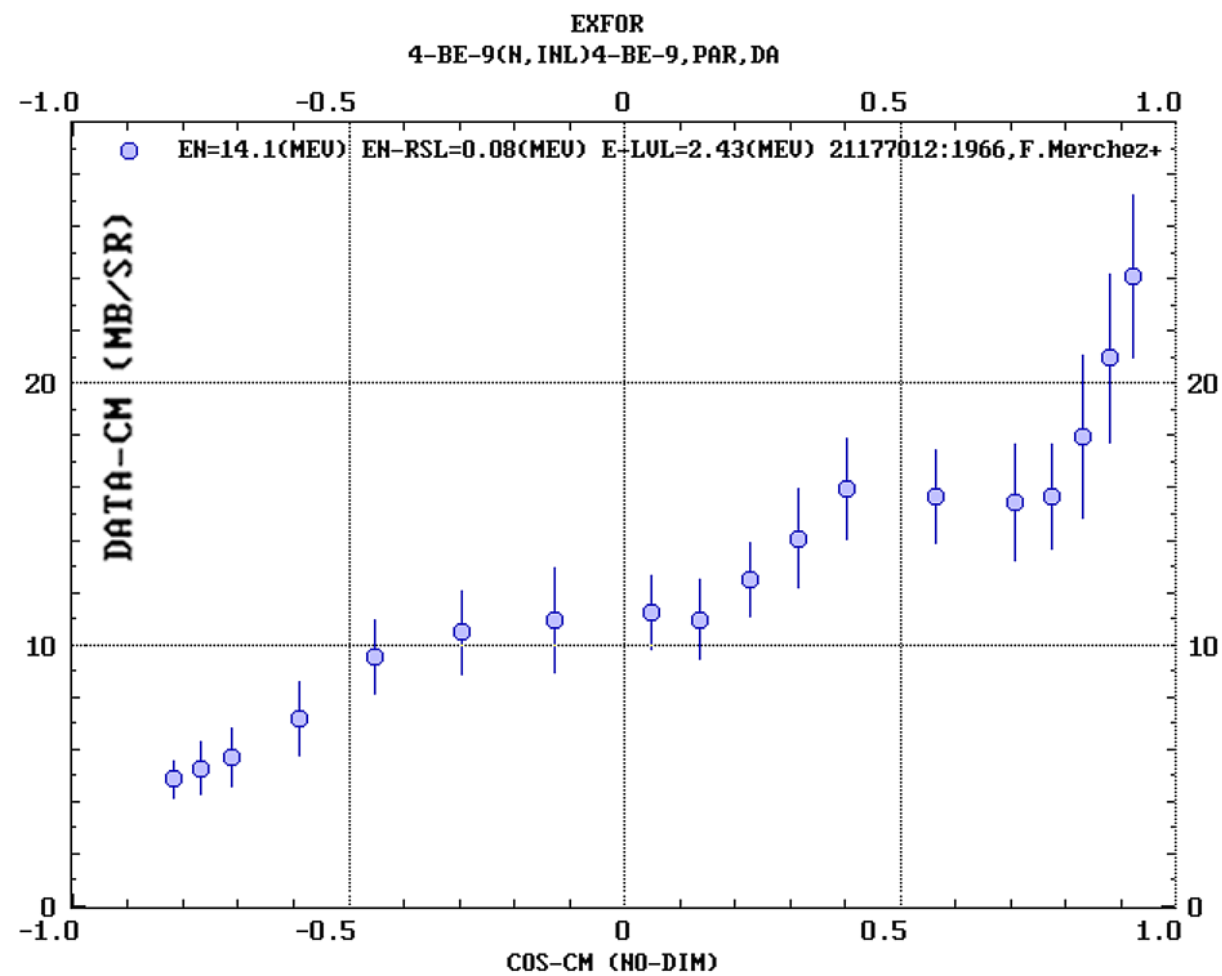
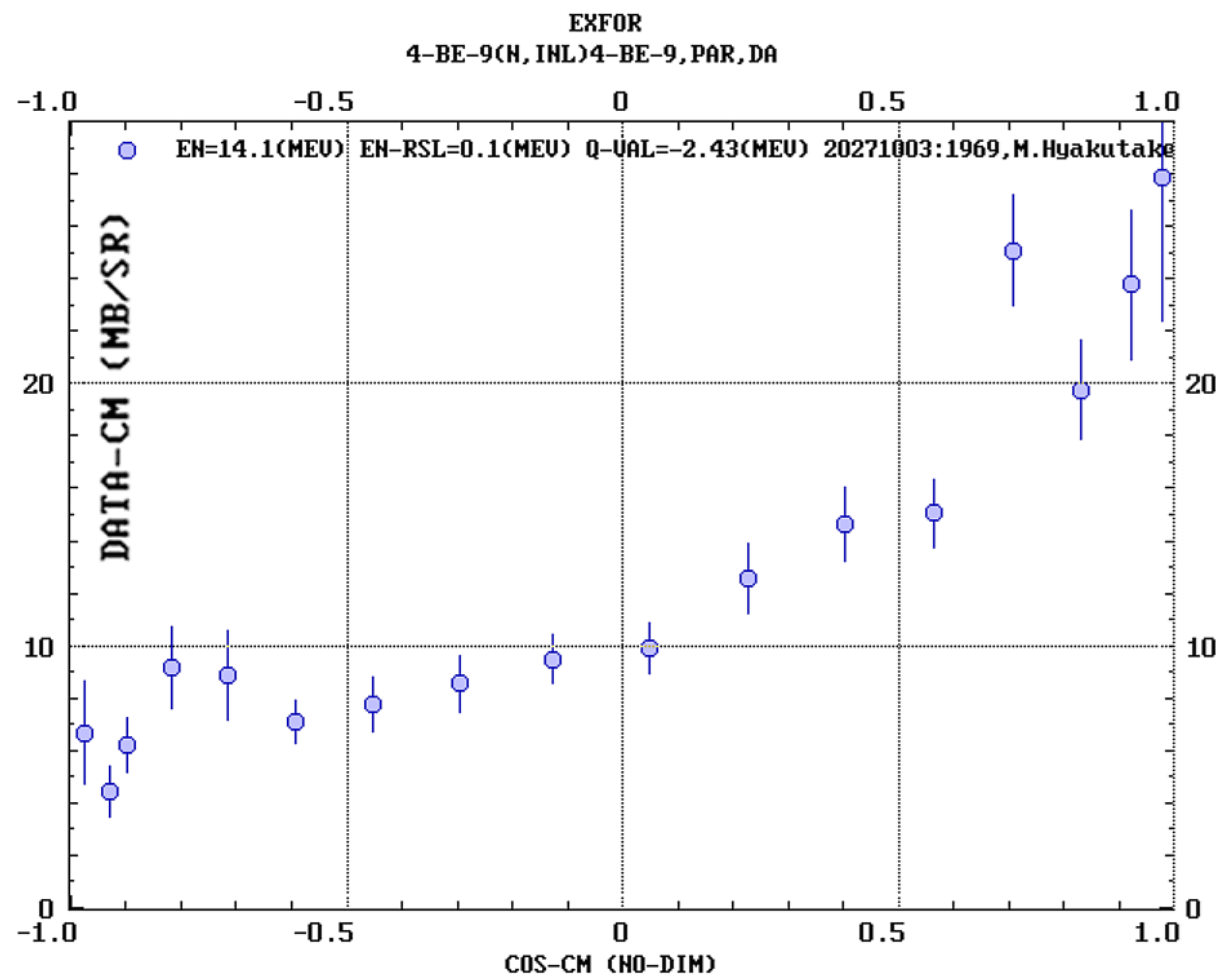
EXFOR
4-BE-9(N, INL)4-BE-9, PAR, DA

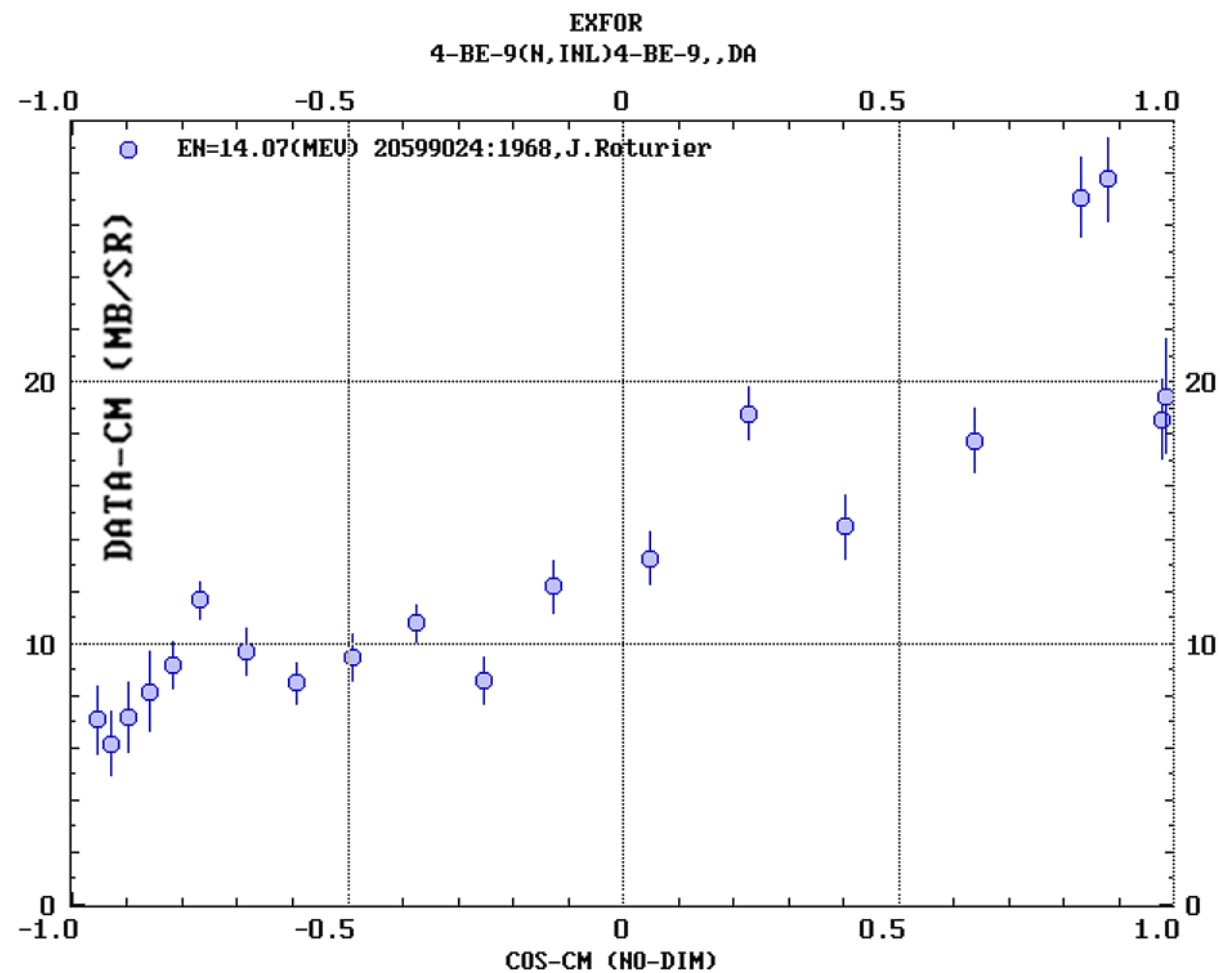
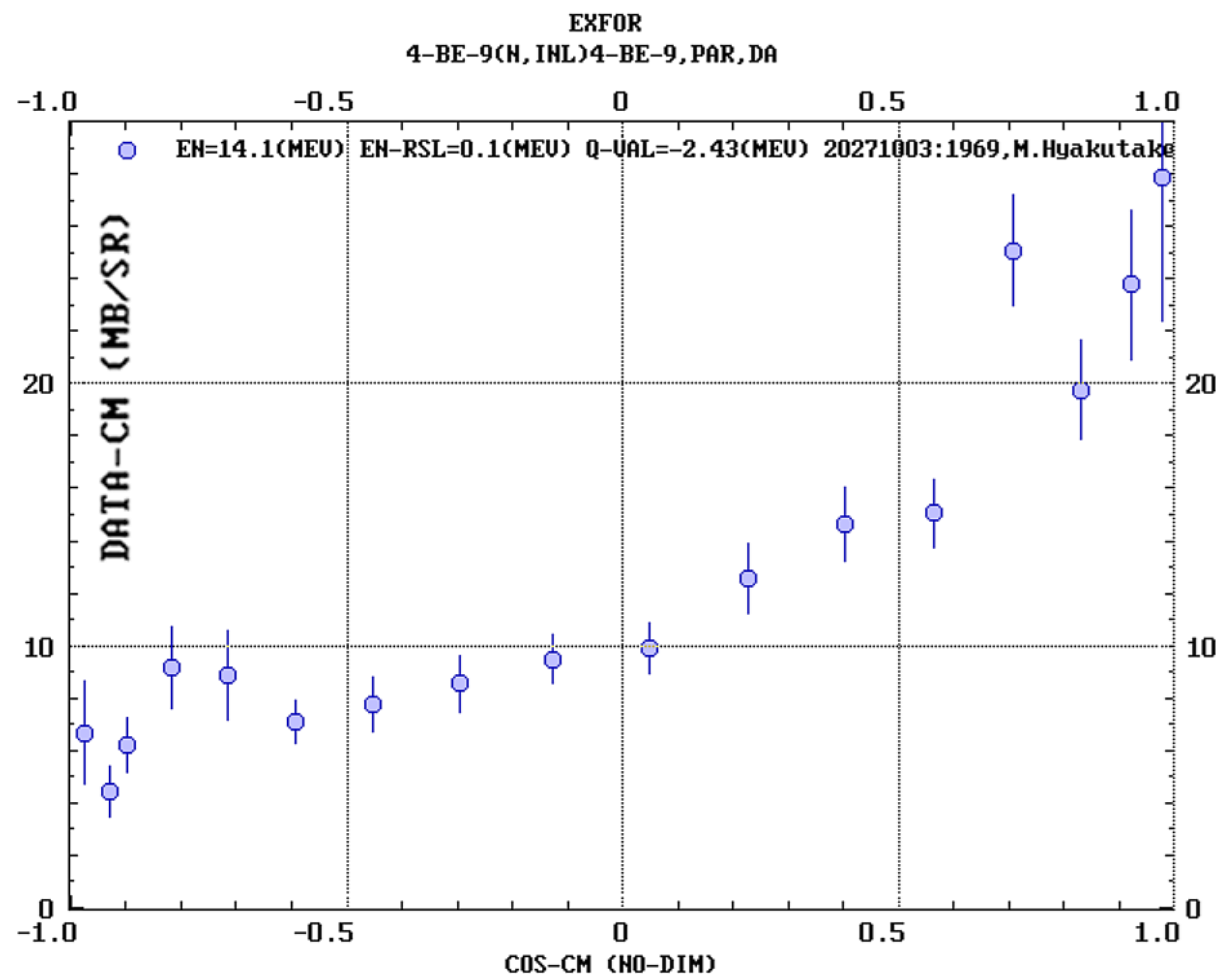


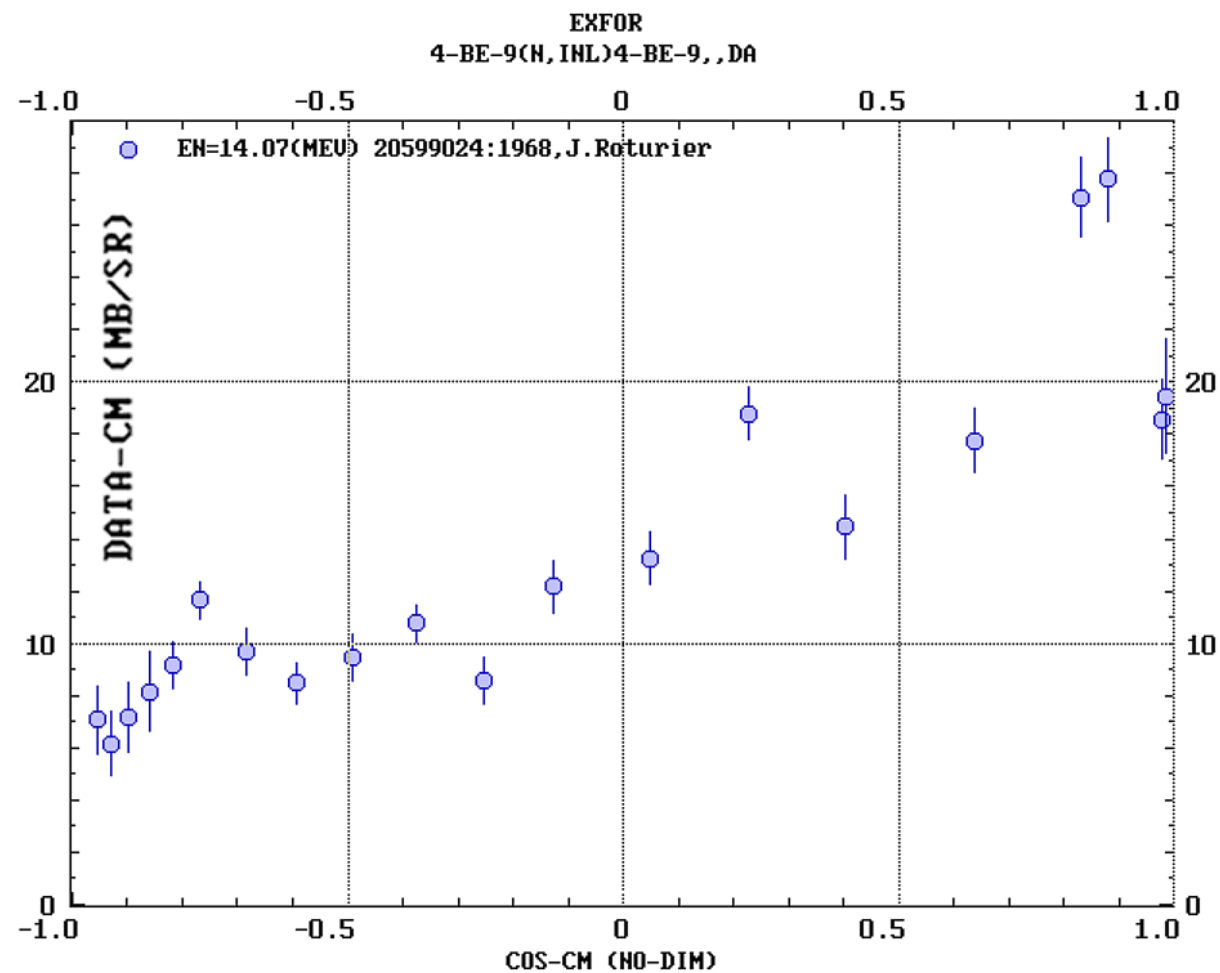
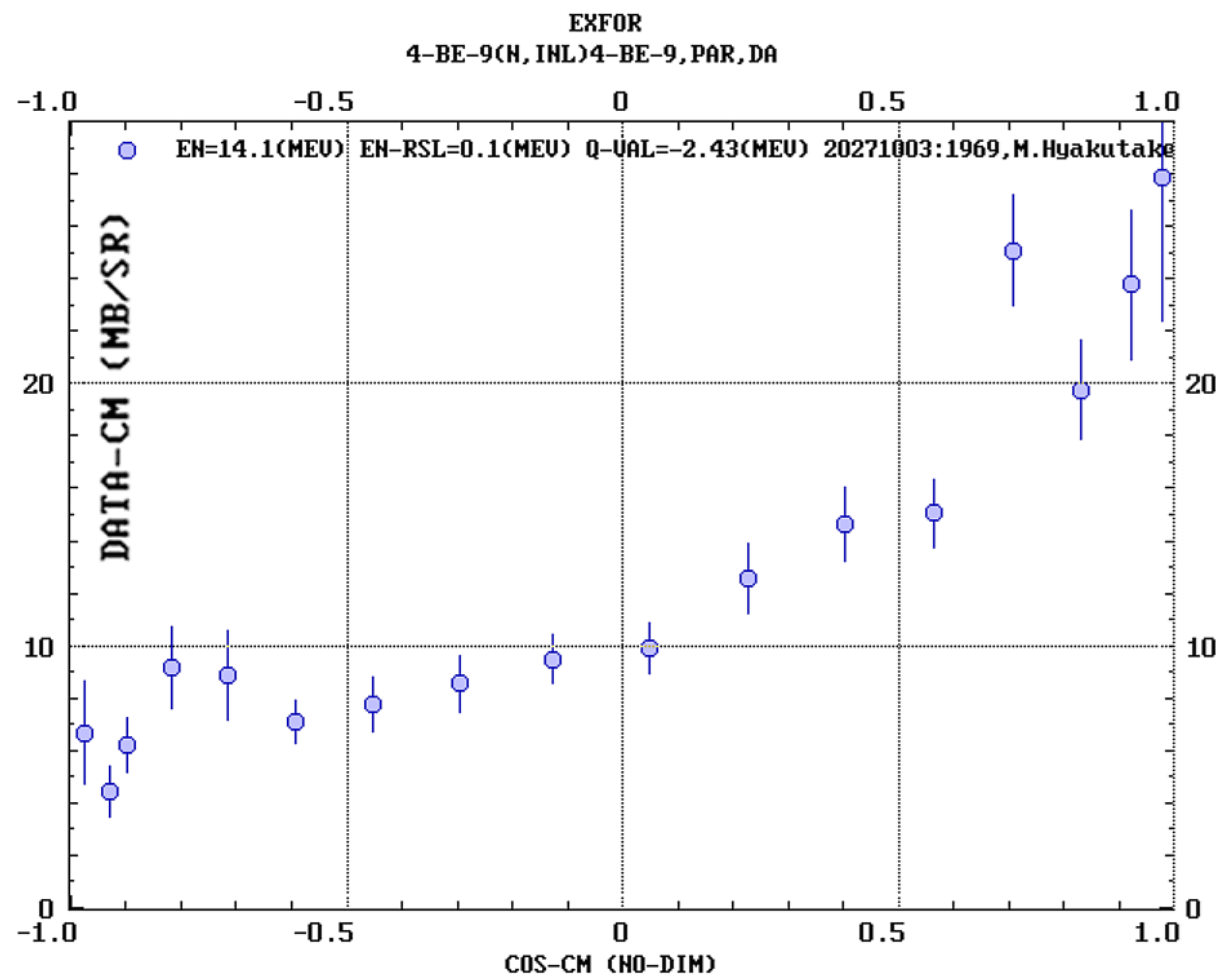
EXFOR
4-BE-9(N, INL)4-BE-9, PAR, DA



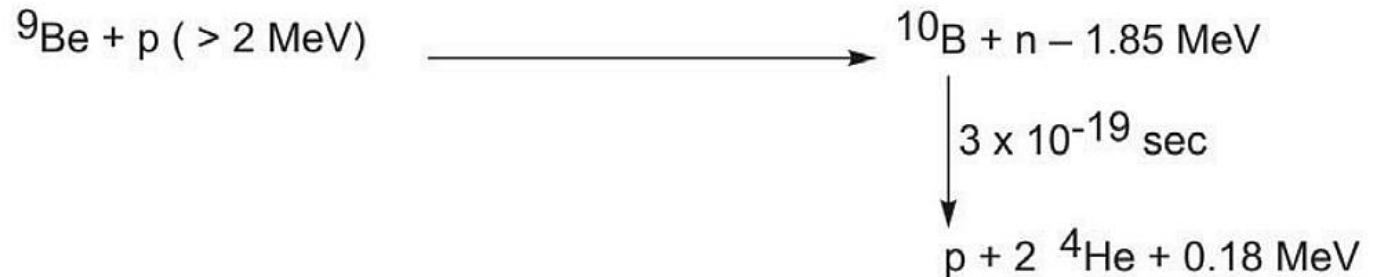
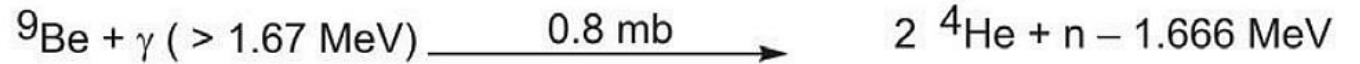
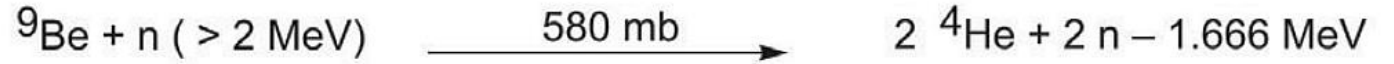
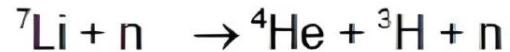
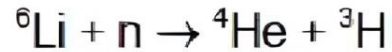
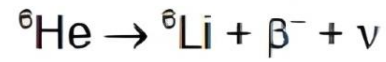




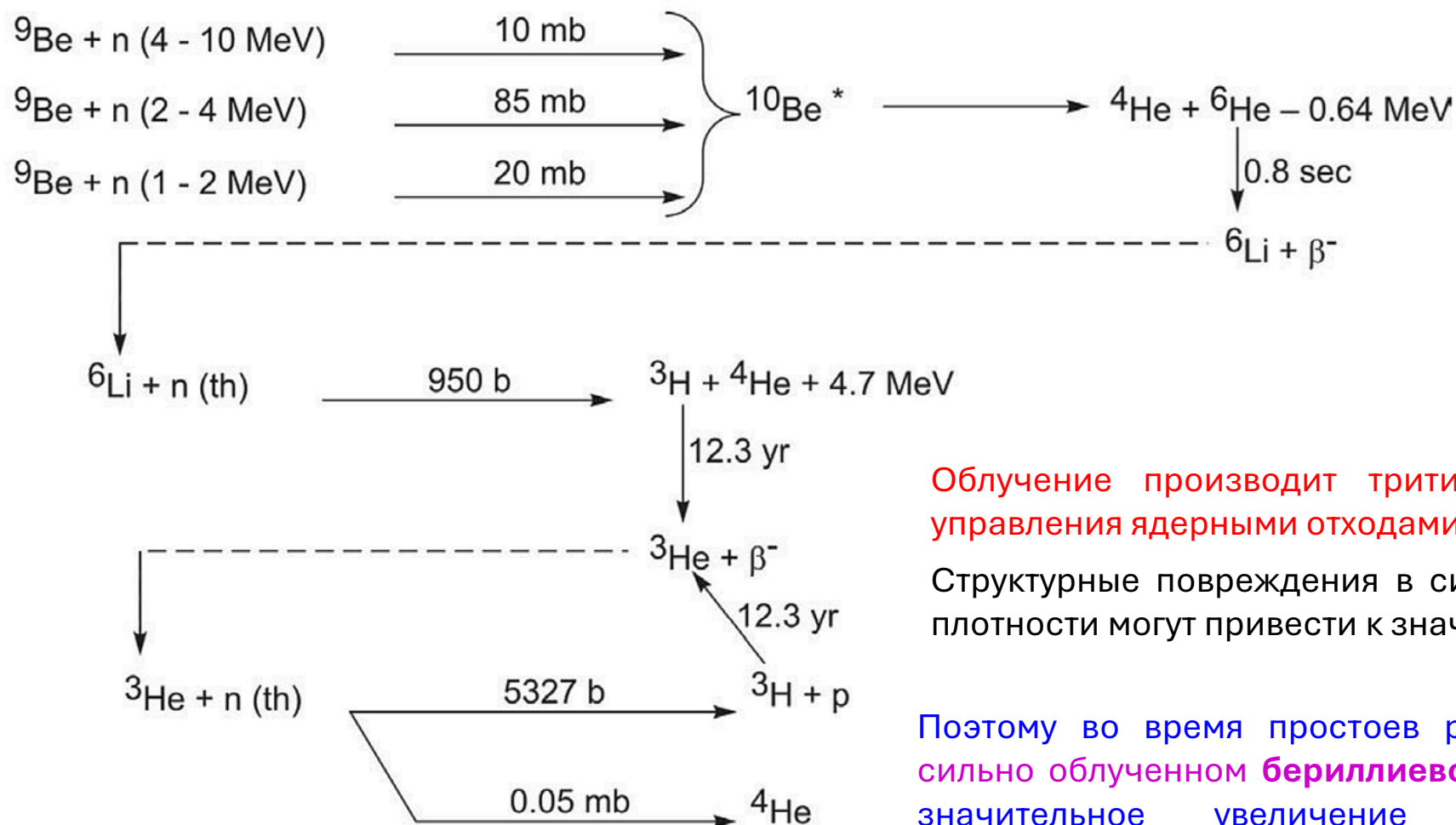




Бериллий играет важную роль в операциях ядерных реакторов, в которых происходят различные ядерные реакции с участием этого материала.



Бериллий играет важную роль в операциях ядерных реакторов, в которых происходят различные ядерные реакции с участием этого материала.



Долговременное воздействие нейтронного и гамма-излучения приводит к **накоплению литий-6 (^6Li)** и **гелий-3 (^3He)** имеет очень большое сечение поглощения, что вызывает набухание и изменения механических свойств бериллия может **ограничить срок службы бериллиевых отражателей нейтронов**, что требует периодической замены.

Облучение производит тритий (^3H), что имеет значение для управления ядерными отходами.

Структурные повреждения в сильно облученном бериллии низкой плотности могут привести к значительным выбросам трития.

Поэтому во время простоев реактора, особенно длительных, в сильно облученном **бериллиевом отражателе** может наблюдаться значительное увеличение концентрации гелия-3 из-за радиоактивного распада трития.

4-Be-9

[Be-5](#) [Be-6](#) [Be-7](#) [Be-8](#) [Be-10](#) [Be-11](#) [Be-12](#) [Be-13](#) [Be-14](#)

MT	Reaction	0.0253-eV	Maxwellian Average	g-factor	Resonance Integral	14-MeV	Fiss. Spec. Average
1	(n,total)	6.511 (b)	7.340 (b)	1.127	—	1.495 (b)	2.833 (b)
2	(n,elastic)	6.503 (b)	7.331 (b)	1.127	—	983.9 (mb)	2.677 (b)
16	(n,2n)	(E-thr = 1.749 MeV)				483.8 (mb)	119.6 (mb)
102	(n, γ)	8.490 (mb)	8.495 (mb)	1.001	3.822 (mb)	361.3 (nb)	1.292 (μ b)
103	(n,p)	(E-thr = 14.26 MeV)				—	20.25 (nb)
104	(n,d)	(E-thr = 16.30 MeV)				—	32.68 (nb)
105	(n,t)	(E-thr = 11.61 MeV)				17.34 (mb)	3.084 (μ b)
107	(n,a)	(E-thr = 669.7 keV)				9.419 (mb)	35.65 (mb)

These cross sections are calculated from **JENDL-4.0** at **300K**.

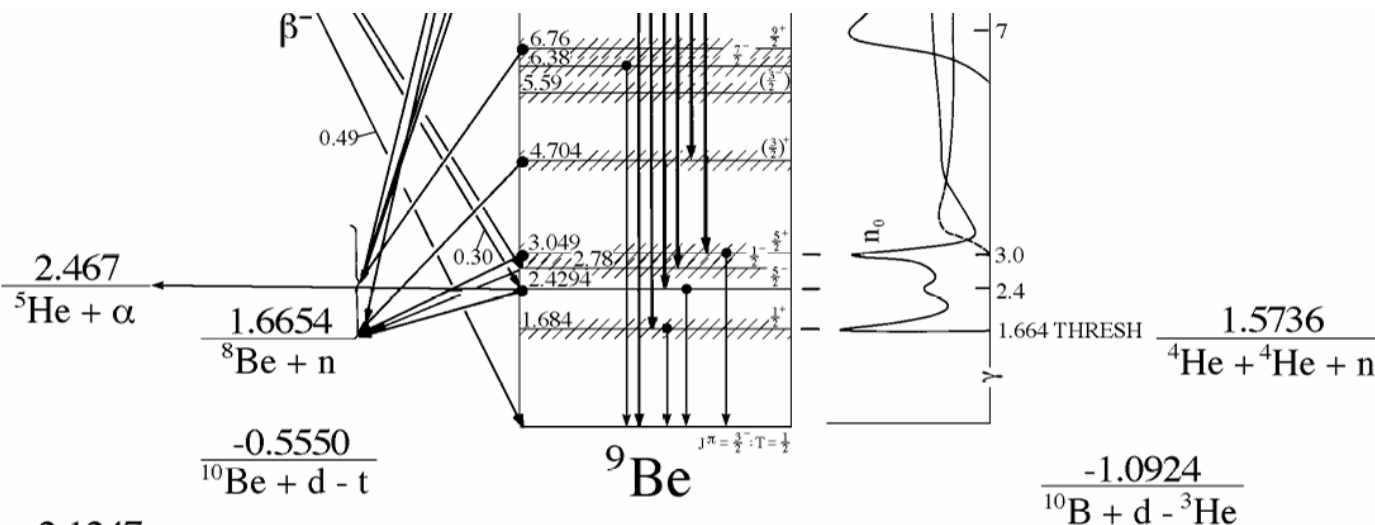
The background color of each cell noted a cross section means the order of the cross-section value.

The unit of cross section, (b), means barns, and SI prefixes are used as following.

(kb) $\rightarrow 10^3$ (b), (mb) $\rightarrow 10^{-3}$ (b), (μ b) $\rightarrow 10^{-6}$ (b), (nb) $\rightarrow 10^{-9}$ (b).

Table 1 The energy levels (k) and widths Γ of ^9Be , ^5He , ^8Be , ^6He (unit: MeV).

Level E^*	(n, n') E_{thresh}	(n, n') ^9Be	$(n, n\alpha)$ ^5He	$(n, 2n)$ ^8Be	(n, α) ^6He
g. s.		$(3/2)^- \Gamma = 0$	$(3/2)^- \Gamma = 0.6$	$(0^+) \Gamma = 0.0000068$	$(0^+) \tau = 806.3 \text{ ms}$
$k = 1$	1.874	$1.684(1/2)^+ \Gamma = 0.217$	$1.27 (1/2)^- \Gamma = 4.0$	$3.040(2^+) \Gamma = 1.50$	$1.797(2^+) \Gamma = 0.113$
$k = 2$	2.771	$2.429(5/2)^- \Gamma = 0.00077$	$16.84 (3/2)^+ \Gamma = 0.076$	$11.400(4^+) \Gamma = 3.5$	$5.67 \Gamma = 12.1$
$k = 3$	3.091	$2.780(1/2)^- \Gamma = 1.08$		$16.922(2^+) \Gamma = 0.074$	$14.6(1^-)$
$k = 4$	3.390	$3.049(5/2)^+ \Gamma = 0.282$			
$k = 5$	5.230	$4.704(3/2)^+ \Gamma = 0.743$			
$k = 6$	6.211	$5.59 (3/2)^- \Gamma = 1.330$			



Бериллий является особым случаем для нейтронно-индуцированного гамма-излучения, поскольку все его известные возбужденные состояния являются “частица-нестабильными”, т.е.

${}^9\text{Be}(n, n'\gamma)$ реакция маловероятна.

Единственные гамма-кванты от облучения образца бериллия были от распада первого возбужденного состояния 0,48 МэВ в ${}^7\text{Li}$, т.е. от реакции **${}^9\text{Be}(n,t){}^7\text{Li}^*$** .

Никакая другая реакция, вызванная нейтронами 14 МэВ, не должна приводить к мгновенному излучению гамма-излучения!

Измеренное сечение гамма-излучения **0,48 МэВ** при **90 градусах** составило **$0,7 \pm 0,2$ мб/ср.**

Эти данные позволяют установить верхний предел для производства любого другого гамма-излучения выше 0,5 МэВ в диапазоне от 0,06 мб/ср при 0,5 МэВ до 0,02 мб/ср при 8 МэВ.

Тот факт, что гамма-кванты 2,43 МэВ не видны (не испускаются) при бомбардировке бериллия нейтронами 14 МэВ, означает, что уровень 2,43 МэВ в ${}^9\text{Be}$ распадается путем испускания частиц.

Единственный энергетически возможный процесс распада частиц — испускание нейтронов.

Поскольку сечение $(n,2n)$ равно $0,53 \pm 0,04$ барн, это означает, что около трети сечения $(n,2n)$ при 14 МэВ представляет собой двухступенчатый процесс, протекающий через уровень 2,43 МэВ в ${}^9\text{Be}$.

Бериллий и нейтроны с энергией 14 МэВ в нуклеосинтезе Большого взрыва (BBN)

More 14-MeV, Neutron-Induced Gamma-Ray
Production Cross Sections

by
Darrell M. Drake
Edward D. Arthur
Myron G. Silbert

Los Alamos
scientific laboratory
of the University of California
LOS ALAMOS, NEW MEXICO 87545

An Affirmative Action/Equal Opportunity Employer

Beryllium +
UNITED STATES
ENERGY RESEARCH AND DEVELOPMENT ADMINISTRATION
CONTRACT W-7405-ENG-36

Теория BBN предсказала разрушение ${}^7\text{Be}$ посредством резонанса в процессе $d + {}^7\text{Be} \rightarrow {}^9\text{B}$

V. Valkovic, D. Sudac, and J. Obhodas, The role of 14 MeV neutrons in light element nucleosynthesis, ANIMMA 2017 EPJ Web of Conferences 170, 01017 (2018), <https://doi.org/10.1051/epjconf/201817001017>

Experiment: $n + {}^9\text{Be} \rightarrow \alpha + \alpha + n + p + e^- + \bar{\nu}$

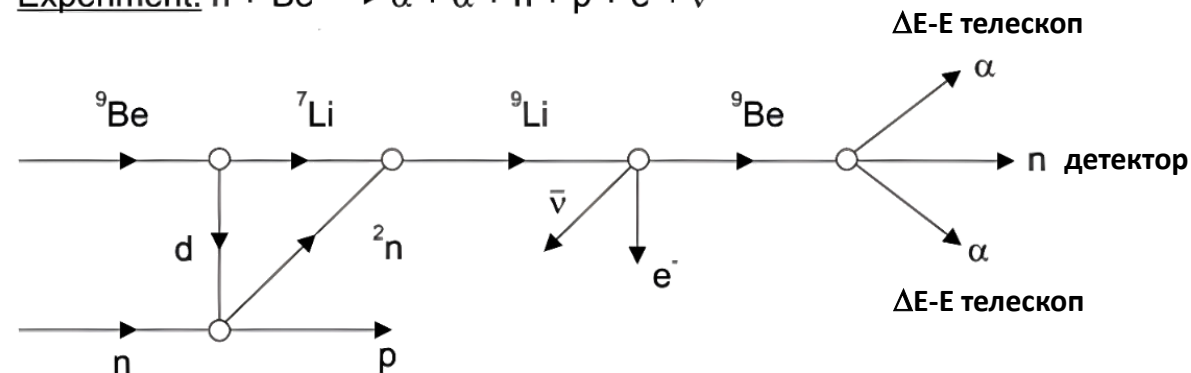


Рис. 4: Входящий нейтрон взаимодействует с d в ядре ${}^9\text{Be}$, что приводит к взаимодействию ${}^7\text{Li} + 2n$ и последовательности распадов, как указано.

Для измерения сечений образования гамма-лучей бериллия, углерода, магния, алюминия, кремния, кальция, титана, ванадия, хрома, железа, меди, ниобия, молибдена, тория и ${}^{238}\text{U}$ использовались импульсный источник нейтронов с энергией 14,2 МэВ и гамма-спектрометр NaI(Tl).

Гамма-лучи от бериллия-9 не наблюдались, за исключением гамма-излучения 0,48 МэВ от ${}^9\text{Be}(n, t){}^7\text{Li}^*$, с поперечным сечением $0,7 \pm 0,2$ мб/ср

<https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc868503/>

<https://doi.org/10.13182/NSE78-A27125>

Дрейк, Д. М. Артур, Э. Д. Силберт, М. Г.

LA-5983-MS

1 июля 1975 г.

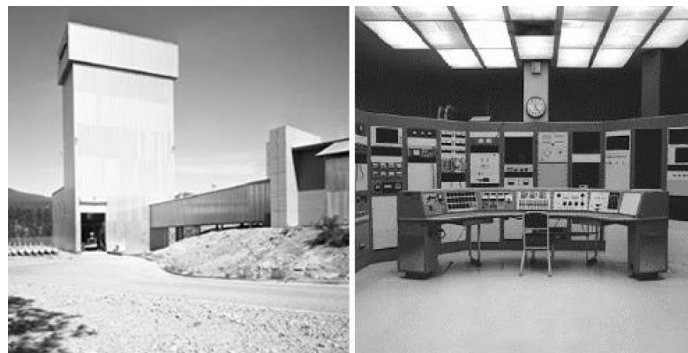
UC-34c
Reporting Date: May 1975
Issued: July 1975

Сечения образования гамма-лучей нейтронами с энергией 14 МэВ

More 14-MeV, Neutron-Induced Gamma-Ray

Production Cross Sections

Импульсный источник нейтронов с энергией $14,2 \pm 0.5$ МэВ, метод времени пролета и большой гамма-спектрометр NaI(Tl) использовались для измерения сечений образования гамма-лучей для бериллия, углерода, магния, алюминия, кремния, кальция, титана, ванадия, хрома, железа, никеля, меди, ниобия, молибдена, тантала, платины, тория, ^{235}U , ^{238}U и ^{239}Pu . Эти сечения представляют интерес для программы управляемого термоядерного реактора.



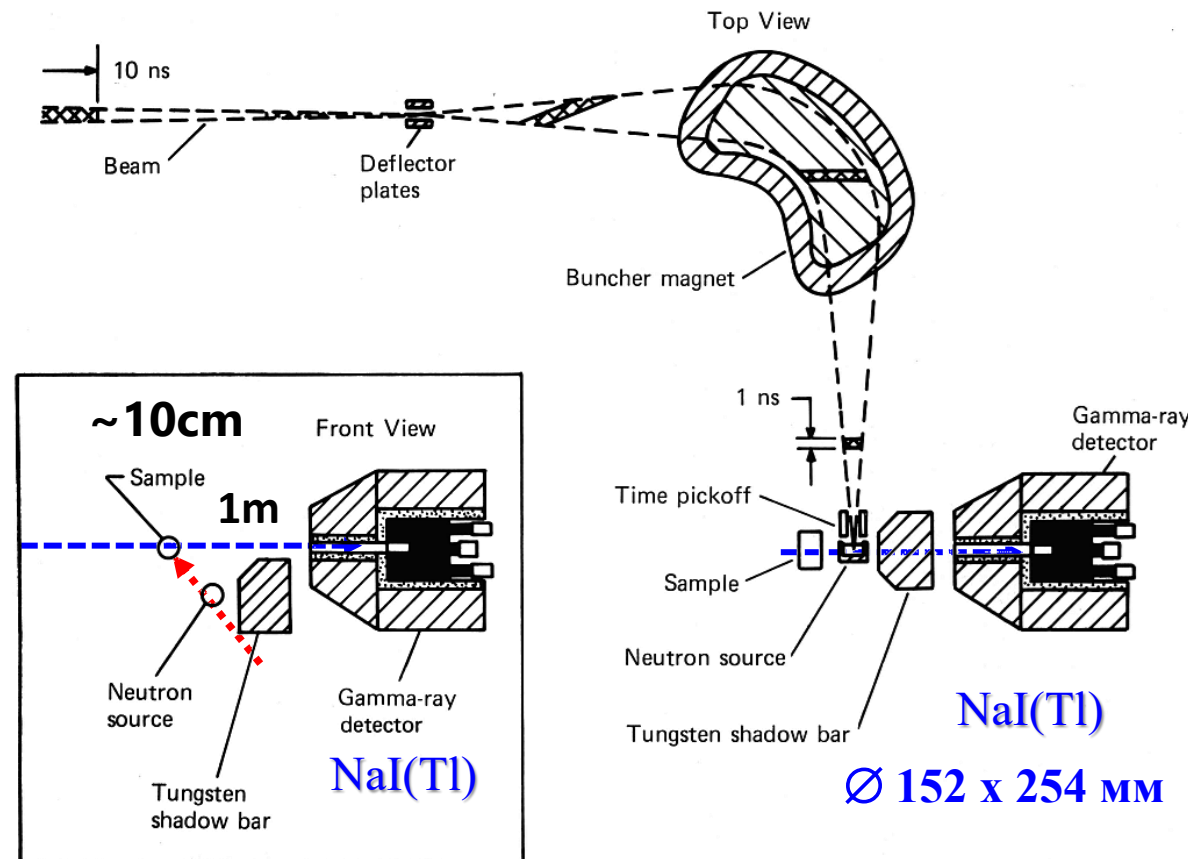
UNITED STATES
ENERGY RESEARCH AND DEVELOPMENT ADMINISTRATION
CONTRACT W-7405-ENG. 36



Ожидается, что проект по
дезактивации, выводу из эксплуатации
и демонтажу займет более пяти лет.

February 4, 2025

The U.S. Department of Energy Environmental Management
Los Alamos Field Office has commenced work to
deactivate, decommission and remove the Ion Beam Facility
at Los Alamos National Laboratory.



1977

NUCLEAR SCIENCE
AND ENGINEERING

Nuclear Science and Engineering >

Volume 63, 1977 - [Issue 4](#)

Technical Paper

Double-Differential Beryllium Neutron Cross Sections at Incident Neutron Energies of 5.9, 10.1, and 14.2 MeV

D. M. Drake, G. F. Auchampaugh, E. D. Arthur, C. E. Ragan & P. G. Young

Pages 401-412 | Published online: 12 May 2017, <https://doi.org/10.13182/NSE77-A27057>

LA-6257

C.3

CIC-14 REPORT COLLECTION
**REPRODUCTION
COPY**UC-34c
Reporting Date: February 1976
Issued: August 1976**Double-Differential Beryllium Neutron Cross Sections
at Incident Neutron Energies of 5.9, 10.1, and 14.2 MeV**

by

Darrell M. Drake
George F. Auchampaugh
Edward D. Arthur
Charles E. Ragan
Phillip G. Young

Бериллий был предложен в качестве основного компонента управляемых термоядерных реакторов из-за его уникальной характеристики испускания двух нейтронов для каждого неупругого взаимодействия нейтронов. Эти нейтроны могут быть использованы для производства трития, одного из основных топливных компонентов реактора.

Расчет скорости размножения трития в предлагаемых стенках корпуса реактора требует детального знания энергий и угловых распределений нейтронов, испускаемых бериллием при бомбардировке быстрыми нейтронами.

Почти нет такой информации для бериллия, особенно для реакции (n, 2n).

Нейтронный детектор состоял из жидкого сцинтиллятора Ne-213 диаметром 100 мм и толщиной ~76 мм, напрямую соединенного с фотоумножителем RCA-8854. Они заметили улучшение дискриминации гамма-лучей, устранив обычную соединительную пластину из УФ-метокрилата и пластика и поместив сцинтиллятор NE-213 в прямой контакт с фотоумножительной трубкой.

Детектор был помещен в большой контейнер, изготовленный из меди, полиэтилена, борированного полиэтилена и свинца, и был защищен от прямого источника нейтронов латунным или вольфрамовым теньевым бруском.

Измерены энергии и угловые распределения спектров нейтронной эмиссии из бериллия при энергиях падающих нейтронов 5,9, 10,1 и 14,2 МэВ.

LOS ALAMOS NATL LAB
3 9338 00322 7641**Los Alamos**
scientific laboratory
of the University of California
LOS ALAMOS, NEW MEXICO 87545

An Affirmative Action/Equal Opportunity Employer

Были измерены сечения образования нейтронов бериллием с использованием метода времени пролета при энергиях падающих нейтронов 5,9, 10,1 и 14,2 МэВ и под лабораторными углами 25, 27,5, 30, 35, 45, 60, 80, 100, 110, 125 и 145 градусов. Представлены дифференциальные упругие и неупругие сечения.

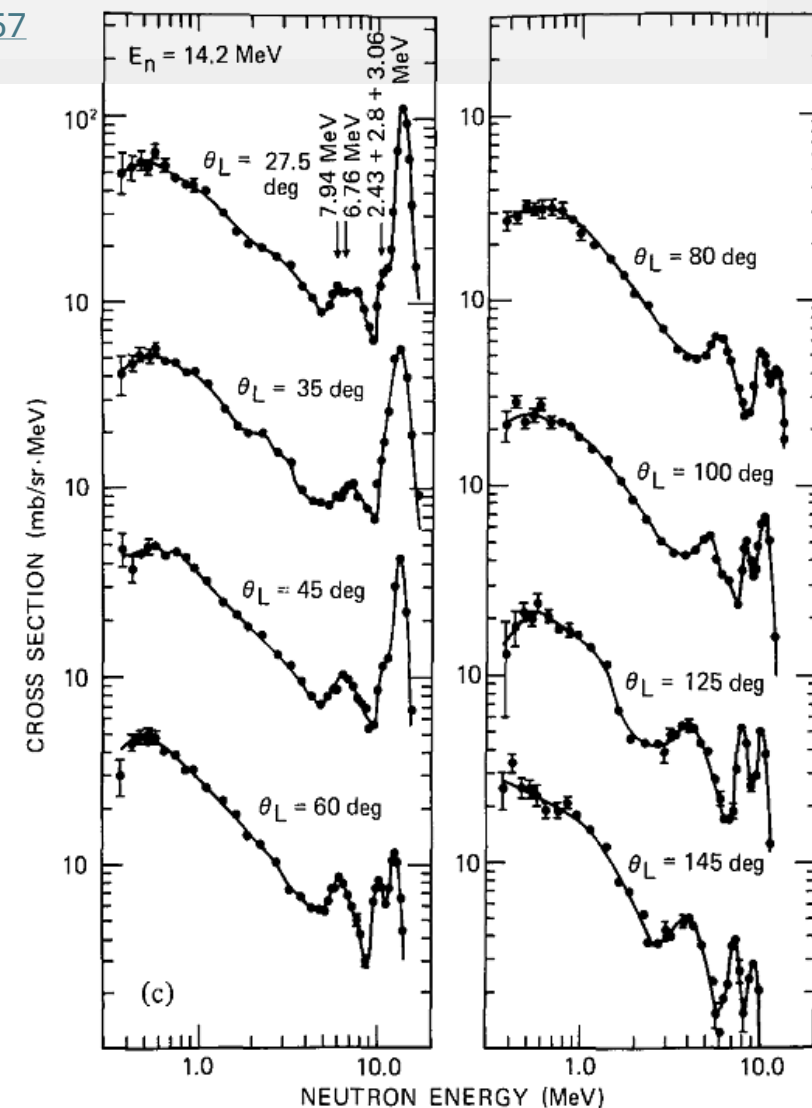
Неупругие реакции определяются здесь как реакции, которые протекают через состояния с энергией возбуждения 1,69, 2,43, 2,8 и 3,06 МэВ в ^9Be .

Сравнение наших энергетических спектров излучения с расчетами с использованием сечений бериллия ENDF/B-IV показывает, что сечения ENDF/B сильно переоценивают низлежащие состояния в ^9Be .

TABLE I

Beryllium Differential Neutron Cross Sections

E_n	5.9 MeV		10.1 MeV		14.2 MeV	
θ_L (deg)	Elastic (mb/sr)	Inelastic (2.43-MeV State) (mb/sr)	Elastic (mb/sr)	Inelastic (2.43-MeV State) (mb/sr)	Elastic (mb/sr)	Inelastic (2.43-MeV State) (mb/sr)
25	443 ± 57	59 ± 13	480 ± 62	53 ± 14		
27.5					388 ± 43	
30					335 ± 37	17 ± 6
35	320 ± 42	47 ± 11	285 ± 37	40 ± 10	234 ± 26	
45	180 ± 23	43 ± 10	151 ± 20	35 ± 9	119 ± 13	17 ± 6
60	75 ± 10	32 ± 7	40 ± 5	30 ± 7	31.1 ± 3.4	14.7 ± 5.5
80	23 ± 3.1	25 ± 5	15 ± 2.0	22 ± 5	11.5 ± 1.3	11.3 ± 4.6
100	26 ± 3.4	23 ± 5	24 ± 3.1	19.5 ± 4.0	23.0 ± 2.5	10.7 ± 4.1
110	32 ± 4.0	25 ± 5				
125	31 ± 4.0	22 ± 5	15 ± 2.0	14.5 ± 5.0	9.5 ± 1.1	8.1 ± 3.0
145					5.7 ± 0.7	6.6 ± 2.4



2002

NUCLEAR SCIENCE
AND ENGINEERING

An international research journal of the American Nuclear Society



American Nuclear Society
Scientific Publications

VOLUME 17(1) NUMBER 1
MAY 1982
ISSN 0029-545X

Technical Paper

High-Resolution Cross-Section Measurements for Production of the 0.478-MeV Gamma Ray from the ${}^9\text{Be}(n,xy){}^7\text{Li}$ Reaction for Neutron Energies Between 12 and 200 MeV with Insight into the ${}^{10}\text{Be}$ Level Scheme

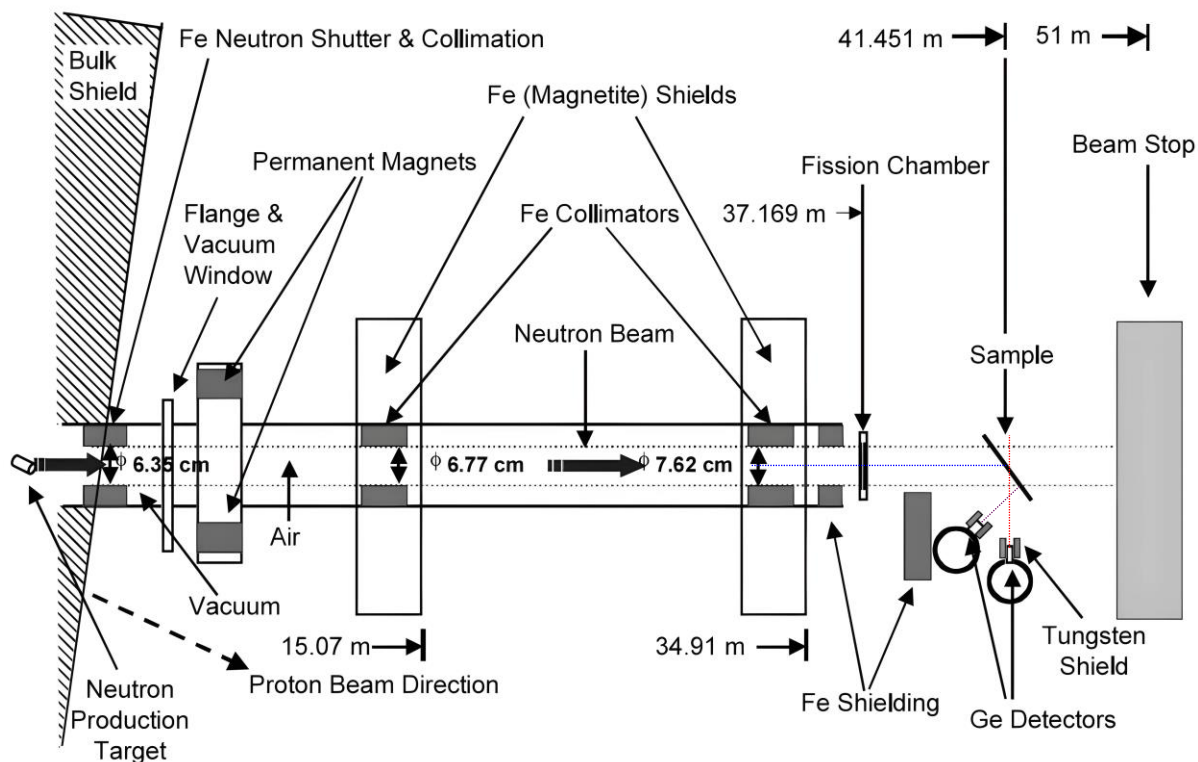
R. O. Nelson & A. Michaudon

Pages 195-204 | Published online: 10 Apr 2017

📄 Cite this article 🔗 <https://doi.org/10.13182/NSE02-A2256>

Nelson, R. O., & Michaudon, A. (2002). High-Resolution Cross-Section Measurements for Production of the 0.478-MeV Gamma Ray from the ${}^9\text{Be}(n,xy){}^7\text{Li}$ Reaction for Neutron Energies Between 12 and 200 MeV with Insight into the ${}^{10}\text{Be}$ Level Scheme. Nuclear Science and Engineering, 140(3), 195–204.

<https://doi.org/10.13182/NSE02-A2256>



Pulsed neutron source of the Weapons Neutron Research (WNR) Facility of the Los Alamos Neutron Science Center (LANSCE)

- Образец: квадратный лист BeO с площадью $15.24 \times 15.24 \text{ см}^2$ и толщиной 0.6426 см .
- Масса образца составила 432.4 г .
- Химическая чистота образца составила 99.5% .
- Измеренная плотность 2.897 г/см^3 хорошо согласуется с производственной величиной 2.86 г/см^3 , но меньше значения 3.01 г/см^3 , указанного в источнике 18.
- Образец BeO был выбран для проведения одновременных измерений продукции гамма-излучения в реакциях ${}^9\text{Be}(n,xy){}^7\text{Li}$ и ${}^{16}\text{O}(n,xy)$.

2002

NUCLEAR SCIENCE
AND ENGINEERING

An international research journal of the American Nuclear Society

American Nuclear Society
Scientific PublicationsVOLUME 140 NUMBER 3
MAY 2002
ISSN 0029-545X

Technical Paper

High-Resolution Cross-Section Measurements for Production of the 0.478-MeV Gamma Ray from the ${}^9\text{Be}(n,x\gamma){}^7\text{Li}$ Reaction for Neutron Energies Between 12 and 200 MeV with Insight into the ${}^{10}\text{Be}$ Level Scheme

R. O. Nelson & A. Michaudon

Pages 195-204 | Published online: 10 Apr 2017

Cite this article <https://doi.org/10.13182/NSE02-A2256>

Nelson, R. O., & Michaudon, A. (2002). High-Resolution Cross-Section Measurements for Production of the 0.478-MeV Gamma Ray from the ${}^9\text{Be}(n,x\gamma){}^7\text{Li}$ Reaction for Neutron Energies Between 12 and 200 MeV with Insight into the ${}^{10}\text{Be}$ Level Scheme. Nuclear Science and Engineering, 140(3), 195–204. <https://doi.org/10.13182/NSE02-A2256>

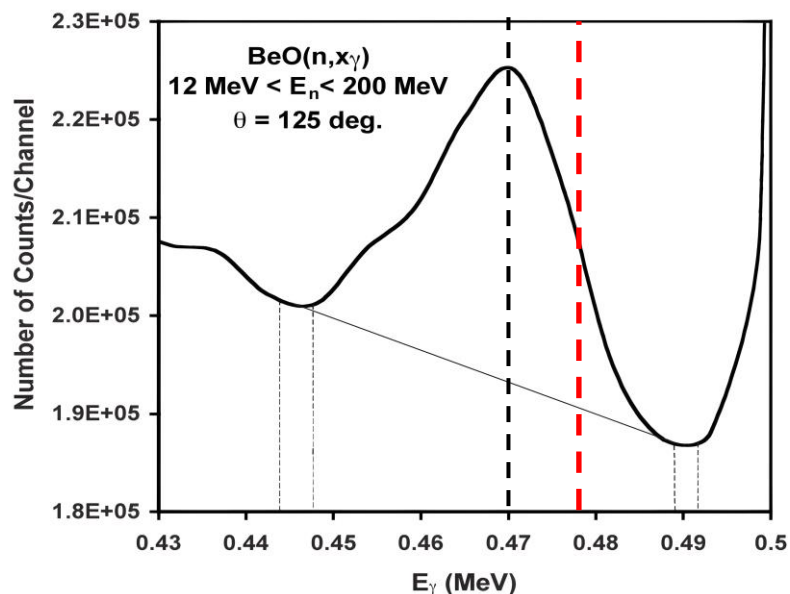


Рис. 3. Энергетический спектр (сплошная линия) гамма-линии 0,478 МэВ, измеренный детектором 1 во время накопления данных. Спектр гамма-излучения суммируется по диапазону энергий падающих нейтронов от 12 до 200 МэВ. Пунктирные линии показывают, где определялся линейный фон (тонкая сплошная линия).

- 1. Детекция гамма-лучей:** Гамма-лучи с энергией 0.478 МэВ, выделяющиеся в реакции ${}^9\text{Be}(n,x\gamma){}^7\text{Li}$, были зарегистрированы с помощью двух коаксиальных германиевых детекторов высокой чистоты.
- 2. Объемы детекторов:** Объемы активных зон детекторов составляют примерно 70 см^3 (детектор 1) и 140 см^3 (детектор 2).
- 3. Размещение детекторов:** Эти детекторы использовались в разных местах для получения данных под семью углами.
- 4. Необходимость угловых измерений:** Угловые измерения были важны для исследований реакций ${}^{16}\text{O}(n,x\gamma)$, где гамма-лучи могут испускаться с большой анизотропией.
- 5. Изотропность в данной работе:** В текущем исследовании угловые измерения были ненужны, так как возбужденное состояние ${}^7\text{Li}^*$ имеет спин $1/2$, что приводит к изотропному испусканию гамма-луча распада с энергией 0.478 МэВ в системе центра масс (с.м.) системы (${}^7\text{Li} + \gamma$).

2002

NUCLEAR SCIENCE
AND ENGINEERING

An international research journal of the American Nuclear Society

American Nuclear Society
Scientific PublicationsVOLUME 140 NUMBER 3
MAY 2002
ISSN 0029-545X
CODEN NSE02A

Technical Paper

High-Resolution Cross-Section Measurements for Production of the 0.478-MeV Gamma Ray from the $^9\text{Be}(n,xy)^7\text{Li}$ Reaction for Neutron Energies Between 12 and 200 MeV with Insight into the ^{10}Be Level Scheme

R. O. Nelson & A. Michaudon

Pages 195-204 | Published online: 10 Apr 2017

Cite this article <https://doi.org/10.13182/NSE02-A2256>

Nelson, R. O., & Michaudon, A. (2002). High-Resolution Cross-Section Measurements for Production of the 0.478-MeV Gamma Ray from the $^9\text{Be}(n,xy)^7\text{Li}$ Reaction for Neutron Energies Between 12 and 200 MeV with Insight into the ^{10}Be Level Scheme. Nuclear Science and Engineering, 140(3), 195–204.

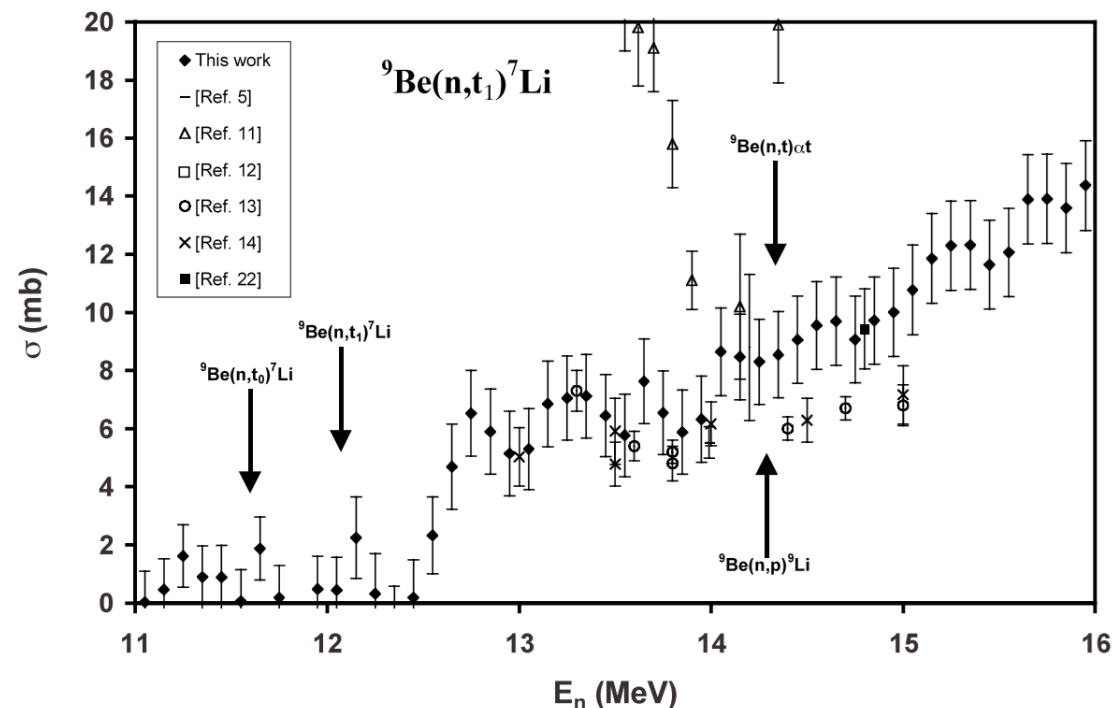
<https://doi.org/10.13182/NSE02-A2256>

Рис. 4. Сравнение энергий падающих нейтронов 11- и 16-МэВ в сечениях реакции $^9\text{Be}(n, t_1)^7\text{Li}$, измеренных путем регистрации либо гамма-кванта 0,478 МэВ, либо тритона t_1 .

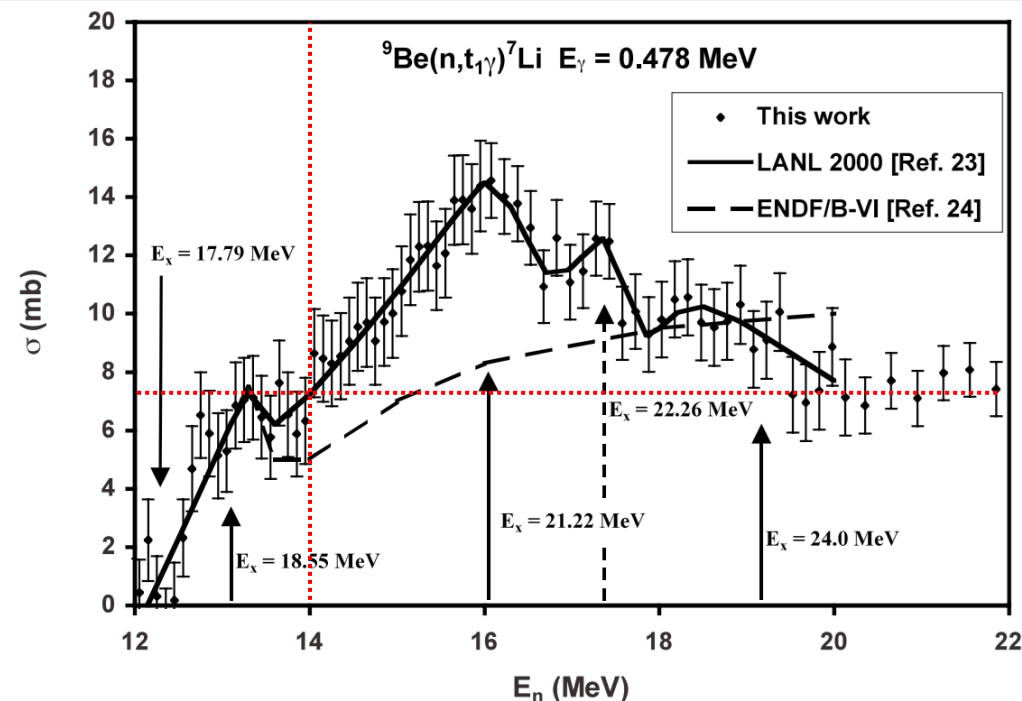


Рис. 5. Сравнение настоящего экспериментального сечения реакции $^9\text{Be}(n, t_1\gamma)^7\text{Li}$ с оценкой ENDF/B-VI и новой оценкой того же сечения.

Обратите внимание на изменение масштаба при $E_n = 22 \text{ МэВ}$.
Ниже $E_n = 22 \text{ МэВ}$ указаны пороги для всех реакций.
Выше $E_n = 22 \text{ МэВ}$ указаны пороги только для реакций,
производящих тритий.

2002

NUCLEAR SCIENCE
AND ENGINEERING

An international research journal of the American Nuclear Society



American Nuclear Society
Scientific Publications

VOLUME 140 NUMBER 3
MAY 2002
ISSN 0029-545X

Technical Paper

High-Resolution Cross-Section Measurements for Production of the 0.478-MeV Gamma Ray from the ${}^9\text{Be}(n,\gamma){}^7\text{Li}$ Reaction for Neutron Energies Between 12 and 200 MeV with Insight into the ${}^{10}\text{Be}$ Level Scheme

R. O. Nelson & A. Michaudon

Pages 195-204 | Published online: 10 Apr 2017

🗨 Cite this article 🔗 <https://doi.org/10.13182/NSE02-A2256>

Nelson, R. O., & Michaudon, A. (2002). High-Resolution Cross-Section Measurements for Production of the 0.478-MeV Gamma Ray from the ${}^9\text{Be}(n,\gamma){}^7\text{Li}$ Reaction for Neutron Energies Between 12 and 200 MeV with Insight into the ${}^{10}\text{Be}$ Level Scheme. Nuclear Science and Engineering, 140(3), 195–204.

<https://doi.org/10.13182/NSE02-A2256>

1.Измерение сечения: Сечение фотонного производства ${}^9\text{Be}(n,\gamma){}^7\text{Li}$ является самым полным измерением, полученным в диапазоне энергий нейтронов от 12 до 200 МэВ.

2.Дополнение предыдущих данных: Эти данные дополняют несколько аналогичных измерений, которые были получены только вблизи 14 МэВ и имели большие расхождения.

3.Производство трития и гамма-лучей: Теперь можно лучше рассчитывать производство трития и гамма-лучей при облучении бериллия быстрыми нейтронами в системах термоядерной энергии, использующих реакции слияния ($d + t$).

4.Сравнение с данными ${}^9\text{Be}(n,t)$: Также было проведено сравнение с данными по сечению ${}^9\text{Be}(n,t)$.

1. Подтверждение библиотек данных:

Экспериментальные данные являются единственным способом подтвердить библиотеки оцененных данных, поскольку на данный момент не существует надежной теории для предсказания этих сечений для легких ядер.

2. Новая оценка сечения: На основе полученных данных была проведена новая оценка сечения ${}^9\text{Be}(n,\gamma){}^7\text{Li}$.

3. Новое возбужденное состояние: Интерпретация текущих результатов предполагает существование нового возбужденного состояния в ${}^{10}\text{Be}$ с энергией возбуждения 22.26 МэВ.

${}^9\text{Be}(n,t){}^7\text{Li}^*$

4-BE-9 (N,T) 3-LI-7

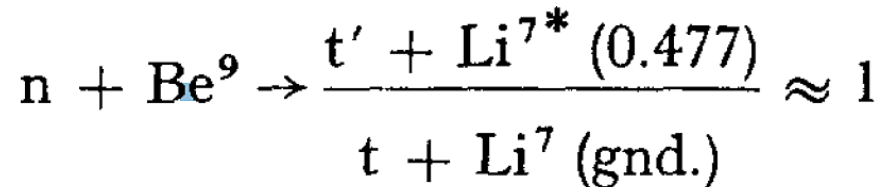
4-BE-9 (N,T) 3-LI-7, PAR, SIG

	n	Display	Year	Author-1	Energy range,eV	Points	Reference
	1)	  4-BE-9 (N,T) 3-LI-7,, SIG Q (keV)=-10442.05 C4: MF=3 MT=105 Op=0 ☐ Invert data to reaction 3-LI-7(T,N)4-BE-9,,					
		Quantity: [CS] Cross section					
	1	☐ A      +  	1990	R.Woelfle+	1.63e7	1.90e7 3	+ J,RCA,50,5,1990
	2	☒      +  	1988	H.Liskien+	1.29e7	1.96e7 22	+ J,NSE,98,266,1988
	3	☐      +  	1988	A.Suhaimi+	1.75e7	3.00e7 6	+ J,RCA,43,133,1988
	4	☐      +  	1987	M.Zadro+	1.46e7	1	+ J,NSE,95,79,198701
	5	☒      +  	1982	Z.T.Body+	1.35e7	1.48e7 6	+ C,82ANTWER,,368,198209
	6	☐ A      +  	1975	T.Biro+	1.47e7	1	+ J,JIN,37,1583,1975
	7	☐      +  	1958	M.E.Wyman+	1.41e7	1	+ J,PR,112,1264,58
	8	☒      +  	1958	S.S.Vasil`ev+	1.40e7	1.60e7 3	+ J,DOK,119,914,1958
	2)	  4-BE-9 (N,T) 3-LI-7,, SIG,,, DERIV Q (keV)=-10442.05 C4: MF=3 MT=105 Op=0 ...[Derived data]... ☐ Invert d					
		Quantity: [CS] Cross section					
	9	☐      +  	1961	S.A.Myachkova+	1.41e7	1	+ J,JET,13,876,1961
	3)	  4-BE-9 (N,T) 3-LI-7, PAR, SIG Q (keV)=-10442.05 C4: MF=3 MT=105 Op=0 ☐ Invert data to reaction 3-LI-7(T,N)4-B					
		Quantity: [CSP] Partial cross section					
*	10	☒      + 	1976	F.S.Dietrich+	1.33e7	1.50e7 7	+ J,NSE,61,267,197610
	11	☐      + 	1974	J.P.Perroud+	1.40e7	1	+ J,NP/A,227,330,197407
	12	☐      + 			1.40e7	1	
	13	☒      + 	1960	J.Benveniste+	1.36e7	1.47e7 11	+ J,NP,19,52,60

Investigations of the 0.4776-MeV gamma-line intensity in the ${}^9\text{Be}(n, t_1\gamma) {}^7\text{Li}$

NaI(Tl)

J. Benveniste, A. C. Mitchell, C. D. Schrader, and J. H. Zinger,
Gamma rays from the interaction of 14-MeV neutrons with beryllium Nucl. Phys., 19, (1960) 52-61.

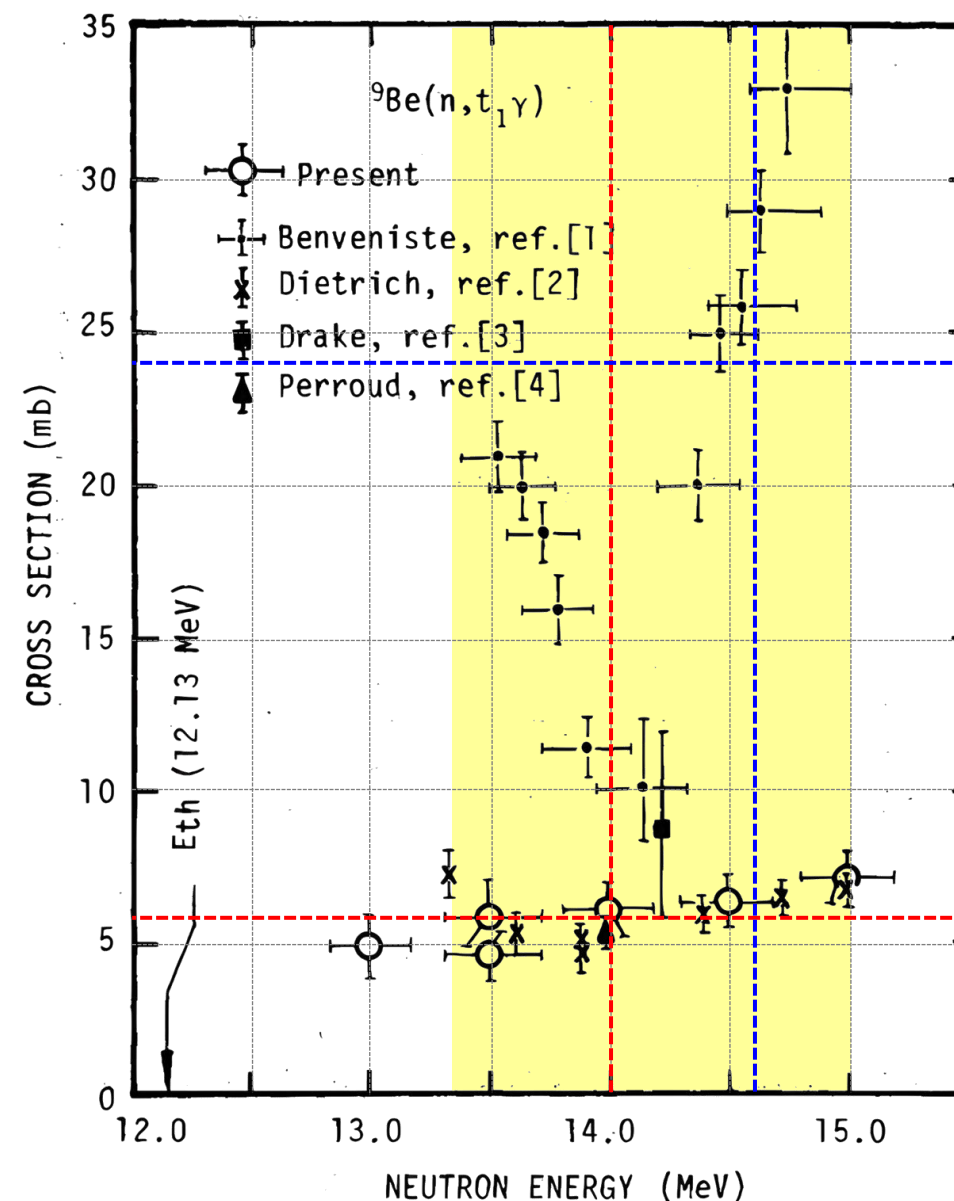


NaI(Tl)

D. M. Drake, E. D. Arthur, and M. G. Silbert,
 Cross Sections for Gamma-Ray Production by 14-MeV Neutrons,
 Nucl. Sci. Eng., 65 (1978) 49.

Ge(Li)

F. S. Dietrich, L. F. Hansen, and R. P. Koopman, Cross Section
 for the ${}^9\text{Be}(n, t_1){}^7\text{Li}$ Reaction Between 13.3 and 15 MeV,
 Nucl. Sci. Eng., 61 (1976) 267.



Gamma rays from the interaction of 14-MeV neutrons with beryllium

J. Benveniste, A.C. Mitchell, C.D. Schrader, J.H. Zenger

Lawrence Radiation Laboratory, University of California, Livermore, California, USA

Сечение реакции ${}^9\text{Be}(n, t'){}^7\text{Li}^* \rightarrow {}^7\text{Li} + \gamma$ (0,477 МэВ) было измерено вблизи **14 МэВ** путем регистрации гамма-лучей при углах рассеяния от **30° до 150°**. Для отделения гамма-лучей от высокого нейтронного фона использовалась техника времени пролета.

Сечение падает с 20 мб при 13,6 МэВ до 10 мб при 14,1 МэВ, а затем возрастает до 30 мб при 14,7 МэВ.

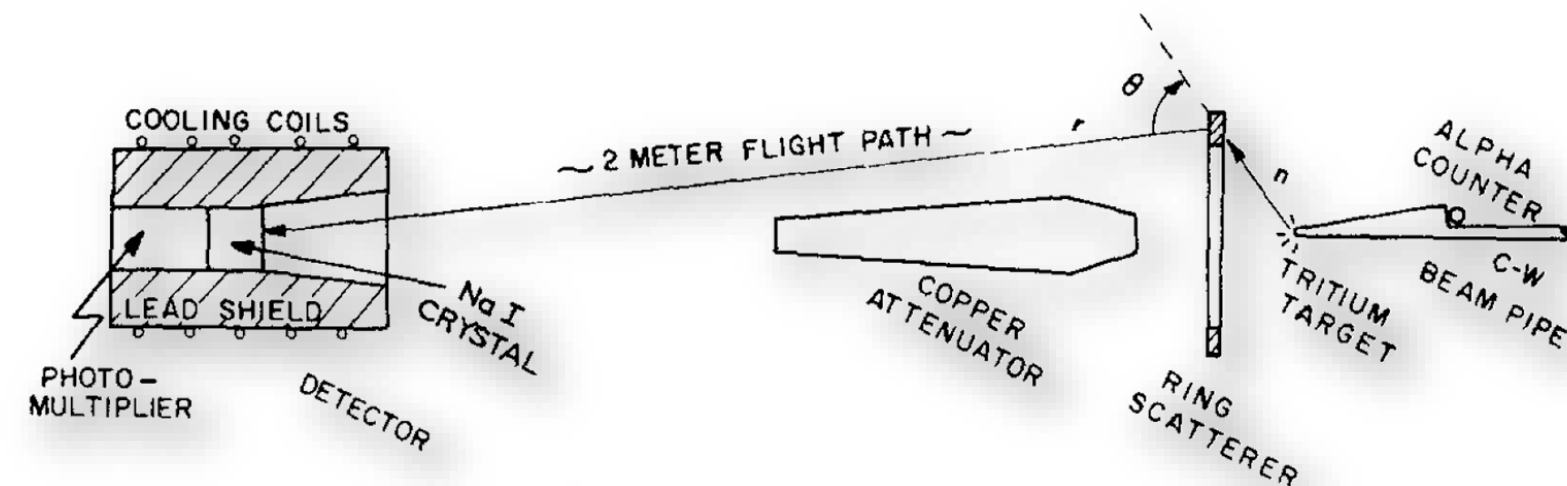
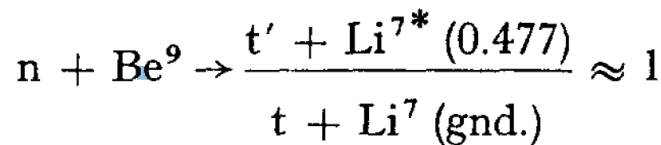


Fig. 1 Scattering geometry

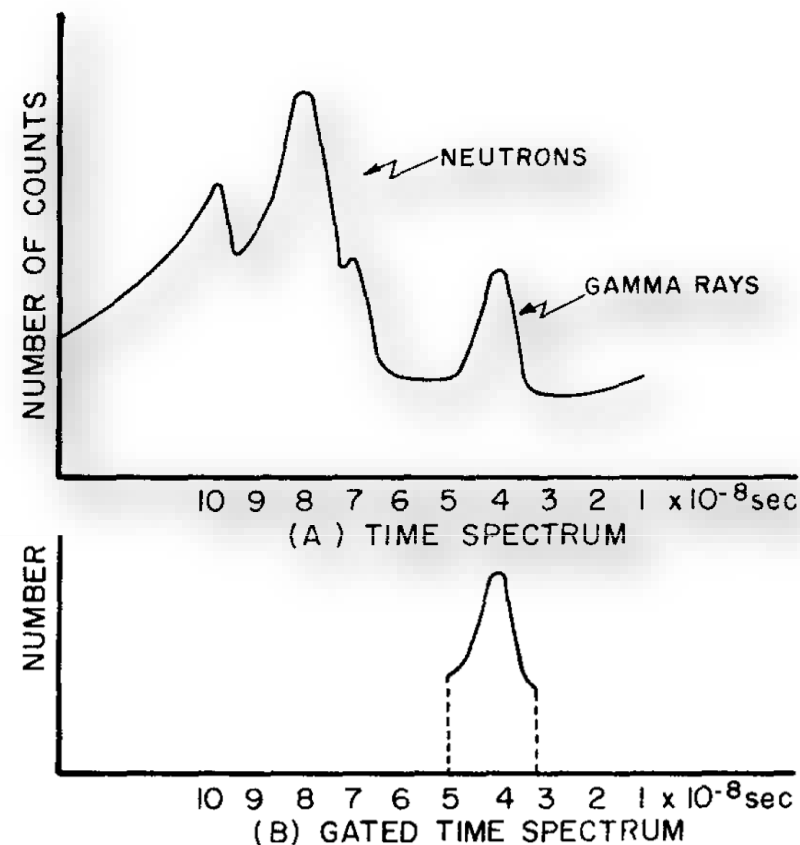


Fig 3 Time and gated time spectra.

Рис. 2. Часть спектра амплитуды импульса во временном окне, включающем мгновенные гамма-лучи.

Benveniste, J.; Mitchell, A. C.; Schrader, C. D. & Zenger, J. H.
 GAMMA RAYS FROM THE INTERACTION OF 14-Mev
 NEUTRONS WITH BERYLLIUM, report, June 1, 1959; California.
 (https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1019192/:
 accessed February 24, 2025), University of North Texas
 Libraries, UNT Digital Library, https://digital.library.unt.edu;
 crediting UNT Libraries Government Documents Department.

UCRL 5596

MASTER

UNIVERSITY OF
 CALIFORNIA

Ernest O. Lawrence

Radiation
 Laboratory

1959

GAMMA RAYS FROM THE INTERACTION OF
 14-Mev NEUTRONS WITH BERYLLIUM

J. Benveniste, A. C. Mitchell,
 C. D. Schrader and J. H. Zenger

June 9, 1959

${}^9\text{Be}(n, t){}^7\text{Li}^*$

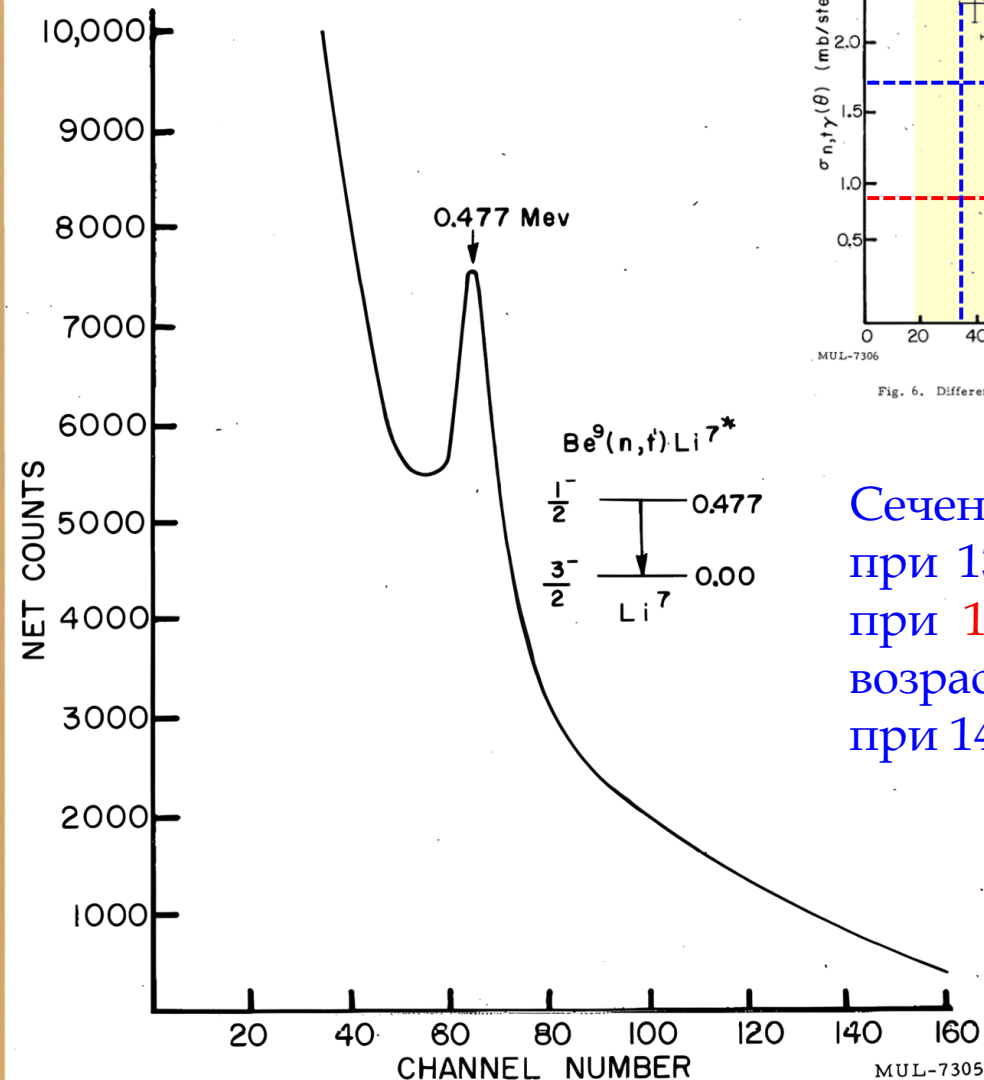


Fig. 5. Gamma-ray spectrum from beryllium.

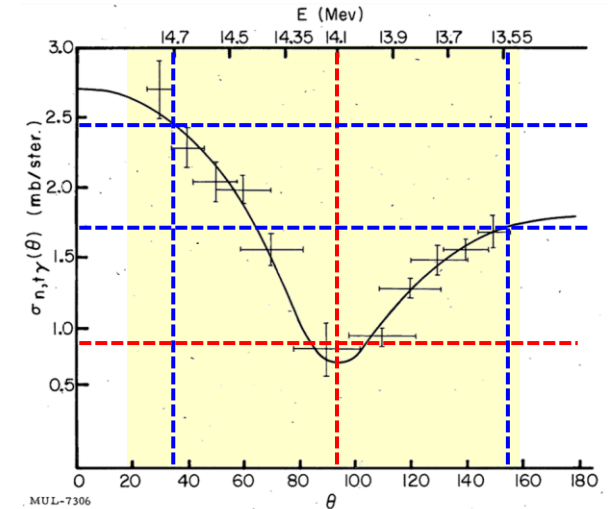


Fig. 6. Differential cross section for the $\text{Be}^9(n, t)\text{Li}^7$ reaction.

Сечение падает с 20 мб
 при 13,6 МэВ до 10 мб
 при 14,1 МэВ, а затем
 возрастает до 30 мб
 при 14,7 МэВ.

Benveniste, J.; Mitchell, A. C.; Schrader, C. D. & Zenger, J. H.
 GAMMA RAYS FROM THE INTERACTION OF 14-Mev
 NEUTRONS WITH BERYLLIUM, report, June 1, 1959; California.
 (https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1019192/:
 accessed February 24, 2025), University of North Texas
 Libraries, UNT Digital Library, https://digital.library.unt.edu/
 crediting UNT Libraries Government Documents Department.

UCRL 5596

MASTER

UNIVERSITY OF
 CALIFORNIA

Ernest O. Lawrence

*Radiation
 Laboratory*

1959

GAMMA RAYS FROM THE INTERACTION OF
 14-Mev NEUTRONS WITH BERYLLIUM

J. Benveniste, A. C. Mitchell,
 C. D. Schrader and J. H. Zenger

June 9, 1959

${}^9\text{Be}(n, t){}^7\text{Li}^*$

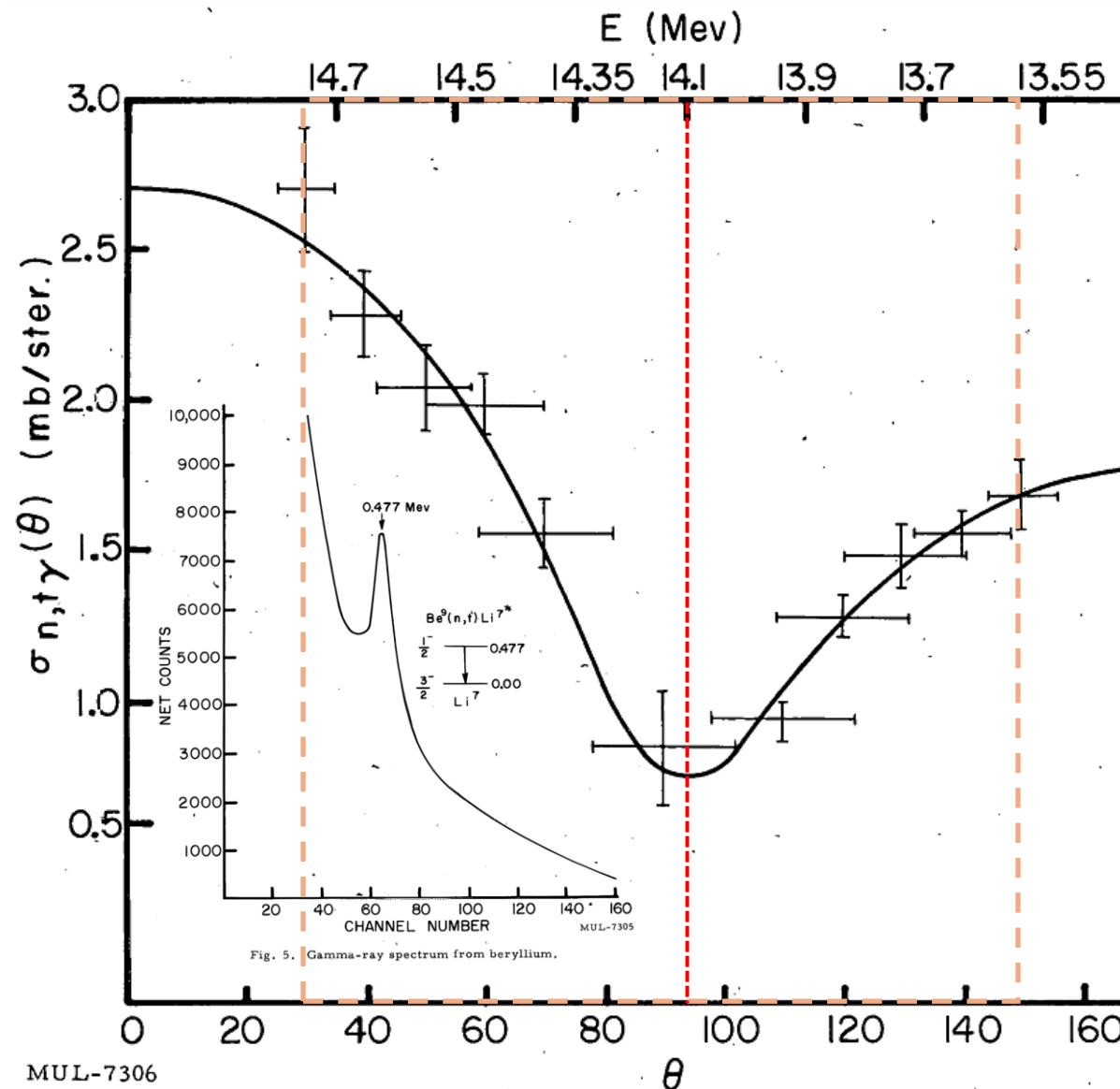


Fig. 6. Differential cross section for the ${}^9\text{Be}(n, t'){}^7\text{Li}^*$ reaction.

Benveniste, J.; Mitchell, A. C.; Schrader, C. D. & Zenger, J. H.
 GAMMA RAYS FROM THE INTERACTION OF 14-Mev
 NEUTRONS WITH BERYLLIUM, report, June 1, 1959; California.
 (https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1019192/:
 accessed February 24, 2025), University of North Texas
 Libraries, UNT Digital Library, https://digital.library.unt.edu/
 crediting UNT Libraries Government Documents Department.

UCRL 5596

MASTER

UNIVERSITY OF
 CALIFORNIA

Ernest O. Lawrence

*Radiation
 Laboratory*

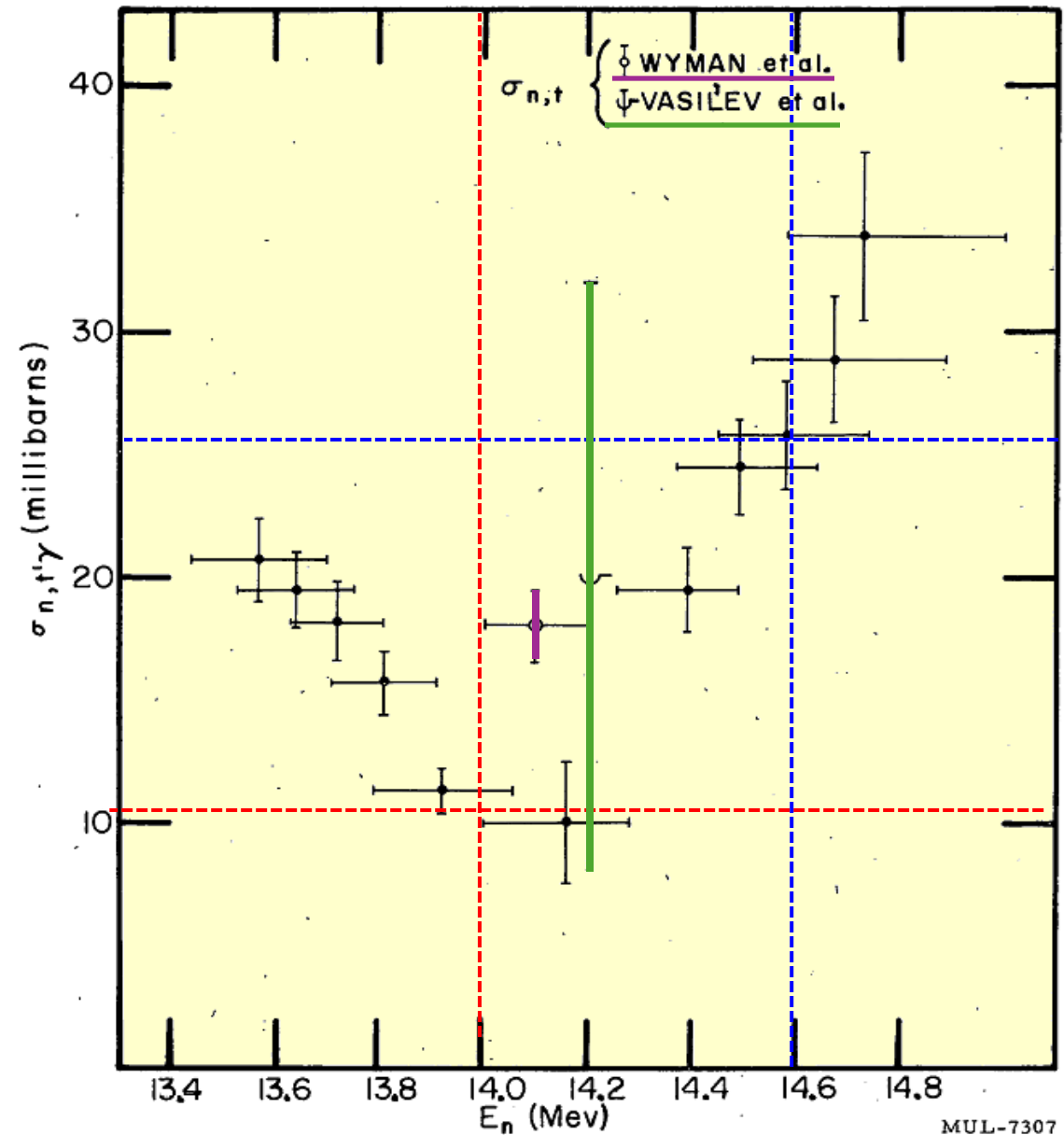
1959

GAMMA RAYS FROM THE INTERACTION OF
 14-Mev NEUTRONS WITH BERYLLIUM

J. Benveniste, A. C. Mitchell,
 C. D. Schrader and J. H. Zenger

June 9, 1959

$^9\text{Be}(n, t)^7\text{Li}^*$



MUL-7307

Fig. 7. Cross section for the $\text{Be}^9(n, t')\text{Li}^{7*}$ reaction.

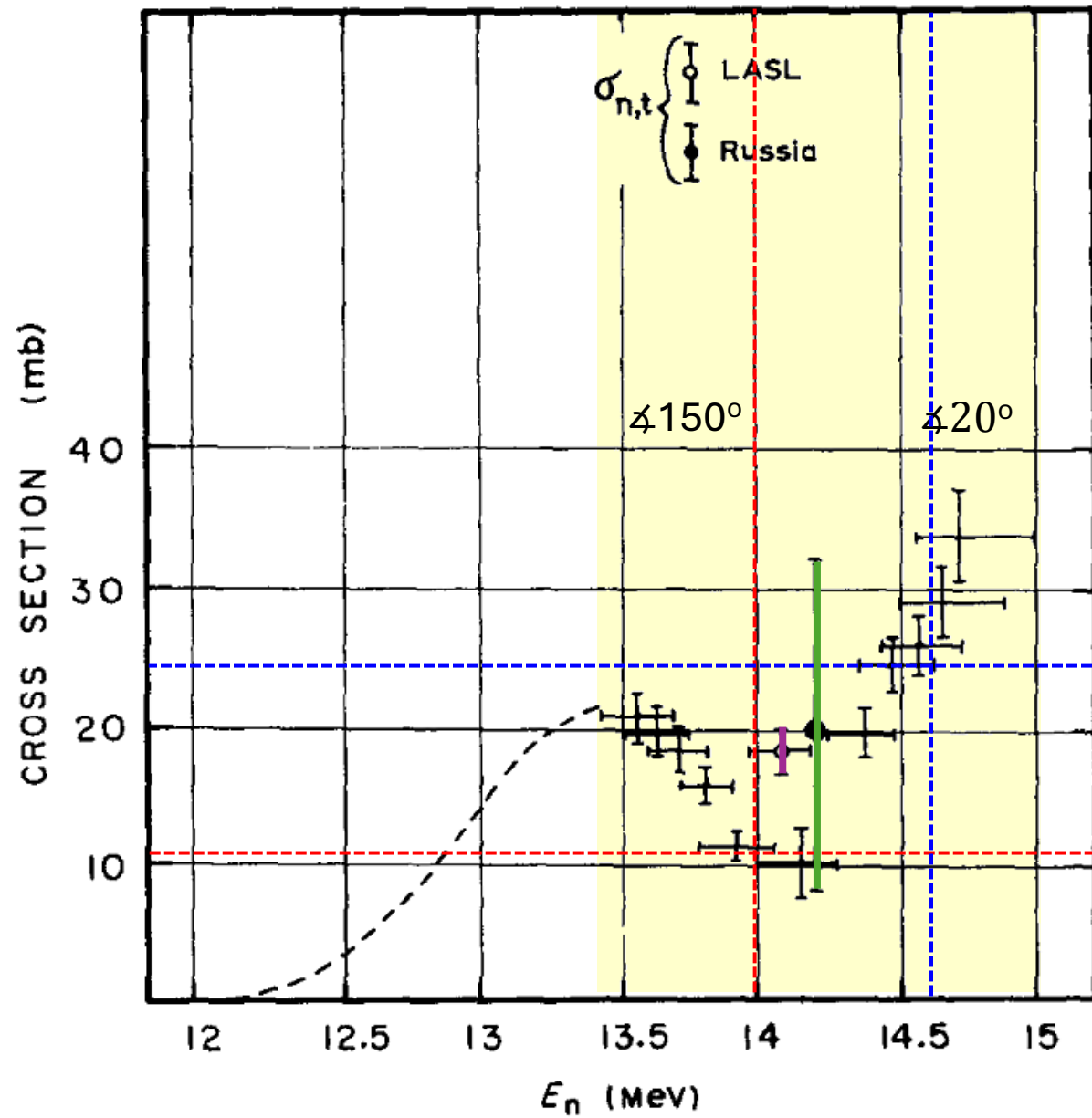


Fig. 6 Cross section for the $\text{Be}^9(n, t', \gamma)\text{Li}^7^*$ reaction

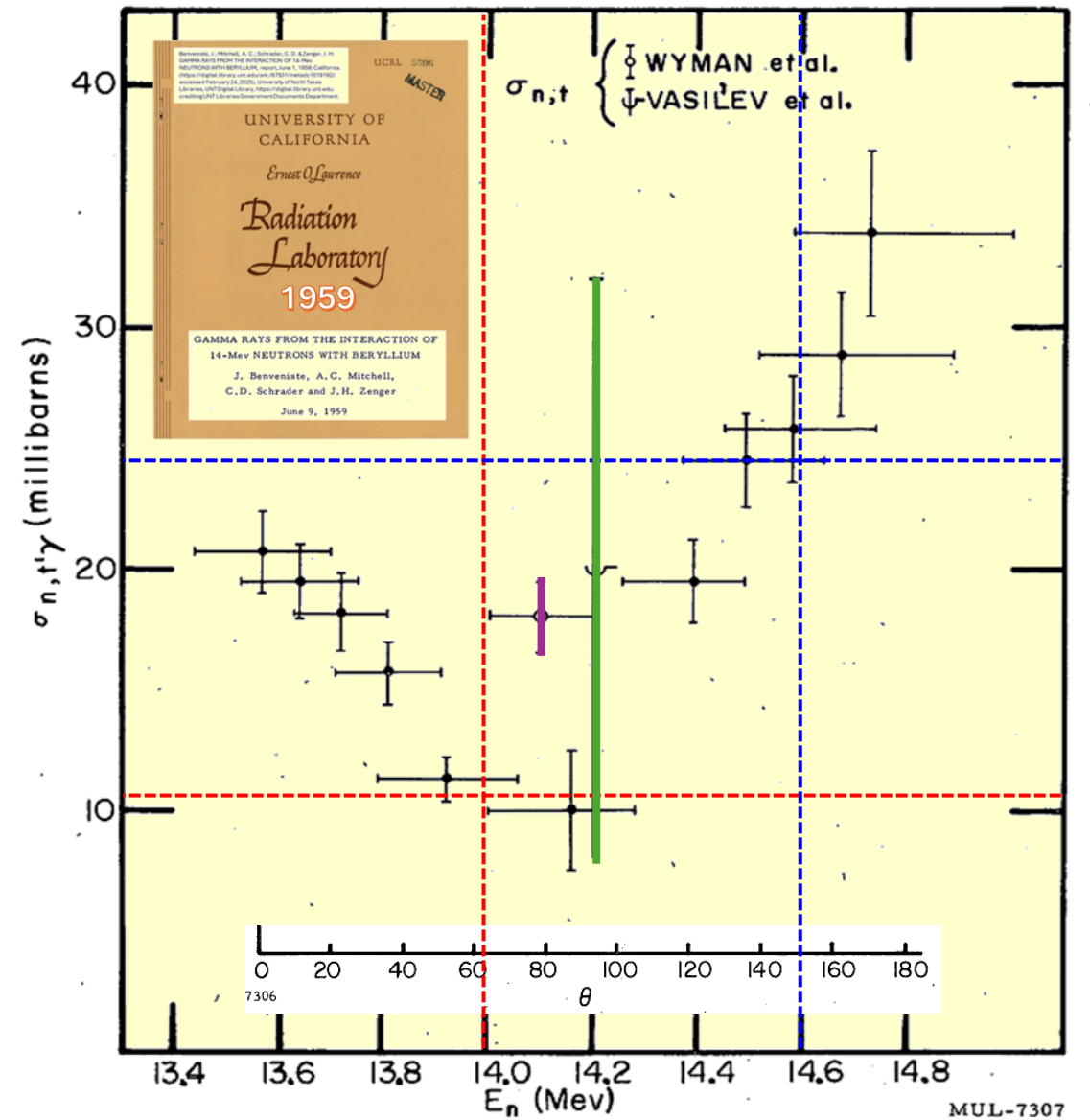


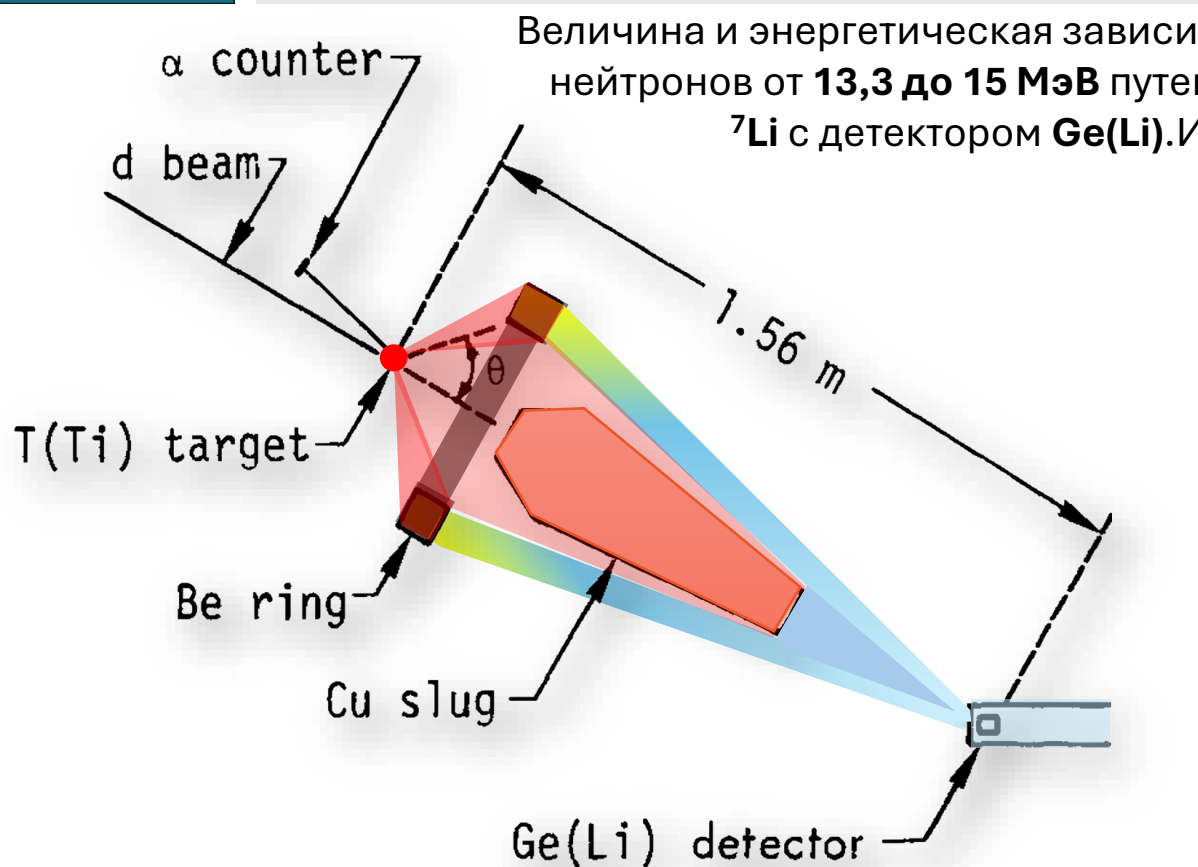
Fig. 7. Cross section for the $\text{Be}^9(n, t', \gamma)\text{Li}^7^*$ reaction.

Cross Section for the ${}^9\text{Be}(n, t_1){}^7\text{Li}$ Reaction Between 13.3 and 15 MeV

F. S. Dietrich, L. F. Hansen & R. P. Koopman

Pages 267-268 | Published online: 12 May 2017

Dietrich, F. S., Hansen, L. F., & Koopman, R. P. (1976). Cross Section for the ${}^9\text{Be}(n, t_1){}^7\text{Li}$ Reaction Between 13.3 and 15 MeV. *Nuclear Science and Engineering*, 61(2), 267–268. <https://doi.org/10.13182/NSE76-A27361>



Величина и энергетическая зависимость реакции ${}^9\text{Be}(n, t_1){}^7\text{Li}^*$ были измерены в диапазоне энергии нейтронов от **13,3 до 15 МэВ** путем наблюдения гамма-распада первого возбужденного состояния ${}^7\text{Li}$ с детектором **Ge(Li)**. Использовалась геометрия кольца и теневого конуса. **Результаты противоречат предыдущему измерению этого сечения.**

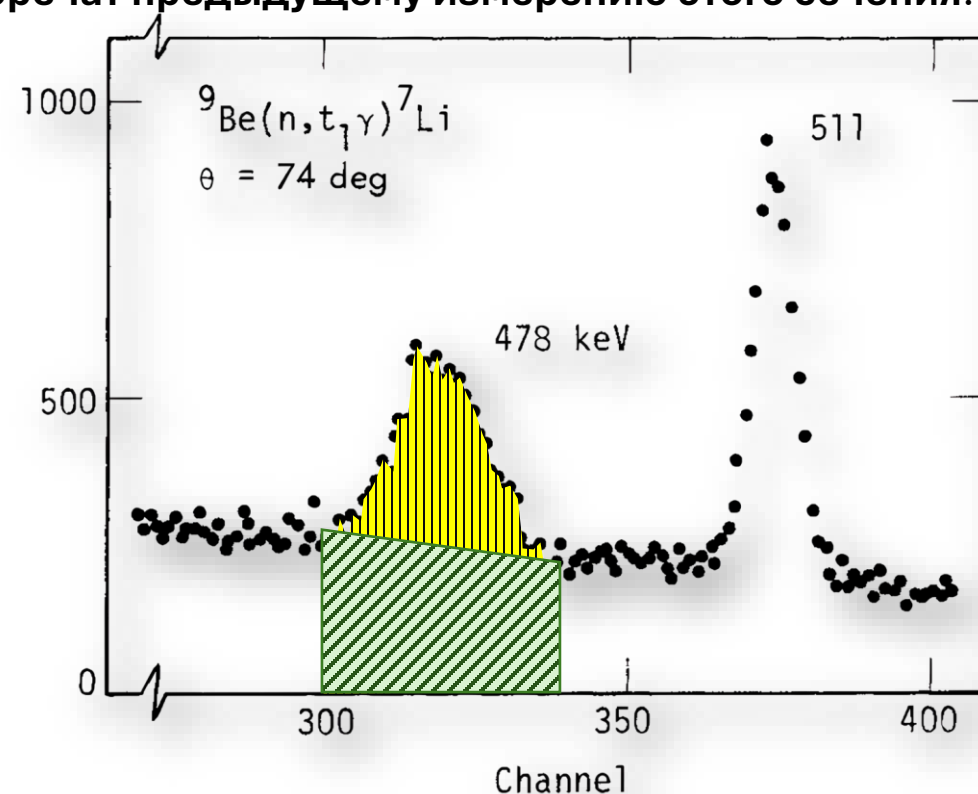


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной геометрии.

Рис. 2. Часть спектра амплитуды импульса во временном окне, включающем мгновенные гамма-лучи.

Cross Section for the ${}^9\text{Be}(n, t_1){}^7\text{Li}$ Reaction Between 13.3 and 15 MeV

F. S. Dietrich, L. F. Hansen & R. P. Koopman

Pages 267-268 | Published online: 12 May 2017

Dietrich, F. S., Hansen, L. F., & Koopman, R. P. (1976). Cross Section for the ${}^9\text{Be}(n, t_1){}^7\text{Li}$ Reaction Between 13.3 and 15 MeV. *Nuclear Science and Engineering*, 61(2), 267–268. <https://doi.org/10.13182/NSE76-A27361>

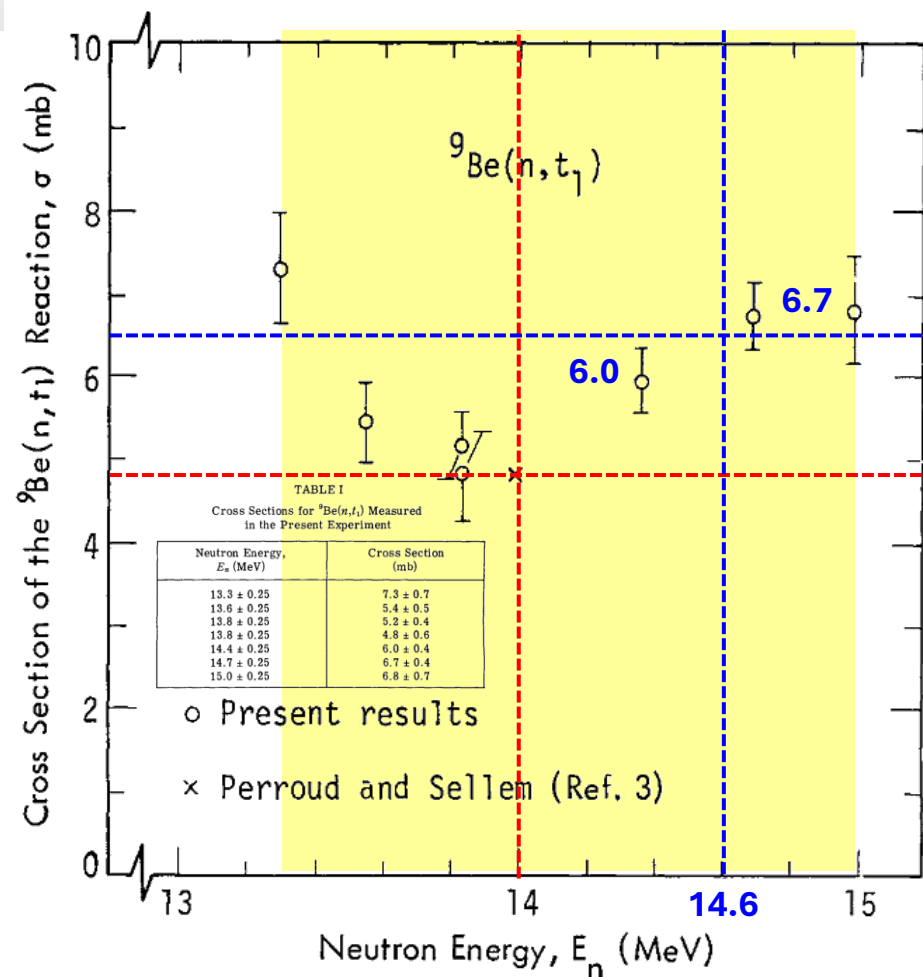
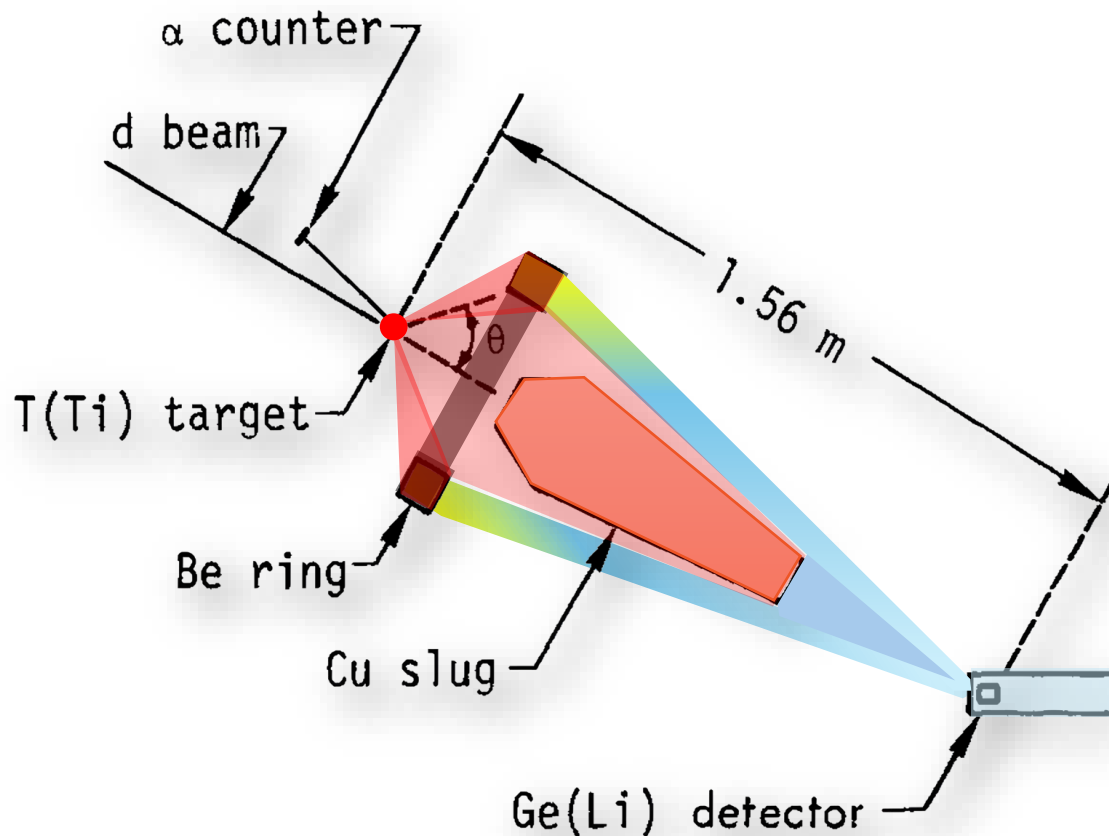


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной геометрии.

Fig. 3. Cross section measured in the present experiment. The error bars are associated with background subtraction from the 478-keV gamma-ray peak. There is an uncertainty of $\pm 13\%$ in the vertical scales and ± 100 keV in the horizontal scale. The neutron energy spread associated with each point is ± 250 keV. Also shown is a point from Ref. 3.

The (n,t) Reaction on ^9Be at 14.6 MeV

M. Zadro, S. Blagus, Đ. Miljanić & D. Rendić

Pages 79-81 | Published online: 13 May 2017

Zadro, M., Blagus, S., Miljanić, Đ., & Rendić, D. (1987). The (n,t) Reaction on ^9Be at 14.6 MeV. Nuclear Science and Engineering, 95(1), 79–81. <https://doi.org/10.13182/NSE87-A20434>

Сумма сечений реакций $^9\text{Be}(n, t_0)^7\text{Li}$ и $^9\text{Be}(n, t_1)^7\text{Li}$ была измерена при энергии падающих нейтронов **14,6 МэВ** с использованием телескопа-счетчика для обнаружения тритона. Угловое распределение этих реакций было получено для углов центра масс до 90° оно почти изотропно. Предполагая симметрию углового распределения вперед-назад, полное сечение для реакции (n, t) на ^9Be оказалось равным **24 ± 2 мб**. Этот результат выгодно отличается от данных экспериментов по счету бета-частиц трития.

Относительно большое сечение для процесса $^9\text{Be}(n, t)$ привело бы к значительному производству трития в бериллиевых нейтронных умножителях. **Менее половины произведенных тритонов также сопровождалось бы гамма-лучами с энергией 0,48 МэВ.**

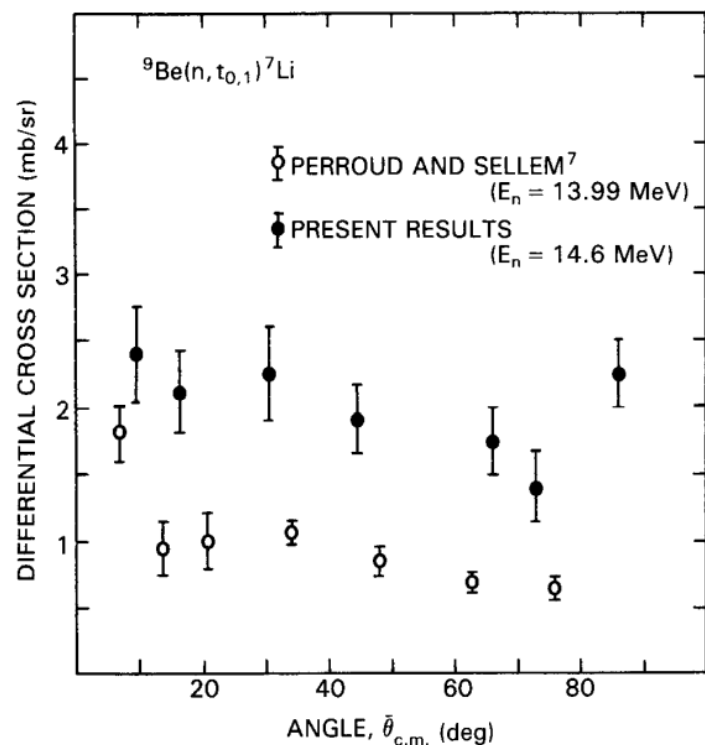


Fig. 1. Angular distributions of tritons from $^9\text{Be}(n, t_0,1)^7\text{Li}$ reactions measured at 13.99 and 14.6 MeV.

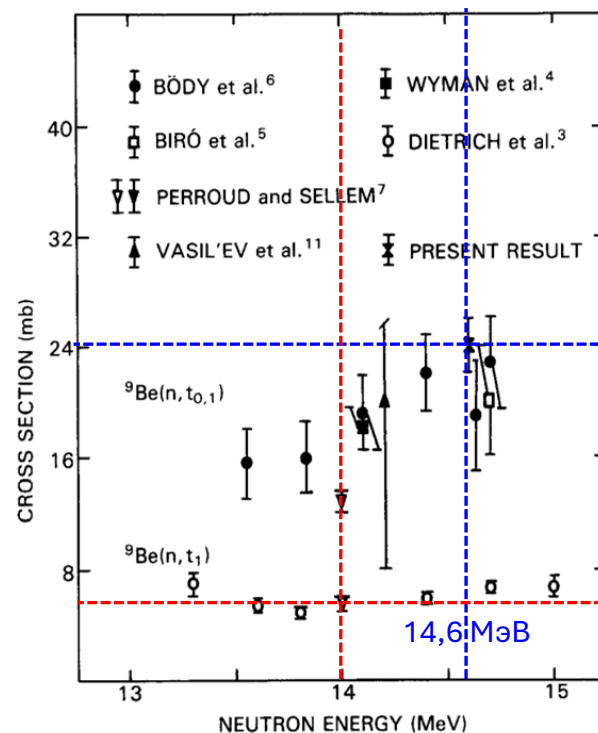
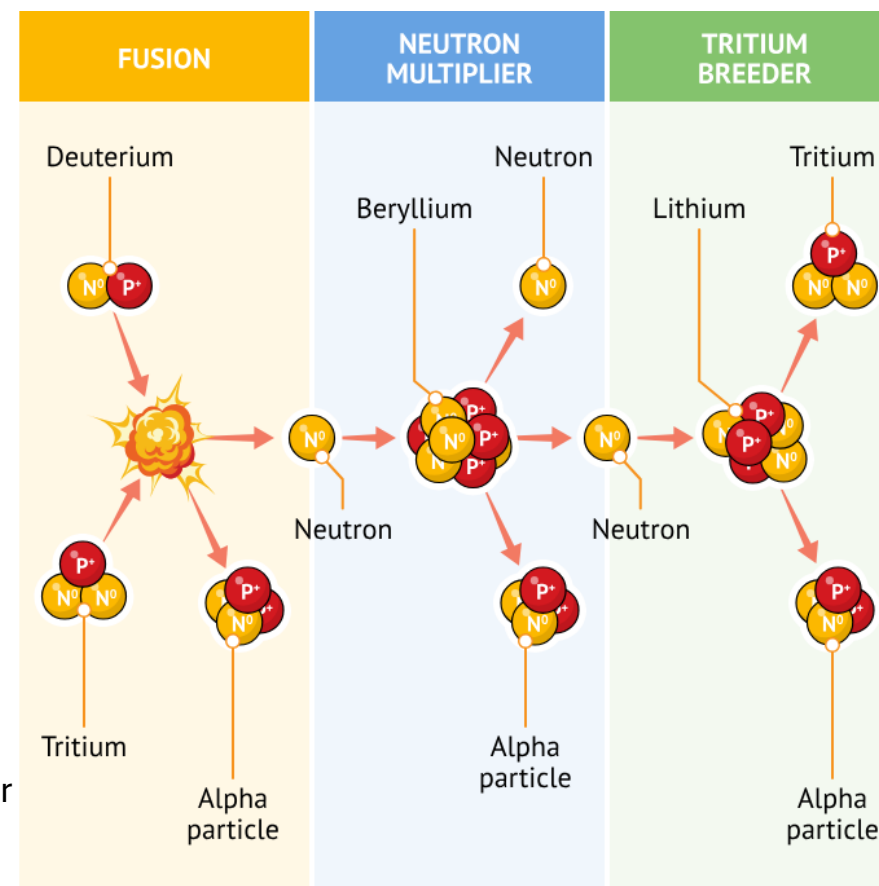
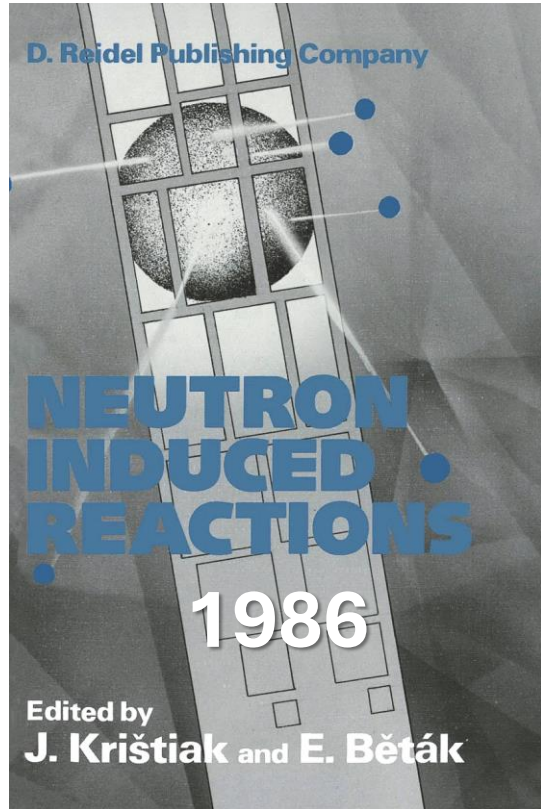


Fig. 2. Measured **sum** of the cross sections for $^9\text{Be}(n, t_0)^7\text{Li}$ and $^9\text{Be}(n, t_1)^7\text{Li}$ reactions and the cross sections for $^9\text{Be}(n, t_1)^7\text{Li}$ reaction.





Du Xiang Wan and Zhang Ben Ai (1986).

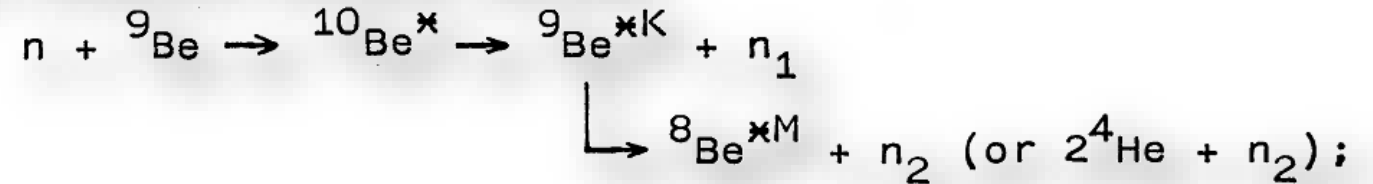
On Mechanisms of Reaction ${}^9\text{Be}(n,2n)$.

In: Krištiak, J., Běták, E. (eds) Neutron Induced Reactions. Springer, Dordrecht.

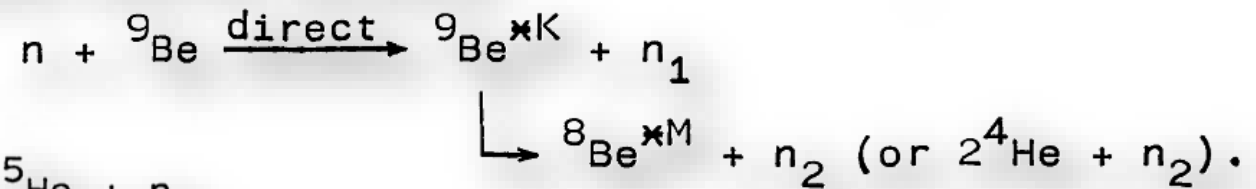
Проведены теоретические расчеты для различных прямых процессов реакции ${}^9\text{Be}(n,2n)$. Результаты показывают, что двухступенчатый процесс - прямое неупругое рассеяние и распад с испусканием второго нейтрона - является основным механизмом этой реакции. Одноступенчатый процесс распада 3-тел также дает важный вклад.

A. Two-step processes:

a) Compound nucleus cascade

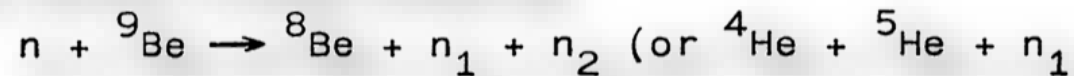


b) Direct inelastic scattering and statistical decay with the second neutron emission

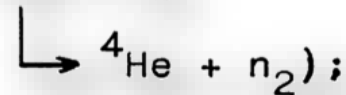


B. One-step direct processes:

c) Direct 3-body break-up



d) Direct 4-body break-up





	n	Display	Year	Author-1	Energy range,eV	Points	Reference
	1)	4-BE-9 (N,2N) 4-BE-8,,SIG Q(keV)=-1667.374 C4: MF=3 MT=16 Op=0					
		Quantity: [CS] Cross section					
	1	☐ A + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4 Cov	2007	I.Murata+	1.42e7	1	+ C,2007NICE,2,999,200704
	2	☐ + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4 Cov	1987	A.Takahashi+	1.41e7	1	+ R,OKTAV-A-87-03,1987
	3	☐ + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4 Cov	1982	Ma Weiyi+	1.41e7	1	+ J,CST,16,4,1982
	4	☒ + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4 Cov	1977	D.M.Drake+	5.90e6	1.42e7 3	+ J,NSE,63,401,197708
	5	☐ + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4 Cov	1961	H.C.Catron+	6.55e6	8.26e6 3	+ J,PR,123,218,61
g	6	☒ + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4 Cov	1958	S.S.Vasil'ev+	2.95e6	1.60e7 9	+ J,DOK,119,914,1958
	7	☐ + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4 Cov	1957	G.J.Fischer	2.57e6	3.19e6 4	+ J,PR,108,99,1957
	8	☐ + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4 Cov			2.57e6	3.19e6 3	
	2)	4-BE-9 (N,2N) 4-BE-8,,SIG,,FIS Q(keV)=-1667.374 C4: MF=3 MT=16 Op=0					
		Quantity: [CS] Cross section					
	9	☐ + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4 Cov	1968	L.Green	1.00e6	1	+ J,NSE,32,30,68
	10	☐ + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4 Cov	1966	F.F.Felber Jr+	2.70e6	1	+ J,NSE,25,1,1966
	3)	4-BE-9 (N,2N) 4-BE-8,PAR,SIG Q(keV)=-1667.374 C4: MF=3 MT=? Op=0					
		Quantity: [CSP] Partial cross section					
	11	☒ + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4	1961	S.A.Myachkova+	1.41e7	3	+ J,JET,13,876,1961
	12	☒ + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4	1959	M.Sakisaka	1.41e7	4	+ J,JPJ,14,554,195905
	13	☐ + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4			1.41e7	1	
	4)	(4-BE-9 (N,2N) 4-BE-8,,SIG,,SPA) - (4-BE-9 (N,G) 4-BE-10,,SIG,,SPA) C4: MF=503 MT=? Op=0					
		Quantity: [CS] Cross section					
	14	☐ + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4 Cov	1952	H.M.Agnew	1.20e7	1	+ R,LA-1371,1952
	15	☐ + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4 Cov			1.20e7	1	
	16	☐ + ☐ X4 X4+± ☐ CSV+ T4 Cov			2.00e6	1	

n	Display	Year	Author-1	Energy range,eV	Points	Reference
1)	  4-BE-9 (N,2N) 4-BE-8,,DA Q(keV)=-1667.374 C4: MF=4 MT=16 Op=0 Quantity: [DA] Differential c/s with respect to angle					
1	☒   +    + 	1987	A.Takahashi+	1.41e7	16	+ R,OKTAV-A-87-03,1987
2)	  4-BE-9 (N,2N) 4-BE-8,,DA,N Q(keV)=-1667.374 C4: MF=4 MT=16 Op=0 Quantity: [DA] Angular distribution of particle specified					
2	☒ A   +    + 	2007	I.Murata+	1.42e7	4	+ C,2007NICE,2,999,200704
3)	  4-BE-9 (N,2N) 4-BE-8,,DA/DA,N/N Q(keV)=-1667.374 C4: MF=4 MT=? Op=0 Quantity: [DA] Angular correlation betw.specified particles					
3	☒   +    + 	2007	I.Murata+	1.42e7	18	+ C,2007NICE,2,999,200704
4)	  4-BE-9 (N,2N) 4-BE-8,,DA/DA/DE,N/N/N Q(keV)=-1667.374 C4: MF=6 MT=? Op=0 Quantity: [DAE] Triple diff.cross section d3/dA(*)/dA(*)/dE(*)					
4	☒   +    + 	2007	I.Murata+	1.42e7	243	+ C,2007NICE,2,999,200704
5)	  (4-BE-9 (N, INL) 4-BE-9, PAR, DA) + (4-BE-9 (N,2N) 4-BE-8, PAR, DA) C4: MF=504 MT=? Op=0 Quantity: [DAP] Partial differential cross section d/dA					
5	☐   +    + 	1960	J.T.Prud`homme+	1.50e7	10	+ R,AFSWC-TR-60-30,60



I. Murata^{1,a}, S. Takaki¹, K. Shiken¹, K. Kondo¹, H. Miyamaru¹, K. Ochiai², T. Nishitani², and C. Konno²
¹ Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan ² Japan Atomic Energy Agency, Tokai-mura, Ibaraki 319-1184, Japan

${}^9\text{Be}(n,2n){}^8\text{Be}$

Актуальность: Реакция $(n,2n)$ имеет решающее значение для умножения нейтронов в ядерных и термоядерных реакторах и установках.

Метод активации фольги: Традиционно использовался для измерения сечений реакций $(n,2n)$.

Ограничения: 1) Не может быть применен к элементам, которые не образуют измеримые изотопы через активацию. 2) Не предоставляет данных о распределении по энергии и углам.

Результат: Многие элементы не имеют экспериментальных значений сечений реакций $(n,2n)$.

Measurement of the angle-correlated neutron spectrum for the ${}^9\text{Be}(n,2n)$ reaction with a pencil-beam DT neutron source

Спектр нейтронов, коррелированных по углу для реакции ${}^9\text{Be}(n,2n)$, был измерен с использованием источника нейтронов DT с “карандашным” пучком и метода совпадений.

Этот метод позволил измерить азимутальные и аксиальные угловые дифференциальные нейтронные спектры, что позволило получить двух-угловые дифференциальные сечения (ADDX), угловые дифференциальные сечения (ADX) и полные сечения (TOX).

Измеренное TOX оказалось в хорошем согласии с оценками JENDL-3.3 и ENDF/B-VI.

УДК 543.53

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВАЦИИ ЗА ПЛАСТИНОЙ БЕРИЛЛИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НЕЙТРОНАМИ ЭНЕРГИЕЙ 14 МэВ

Йорданова Й., Пенчев О., Пантелеев Ц.

(Ин-т ядерных исследований и ядерной энергетики Болгарской АН)

Некоторые концепции термоядерного blankets включают в себя нейтронный размножитель, цель которого — воспроизводство трития [1]. Из-за большого сечения ($n, 2n$) реакции (550 мб) и низкой пороговой энергии (2,7 МэВ) бериллий является лучшим нейтронным размножителем [2]. Точность предсказания тритиевого отношения существенно зависит от неопределенности его сечения реакции ($n, 2n$) [3]. По этой причине проверка обоснованности оцененных данных для бериллия, используемых в проектных исследованиях, становится задачей первостепенной важности.

Результаты экспериментов, выполненных на бериллиевых сборках, расходятся с расчетными данными [4, 5], что вызывает необходимость новых экспериментов.

В настоящей работе представлены результаты сравнения расчетной и экспериментально измеренной скорости реакции для пороговых активационных детекторов, установленных на задней поверхности бериллиевой пластины. Расчетные значения получены по программе MCNP [6], использующей трехмерный метод Монте-Карло. Использованы оцененные данные файла Лос-Аламосской национальной лаборатории (США) [7] для бериллия.

Для получения информации о точности оценки нейтронного спектра, т.е. точности сечения для ^9Be , применяли активационные детекторы, чувствительные в различном диапазоне энергии нейтронов. Настоящий эксперимент дополняет предыдущую работу по измерению спектра нейтронов утечки [8], которая была выполнена на стильбеновом спектрометре протонов отдачи в энергетическом диапазоне 1—15 МэВ.

Источник: https://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t75-5_1993/p394/

УДК 543.53

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВАЦИИ ЗА ПЛАСТИНОЙ БЕРИЛЛИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НЕЙТРОНАМИ ЭНЕРГИЕЙ 14 МэВ

Йорданова Й., Пенчев О., Пантелеев Ц.

(Ин-т ядерных исследований и ядерной энергетики Болгарской АН)

Постановка эксперимента. Источником нейтронов интенсивностью $1 \cdot 10^{10}$ с-1 служил нейтронный генератор **SAMES D150**. Нейтроны энергией 14 МэВ получались в результате реакции **T(d, n)** при облучении титаново-тритиевой мишени дейтронами энергией **140 кэВ**. Бериллиевую пластину поперечным размером **20×16** и толщиной **4 см** помещали на расстоянии **41 см** от тритиевой мишени. **Активационные детекторы** располагали на задней поверхности пластины по диагонали; центры детекторов были удалены на 3 см от центра пластины.

Нейтронный источник мониторировали по методу сопутствующих частиц. α -Частицы регистрировали **кремниевым поверхностно-барьерным детектором**, расположенным на расстоянии 42 см от титаново-тритиевой мишени под углом 150° к оси пучка дейтронов. Абсолютная ошибка при измерении источника не превышала 3%.

Скорость реакции определяли по спектру γ -излучения, измеренному германий-литиевым детектором рабочим объемом 60см³.

Спектры обрабатывали по программе KATOK [9].

Источник: https://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t75-5_1993/p394/

SAMES D150 (AID, IRELEC)

(Societe Anonyme de Machines Electrostatiques, Grenoble, France)

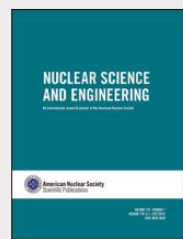
Коммерчески импульсный (мкс) нейтронный генератор с накачкой, тип D: $U = 150 \text{ kV}$, $I = 1.5 \text{ mA}$, **выход** – $5 \cdot 10^{10} \text{ n/s}$

Простая конструкция

- Простая изоляция (масло)
- Небольшое помещение для установки
- Электростатический блок высокого напряжения

Смешанный луч

Непростое обслуживание и ремонт высоковольтного терминала
Только горизонтальное использование



Nuclear Science and Engineering >

Volume 25, 1966 - Issue 1

1966

Submit an article

Journal homepage

Technical Paper

The Integral ${}^9\text{Be} (n, 2n)$ Cross Section

F. F. Felber Jr., D. R. Farmelo & V. C. Van Sickle

Pages 1-7 | Published online: 13 May 2017

Интегральное сечение ${}^9\text{Be} (n, 2n)$ было определено с использованием образцов **Be** и **BeO**, облученных в активной зоне исследовательского реактора Battelle. Полученное значение составило **460 ± 60 мб** для нейтронов с энергией выше **2,7 МэВ** и спектром деления. Дозиметрия быстрых нейтронов была выполнена с использованием пороговых детекторов из железа (Fe), никеля (Ni) и титана (Ti). Результаты основаны на измерении общего количества гелия, произведенного во время облучения. Были сделаны поправки на небольшой вклад от реакций (n, α) на ${}^9\text{Be}$ и ${}^{16}\text{O}$.

TABLE III

Calculation of ${}^9\text{Be} (n, 2n)$ Cross Section

Specimen	$\phi_{FN} t$ ($\times 10^{-18} \text{n/cm}^2$)	Wt of Sample (g)	Total Atoms He per g ($\times 10^{-16}$)	${}^9\text{Be} (n, \alpha)$ He Atoms per g ($\times 10^{-16}$)	$\text{O}^{16} (n, \alpha)$ He Atoms per g ($\times 10^{-16}$)	$\sigma_{FN}^* {}^9\text{Be}$ ($n, 2n$)(mb)
103-5 BeO	2.35 ± 0.24	1.3430	15.49 ± 0.90	1.93 ± 0.39	0.47 ± 0.09	115.7
103-6 BeO	2.31 ± 0.24	1.3202	15.22 ± 0.91	1.90 ± 0.38	0.46 ± 0.09	115.4
103-7 BeO	2.20 ± 0.23	1.3334	15.45 ± 0.90	1.81 ± 0.36	0.44 ± 0.09	124.6
103-8 BeO	2.04 ± 0.21	1.3440	13.24 ± 0.81	1.67 ± 0.33	0.41 ± 0.08	113.8
104-1 Be	2.19 ± 0.23	0.7681	39.5 ± 2.1	5.0 ± 1.0	-	117.9
104-2 Be	2.12 ± 0.22	0.7852	35.2 ± 1.9	4.8 ± 1.0	-	107.3
104-3 Be	2.02 ± 0.21	sample lost	-	-	-	-
104-4 Be	1.92 ± 0.20	0.7792	34.8 ± 1.8	4.4 ± 0.9	-	118.6
Unirradiated BeO	-	1.3	0.62	-	-	-
Unirradiated Be	-	0.76	0.26	-	-	-

*Average $\sigma_{FN} {}^9\text{Be} (n, 2n) = 116.2 \text{ mb}$

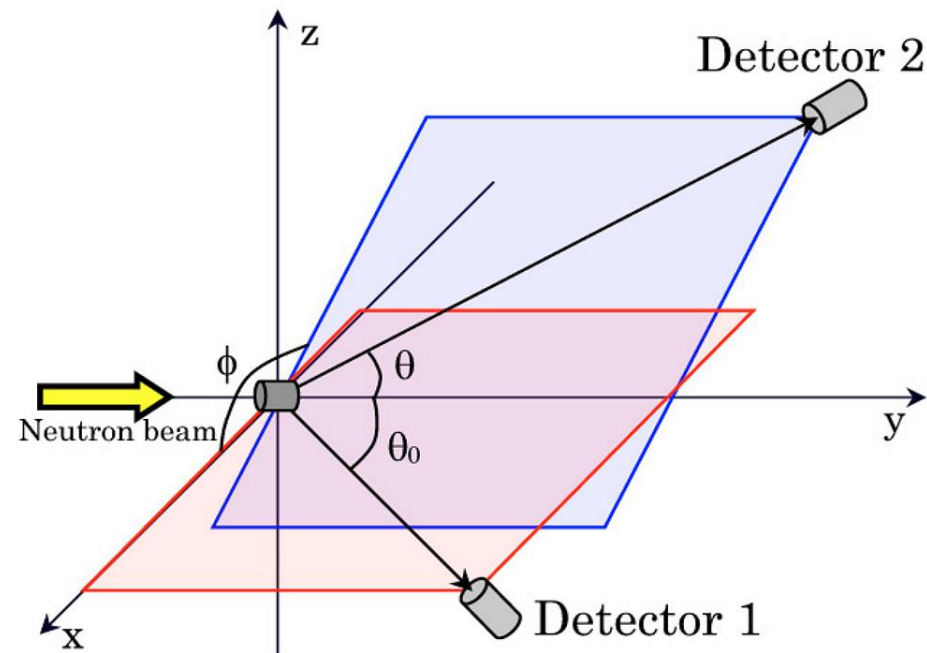
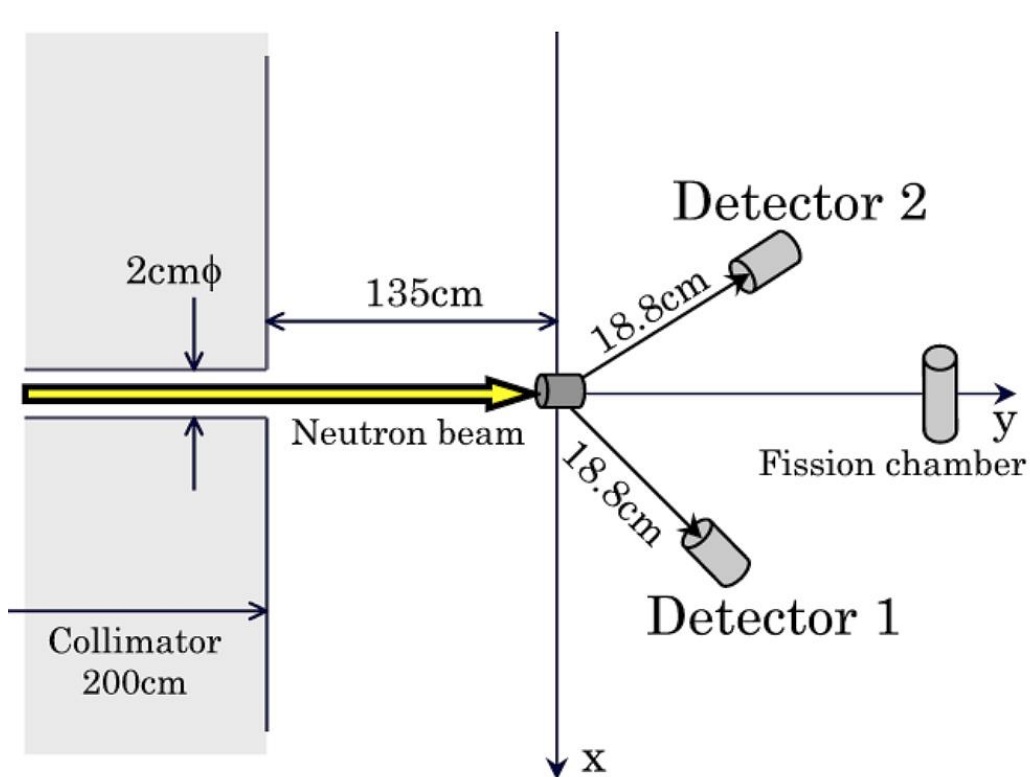
% Standard Deviation = 4.6

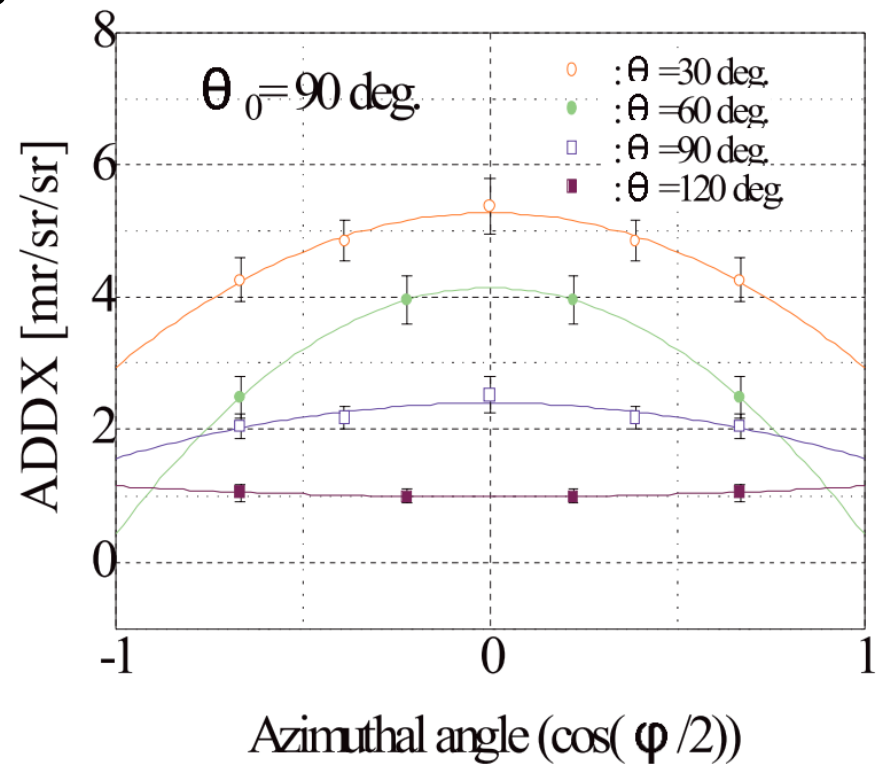
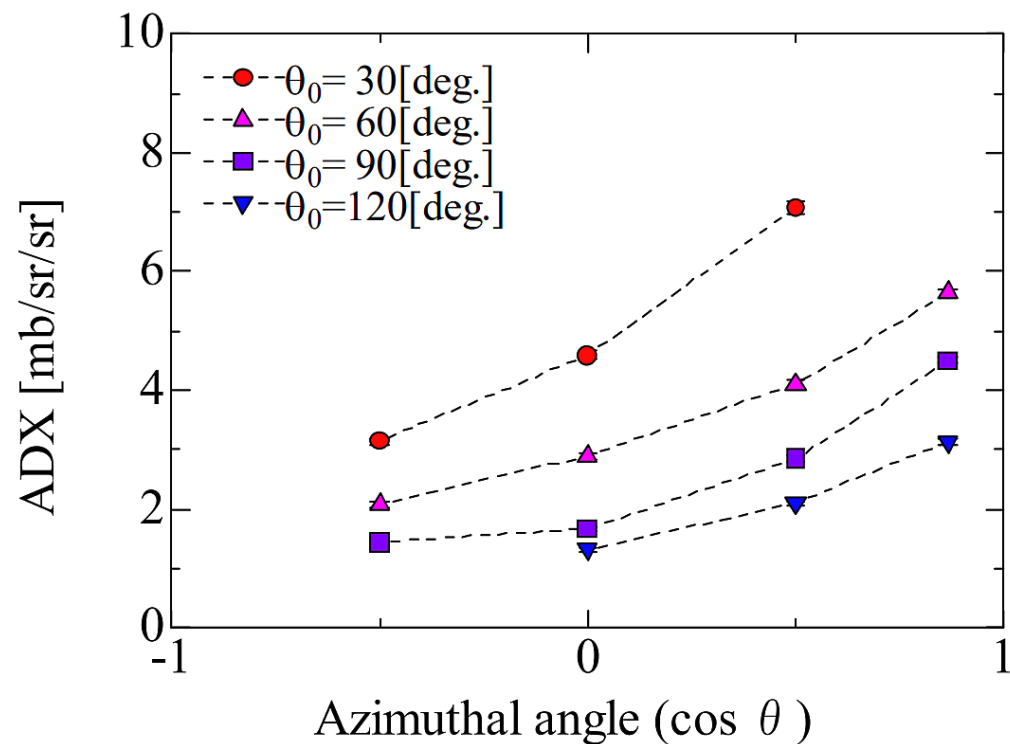
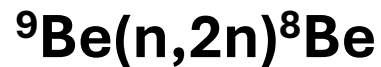
Estimated % Error = 13.0

Average $\bar{\sigma}_{2.7 \text{ MeV}} {}^9\text{Be} (n, 2n) = 458 \pm 60 \text{ mb}$

Полное поперечное сечение достаточно хорошо известно из интегральных измерений, но очень мало информации о том, как оно распределяется по энергии и углу.

Measurement of the angle-correlated neutron spectrum for the ${}^9\text{Be}(n,2n)$ reaction with a pencil-beam DT neutron source





Результаты:

Наблюдалось сильное продольное распределение, ориентированное вперед.

Подтверждено слегка ориентированное вперед азимутальное распределение, хотя оно не учитывается в оцененных ядерных данных.

Полное сечение

${}^9\text{Be}(n,2n)$: Получено путем интегрирования энергетических и угловых распределений, с подгонкой с помощью полиномов Лежандра.

Сравнение: Результаты согласуются с данными JENDL-3.3.

Predicted levels of ${}^9\text{Be}$ based on a theoretical analysis of neutron double-differential cross sections at $E_n = 14.1$ and 18 MeV

<https://doi.org/10.1103/physrevc.80.064612>

$$(3) \quad n + {}^9\text{Be} \rightarrow \begin{cases} \gamma + {}^{10}\text{Be} & Q = 6.811 & E_{\text{th}} = 0.000 \\ p + {}^9\text{Li} & Q = -12.825 & E_{\text{th}} = 14.260 \\ \alpha + {}^6\text{He} & Q = -0.598 & E_{\text{th}} = 0.665 \\ d + {}^8\text{Li} & Q = -14.663 & E_{\text{th}} = 16.304 \\ t + {}^7\text{Li} & Q = -10.439 & E_{\text{th}} = 11.604 \\ {}^5\text{He} + {}^5\text{He} & Q = -3.362 & E_{\text{th}} = 3.738 \\ 2n + {}^8\text{Be} & Q = -1.665 & E_{\text{th}} = 1.851 \\ np, pn + {}^8\text{Li} & Q = -16.887 & E_{\text{th}} = 18.777 \\ n\alpha, \alpha n + {}^5\text{He} & Q = -2.467 & E_{\text{th}} = 2.743 \\ nd, dn + {}^7\text{Li} & Q = -16.696 & E_{\text{th}} = 18.565 \\ nt, tn + {}^6\text{Li} & Q = -17.688 & E_{\text{th}} = 19.668. \end{cases}$$

С учетом реакций $n + {}^9\text{Be}$ с энергией падающих нейтронов $E_n \leq 20$ МэВ открытые каналы реакции и соответствующие значения Q реакции, а также пороговая энергия E_{th} в единицах МэВ приведены в уравнении (3).

$$(4) \quad n + {}^9\text{Be} \rightarrow {}^{10}\text{Be}^* \rightarrow \begin{cases} n + {}^9\text{Be}^* & {}^9\text{Be}_{k=1-3}^* \rightarrow n + {}^8\text{Be}^* & {}^8\text{Be}^* \rightarrow \alpha + \alpha \text{ two body breakup} \\ n + {}^9\text{Be}^* & {}^9\text{Be}_{k \geq 4}^* \rightarrow \alpha + {}^5\text{He}^* & {}^5\text{He}^* \rightarrow n + \alpha \text{ two body breakup} \\ \alpha + {}^6\text{He}^* & {}^6\text{He}_{k=1}^* \rightarrow n + n + \alpha & \text{three body breakup} \\ \alpha + {}^6\text{He}^* & {}^6\text{He}_{k \geq 2}^* \rightarrow n + {}^5\text{He}^* & {}^5\text{He}^* \rightarrow n + \alpha \text{ two body breakup} \\ {}^5\text{He}^* + {}^5\text{He}^* & 2{}^5\text{He}^* \rightarrow 2n + 2\alpha & \text{double two body breakup} \\ n + n + {}^8\text{Be}^* & \text{direct three body breakup} & {}^8\text{Be}^* \rightarrow \alpha + \alpha \text{ two body breakup.} \end{cases}$$

Механизмы реакции по каналу ${}^9\text{Be}(n,2n)2\alpha$, задействованные в расчетах модели, показаны в уравнении (4), где символ k относится к порядковому номеру возбужденного уровня соответствующего остаточного ядра в различных каналах реакции.

2004 [16]	1996 [19]
g.s. ($\frac{3}{2}^-$) stable	g.s. ($\frac{3}{2}^-$) stable
1.684 ($\frac{1}{2}^+$) 217	1.684 ($\frac{1}{2}^+$) 217
2.4294 ($\frac{5}{2}^-$) 0.78	2.4294 ($\frac{5}{2}^-$) 0.77
2.78 ($\frac{1}{2}^-$) 1080	2.78 ($\frac{1}{2}^-$) 1080
3.049 ($\frac{5}{2}^+$) 282	3.049 ($\frac{5}{2}^+$) 282
4.704 ($\frac{3}{2}^+$) 743	4.704 ($\frac{3}{2}^+$) 743
5.59 ($\frac{3}{2}^-$) 1330	
6.38 ($\frac{7}{2}^-$) 1210	
6.76 ($\frac{9}{2}^+$) 1330	6.76 ($\frac{7}{2}^-$) 1540
7.94 ($\frac{5}{2}^-$) 1000	7.94 ($\frac{5}{2}^-$) 1000
9.00 ($\frac{1}{2}^+$) 1000*	
10.00 ($\frac{5}{2}^+$) 1000*	
11.283 ($\frac{7}{2}^-$) 575	11.283 (?) 575
11.81 ($\frac{5}{2}^-$) 400	11.81 (?) 400
13.79 (?) 590	13.79 (?) 590
14.3922 ($\frac{3}{2}^-$) 0.381	14.3922 ($\frac{3}{2}^-$) 0.381
14.48 ($\frac{5}{2}^-$) 800	14.40 (?) 800
15.10 (?) 350	15.10 (?) ?
15.97 (?) 300	15.97 (?) 300
16.671 ($\frac{5}{2}^-$) 41	16.671 ($\frac{5}{2}^-$) 41
16.9752 ($\frac{1}{2}^-$) 0.389	16.9752 ($\frac{1}{2}^-$) 0.49
17.298 ($\frac{5}{2}^-$) 200	17.298 ($\frac{5}{2}^-$) 200
17.493 ($\frac{7}{2}^+$) 47	17.493 ($\frac{7}{2}^+$) 47

*Labels the predicted energy levels in this article. g.s + ground state; indicates the absent data.

ТАБЛИЦА I. Сравнение схем уровней для ${}^9\text{Be}$.

Данные взяты из Таблицы изотопов, 8-е изд., опубликованной в 1996 г. [19] и из [16], опубликованной в 2004 г. Формат $E(J\pi)$, где E — энергия в МэВ,

$J\pi$ — спин и четность, а ширина энергии в кэВ.

A primary evaluation for $n+{}^9\text{Be}$

2019-05-11

Zhenpeng Chen, Yeying Sun, Qianghua Wu
(Physics Department, Tsinghua University, Beijing, China)

- 1 $n+{}^9\text{Be}^*$, ${}^9\text{Be}^* \rightarrow n+{}^8\text{Be}^*$, ${}^8\text{Be}^* \rightarrow \alpha+\alpha$, 2 body break;
- 2 $n+{}^9\text{Be}^*$, ${}^9\text{Be}^* \rightarrow \alpha+{}^5\text{He}^*$, ${}^5\text{Be}^* \rightarrow n+\alpha$, 2 body break;
- 3 $n+{}^9\text{Be} \rightarrow {}^{10}\text{Be}^* \rightarrow 3 \alpha+{}^6\text{He}^*$, ${}^6\text{He}^* \rightarrow n+ n+\alpha$, for the first exciting state, 3 body break;
- 4 $\alpha+{}^6\text{He}^*$, ${}^6\text{He}^* \rightarrow n+{}^5\text{He}^*$, ${}^5\text{He}^* \rightarrow n+\alpha$, for higher exciting state;
- 5 ${}^5\text{He}+{}^5\text{He}$, $2{}^5\text{He} \rightarrow 2n+2\alpha$, double '2 body break';
- 6 $n+n+{}^8\text{Be}$, direct 3 body break; ${}^8\text{Be} \rightarrow \alpha+\alpha$, 2 body break;

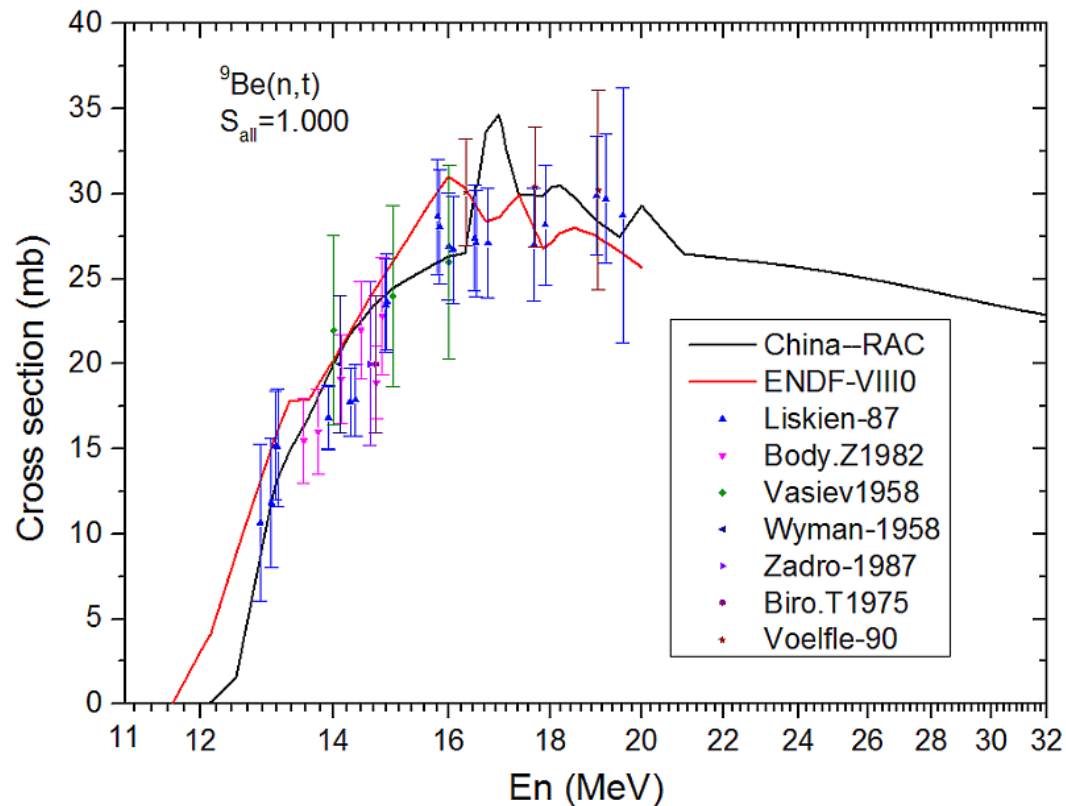
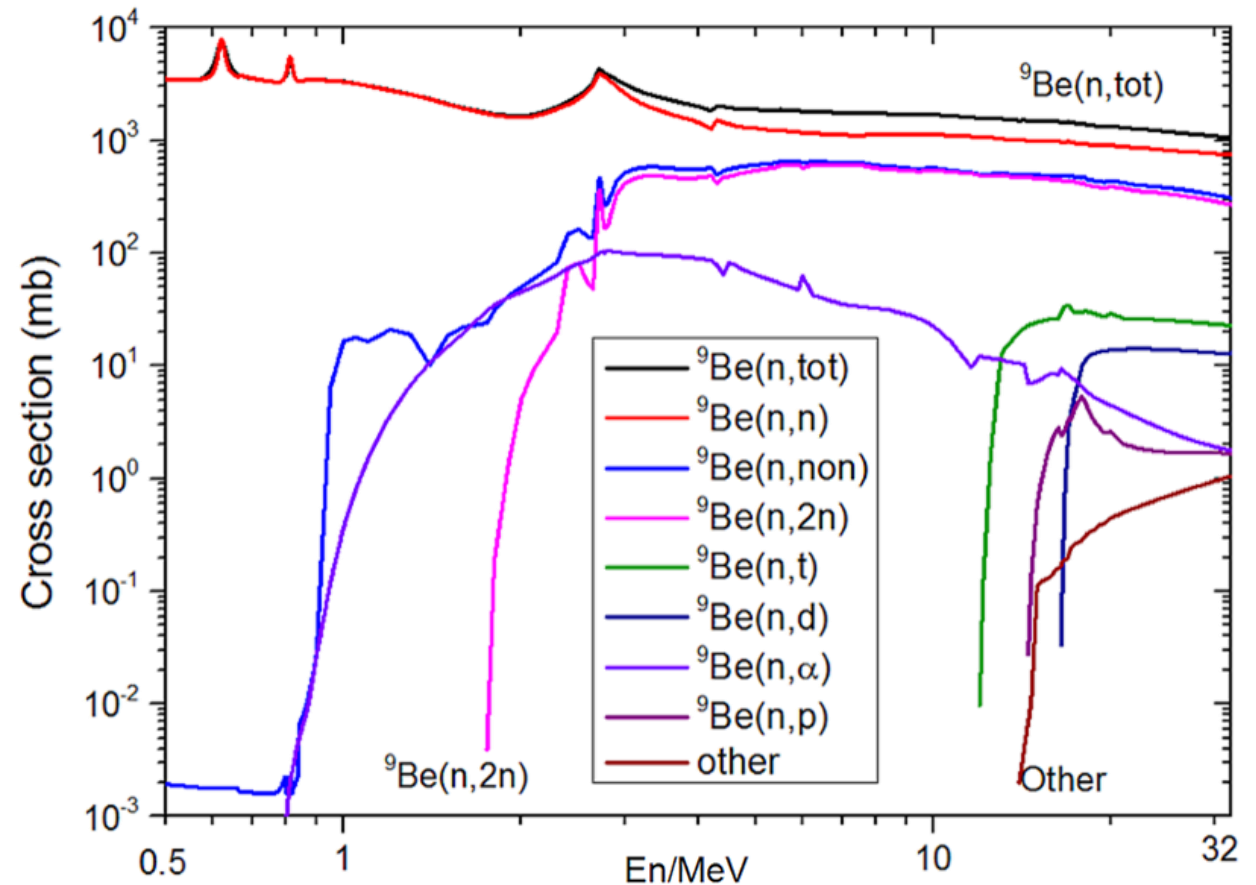


Fig. IV.16. ${}^9\text{Be}(n,t){}^7\text{Li}$ from 11 to 32 MeV



A primary evaluation for $n+{}^9\text{Be}$

2019-05-11

Zhenpeng Chen, Yeying Sun, Qianghua Wu
(Physics Department, Tsinghua University, Beijing, China)

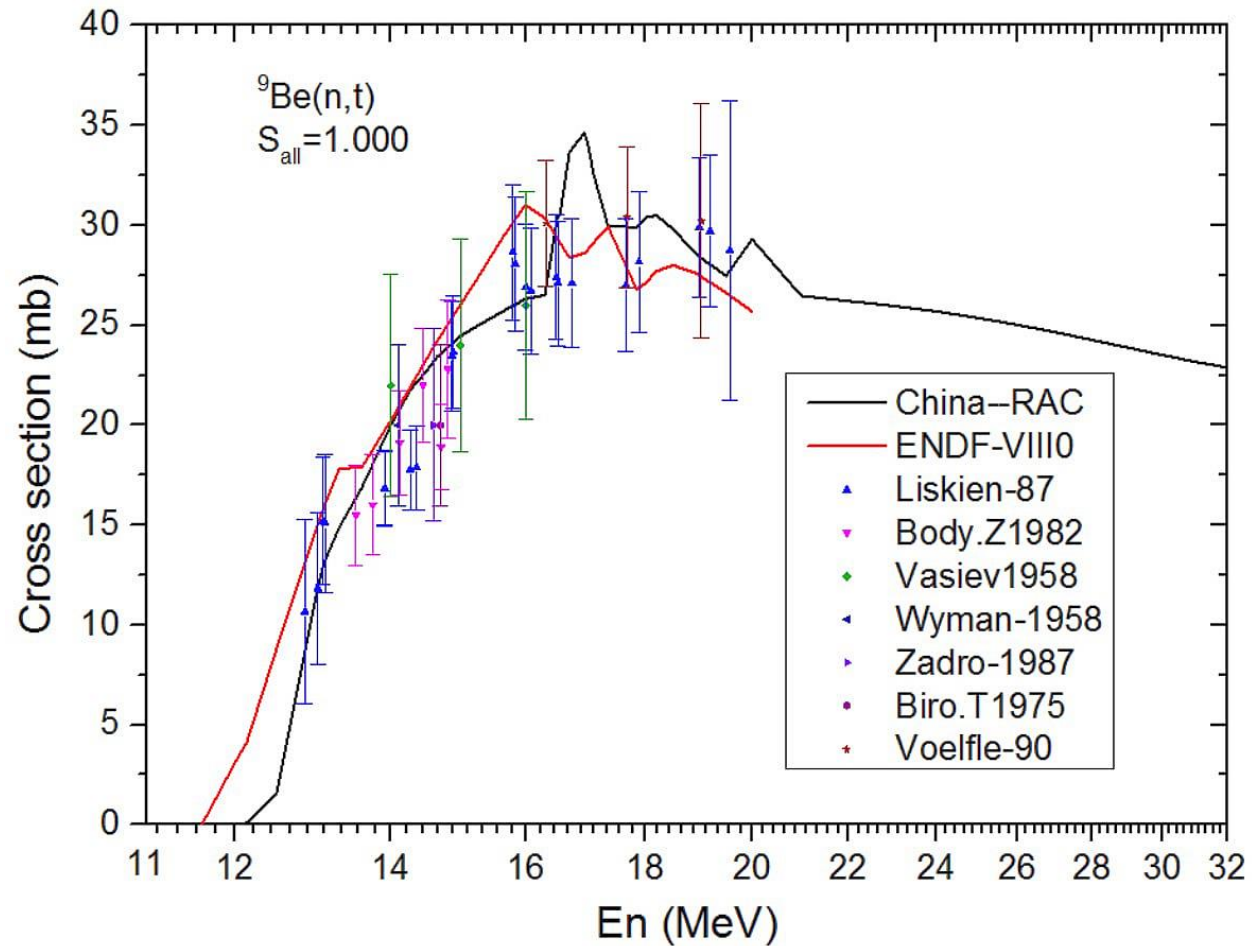


Fig. IV.16. ${}^9\text{Be}(n,t){}^7\text{Li}$ from 11 to 32 MeV

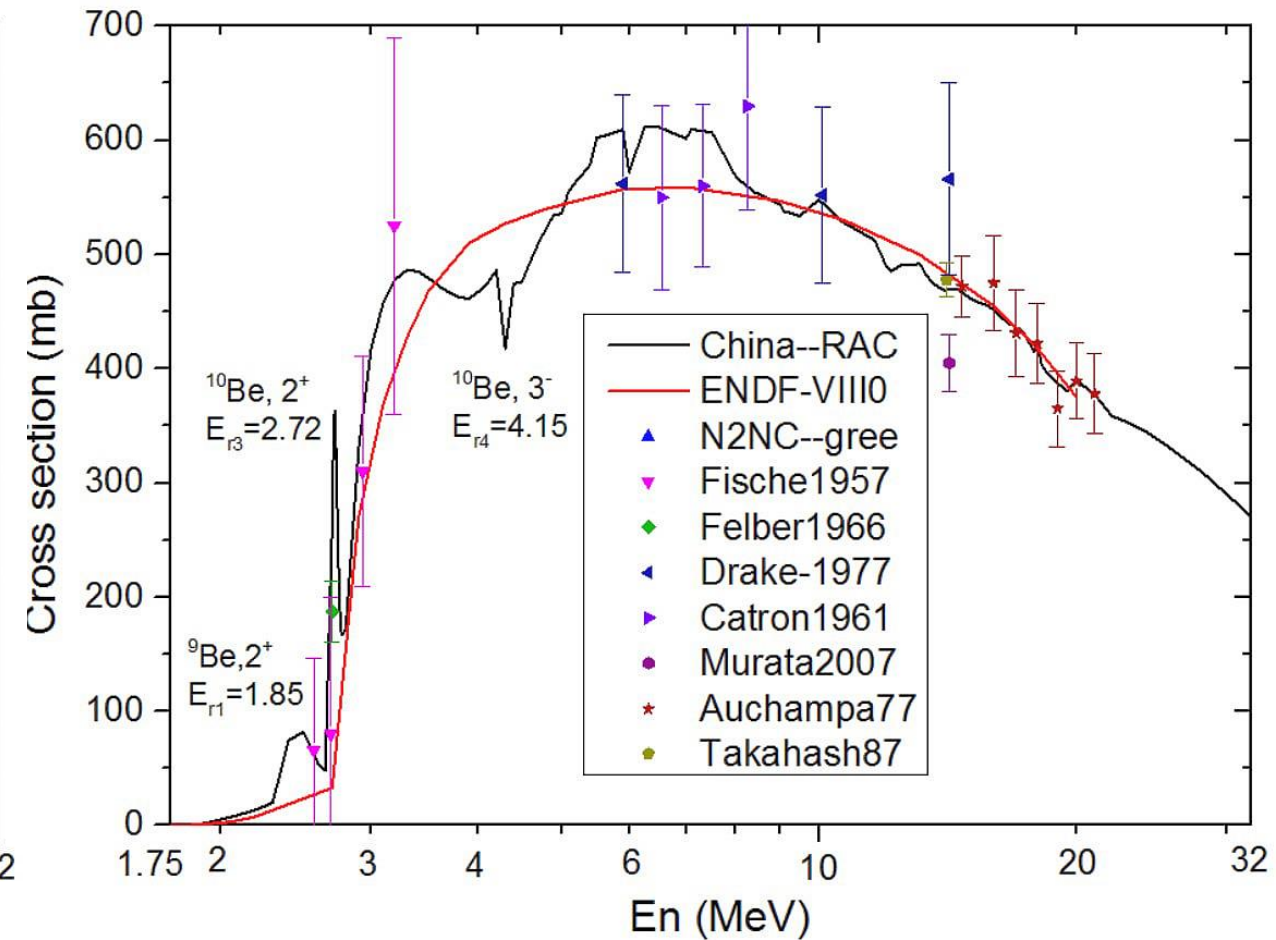
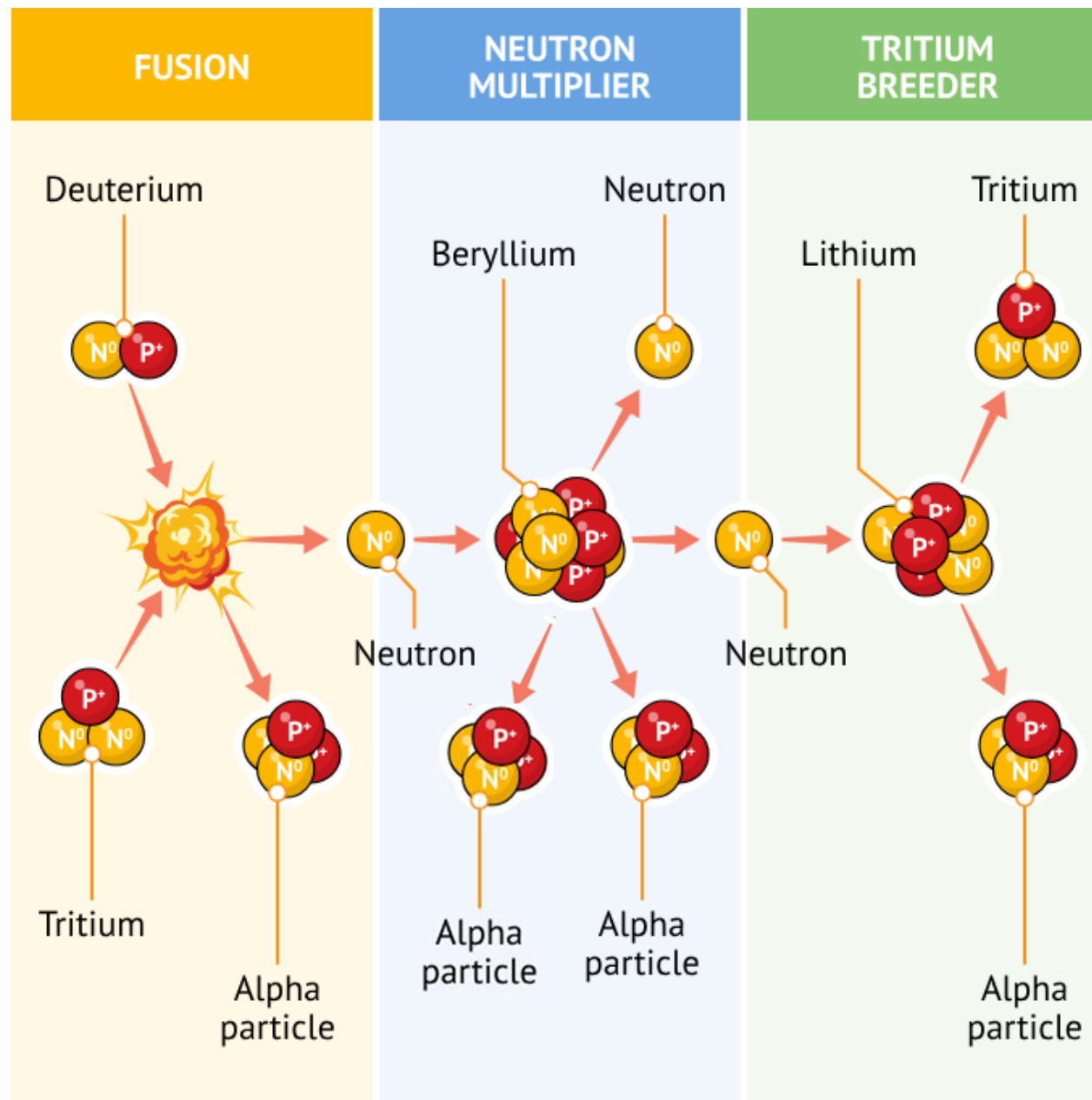
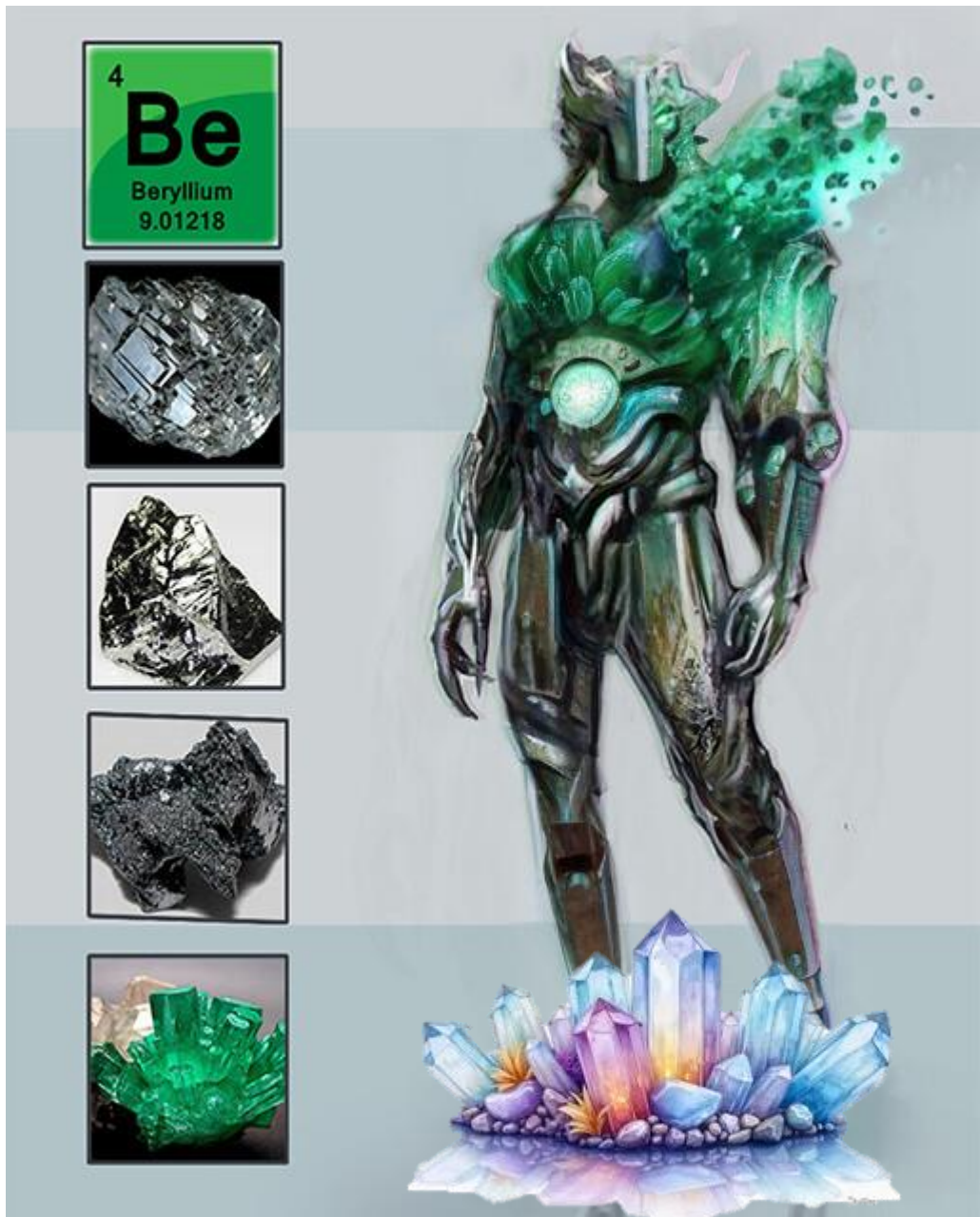


Fig. IV.19. ${}^9\text{Be}(n,2n){}^8\text{Be}$ from 1.75 to 32 MeV



LANL Evaluation Progress in FY 2020

NUCLEAR CRITICALITY SAFETY PROGRAM (NCSP) TECHNICAL PROGRAM REVIEW

M. Paris and I. Stetcu
ND Group T-2

Los Alamos
NATIONAL LABORATORY
EST. 1943

LANL ND1 (Nuclear Data Evaluation and Testing)

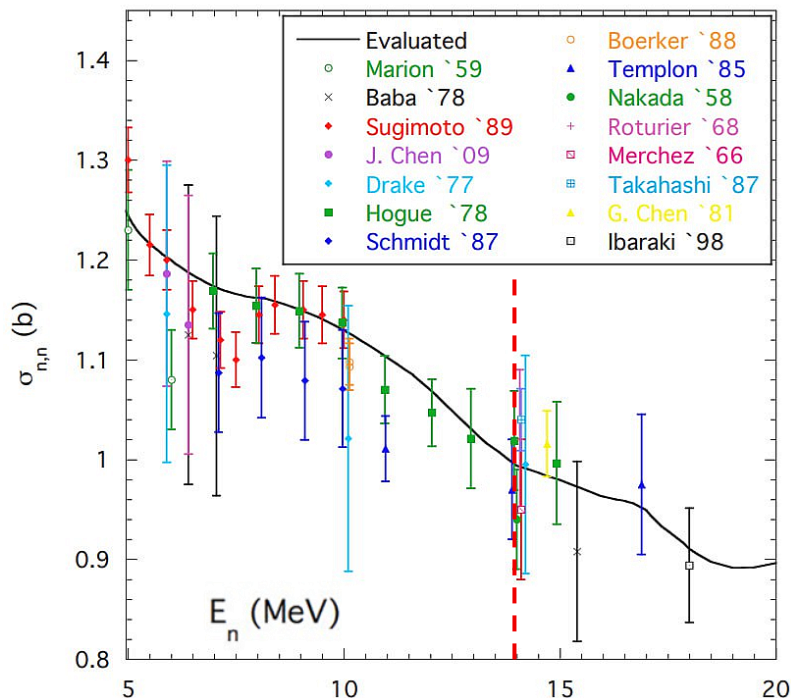
NISA

Los Alamos National Laboratory

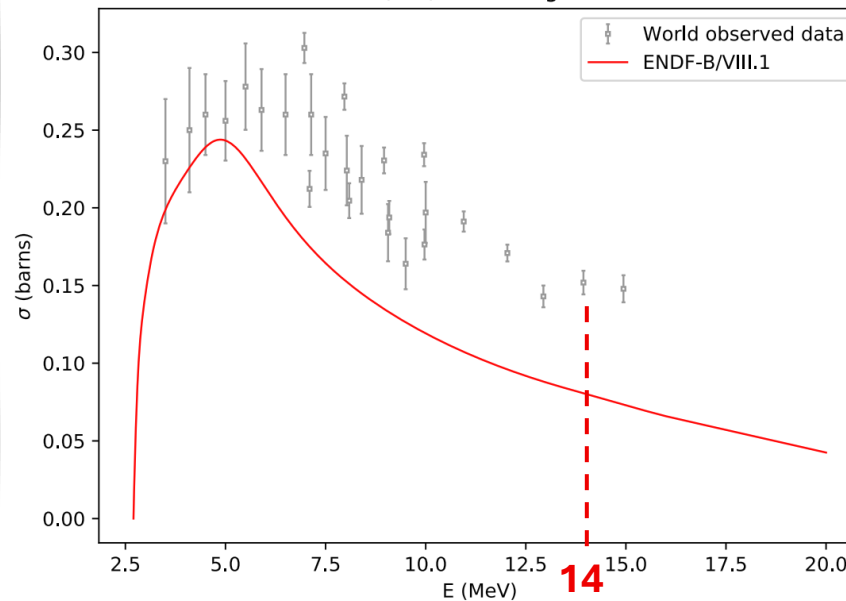
LA-UR-21-21332

2/24/21

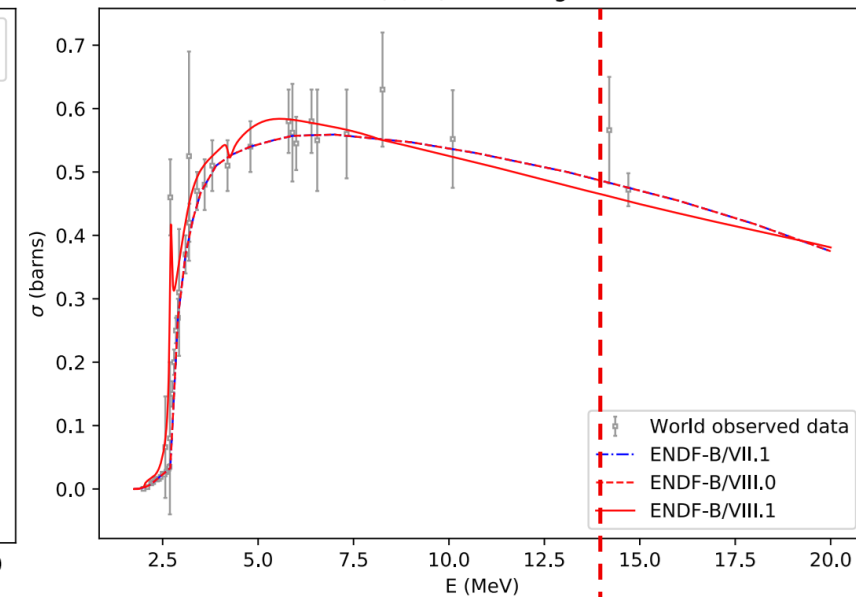
$^9\text{Be}(n,n)^9\text{Be}$ Cross Section



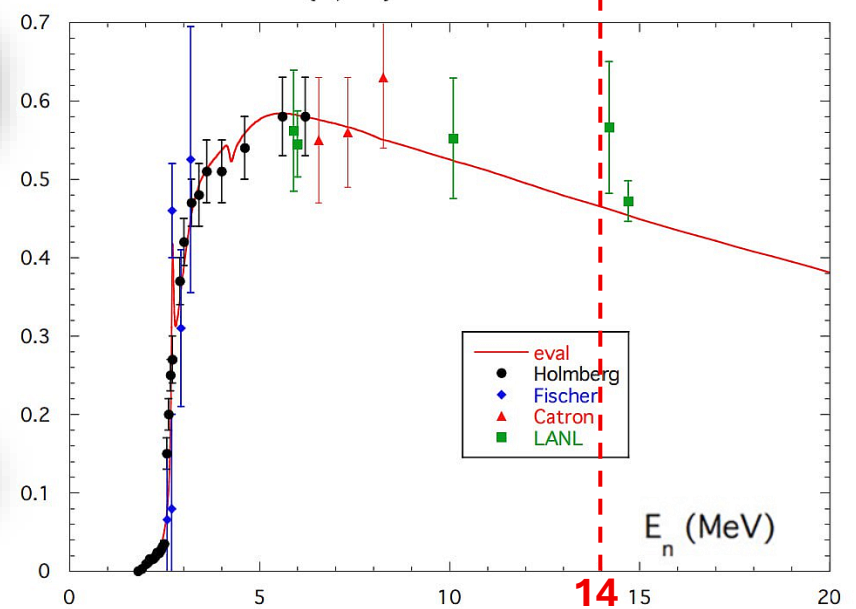
$^9\text{Be}(n,n)^9\text{Be}^*$ integrated



$^9\text{Be}(n,nn)^8\text{Be}^*$ integrated



$^9\text{Be}(n,2n)\alpha\alpha$ Cross Section



EDA R-Matrix Evaluations

Report on $n+^9\text{Be}$, $n+^{16}\text{O}$

Mark Paris & Gerry Hale
(LANL/Theoretical Division/T-2)

IAEA
International Nuclear Data Evaluation
Network on Light Elements (INDEN-LE)

Los Alamos
NATIONAL LABORATORY
EST. 1943

2021-03-17
Online meeting

NISA

Los Alamos National Laboratory

LA-UR-21-22527



Outline

2023

- Evaluation updates for ENDF/B-VIII.1 β 2
 - n+⁹Be
 - Charged particle sublibraries

Evaluation updates for ⁹Be and charged particles

CSEWG

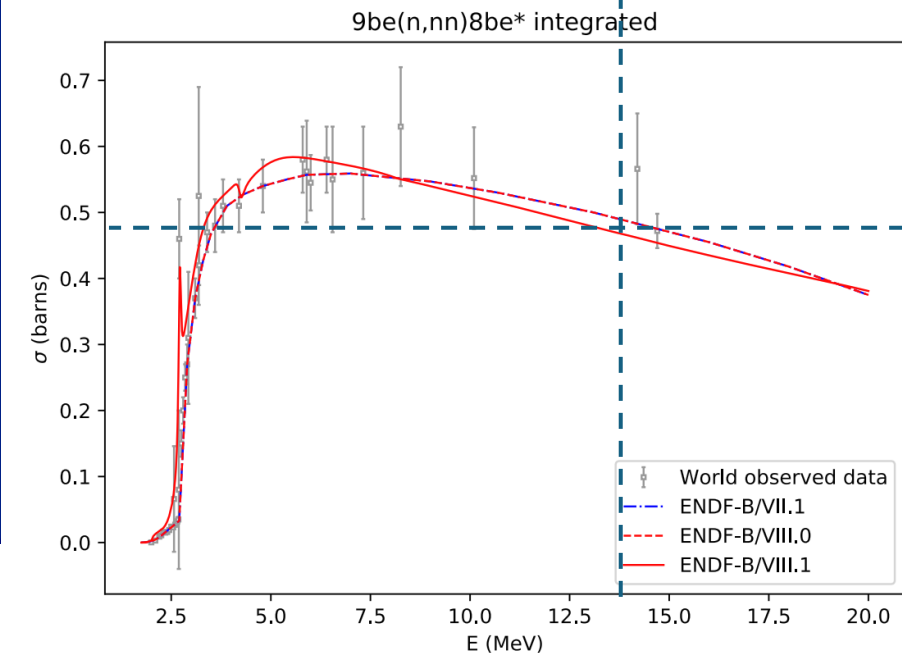
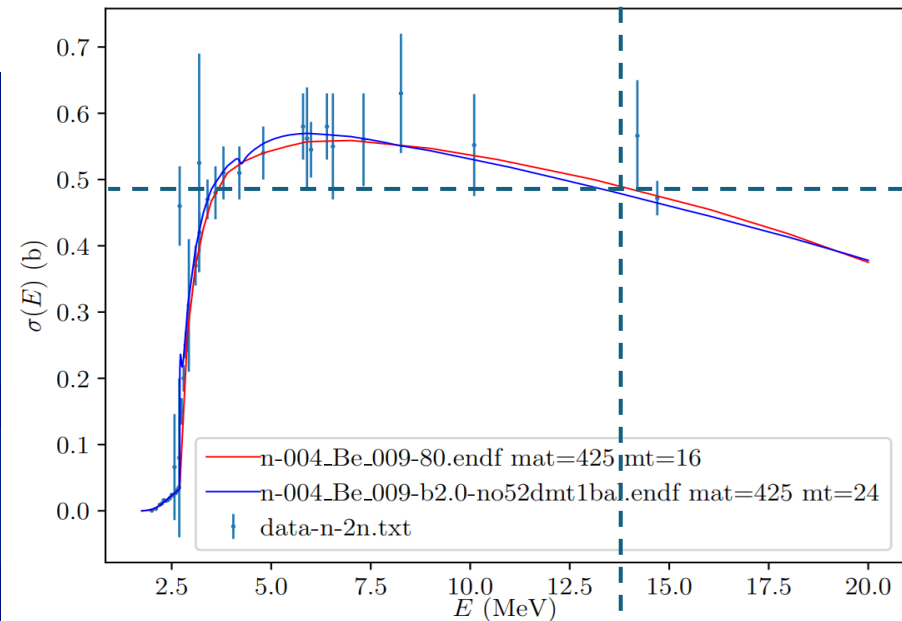
M. Paris, G. Hale & Mike Herman (LANL/T-2)

N. Gibson, S. Kahler, N. Kleedtke & D. Neudecker (LANL/XCP-5)

2023-11-16

LA-UR-23-XXXXX

- Added data: elastic, (n, α), (n,n₁), (n, γ)
- Upper energy
 - E_n < 15.4 MeV (total and integrated cross sections)
 - Extended from 1.6 MeV to 5.0 MeV (elastic and inelastic angular distributions)





Status of and Plans for Light-Element Standards Evaluations at LANL

G. Hale, M. Paris, and H. Sasaki

TM on Neutron Data Standards 2025
IAEA, Vienna, Austria

2025 January 28

LA-UR-25-20810

WANDA 2025

February 10th-13th



Workshop for Applied Nuclear Data Activities
Sponsored by the Nuclear Data Interagency Working Group

Correlated Gamma Neutron Array for Scattering (CoGNAC)



120 ^6Li -enriched $\text{Cs}_2\text{LiYCl}_6:\text{Ce}$ (CLYC) detectors

A New (n, xn) Measurement Capability at LANSCE

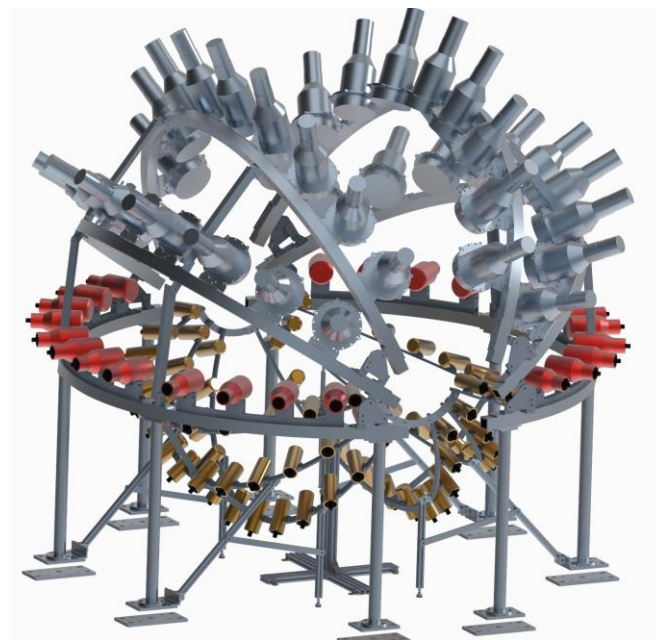
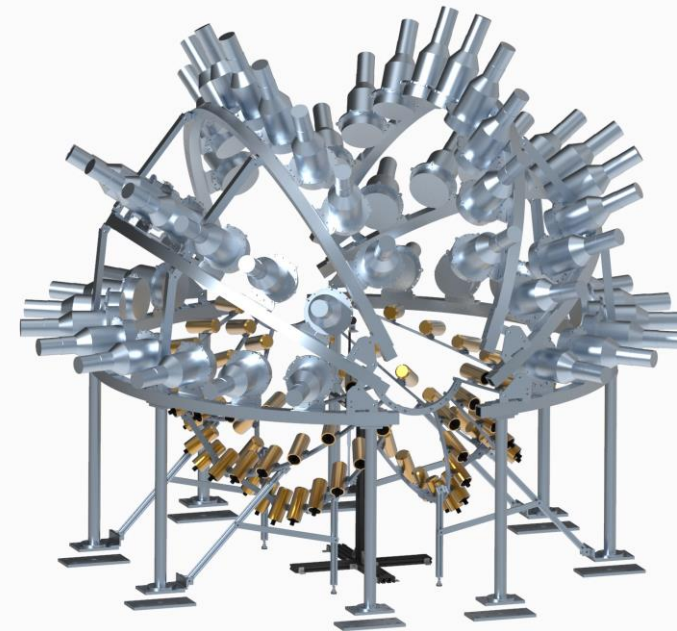
Funded by DOE SC Early Career Research Program

Keegan J. Kelly

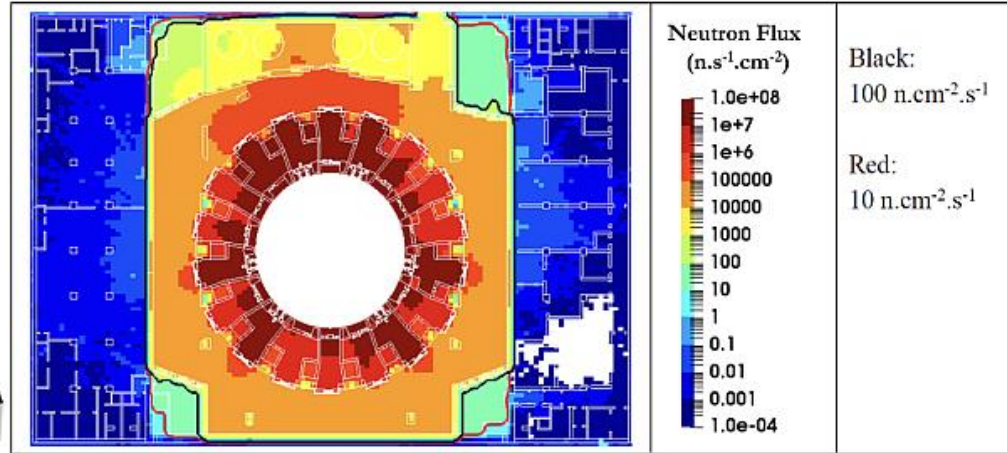
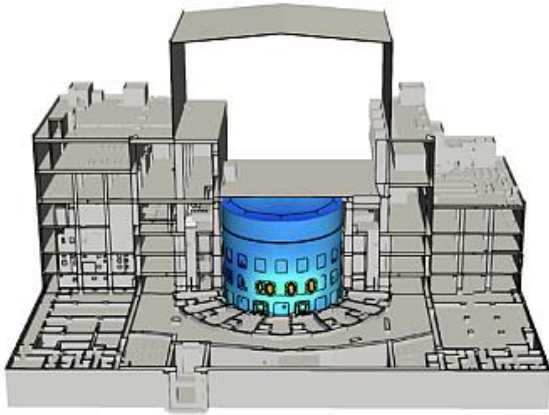
Открывает возможности для коррелированных $(n, 2n)$, (n, n) и (n, n') измерений

2025 Workshop for Applied Nuclear Data Activities

- CLYC-7 purchases placed; ^{181}Ta & ^{208}Pb target purchase in progress
- ^9Be CoGNAC data being investigated for $(n, 2n)$
- n - n coincidence development in progress with existing data
- Experiment on $^{181}\text{Ta}(n, 2n)$ planned for 2025 LANSCE run cycle
- Engineering of CLYC-7 integration in CoGNAC in progress



Fusion Reactors Rely on $(n,2n)$ and $(n,3n)$ Rxns



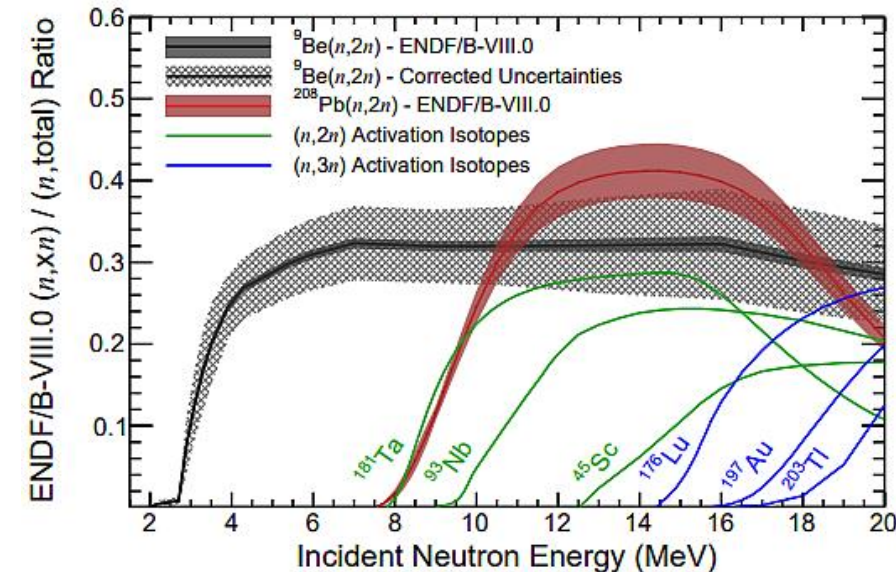
ITER_D_3FMS2L - Radiation environment for equipment during operations by R Juarez

A New (n,xn) Measurement Capability at LANSCE

Funded by DOE SC Early Career Research Program

Keegan J. Kelly

2025 Workshop for Applied Nuclear Data Activities



- n breeding essential for t production via ${}^6\text{Li}(n,t)$, to drive $d-t$ – ${}^9\text{Be}(n,2n)$ and ${}^{208}\text{Pb}(n,2n)$
- Activation-based flux measurements motivate a suite of $(n,2n)$ measurements

Размножение n необходимо для производства t через ${}^6\text{Li}(n,t)$, чтобы управлять реакцией $d-t$.

Измерения потока на основе активации мотивируют измерений ${}^9\text{Be}(n,2n)$

Keegan J. Kelly, A New (n,xn) Measurement Capability at LANSCE, 2025 WANDA

Project Tasks in Progress So Far

Tasks	FY2025	FY2026	FY2027	FY2028	FY2029
Purchase CLYC-7 Detectors					
Integrate CLYC-7 Detectors into CoGNAC					
Leverage Existing Data for n - n Coincidence Development					
Utilize New Data for n - n Coincidence Development					
Obtain Pure ^{181}Ta Target					
Obtain Pure ^{208}Pb Target					
Conduct $^{181}\text{Ta}(n,2n)$ Scoping Measurement					
Analyze $^{181}\text{Ta}(n,2n)$ Scoping Measurement Data					
Report Results from $^{181}\text{Ta}(n,2n)$ Scoping Measurement					
Conduct Simultaneous ^{181}Ta and $^{208}\text{Pb}(n,2n)$ Measurement					
Analyze ^{181}Ta and $^{208}\text{Pb}(n,2n)$ Data					
Report Results from $^{208}\text{Pb}(n,2n)$ Analysis					
Conduct Simultaneous ^{181}Ta and $^9\text{Be}(n,2n)$ Measurement					
Analyze ^{181}Ta and $^9\text{Be}(n,2n)$ Data					
Report Results from $^9\text{Be}(n,2n)$ Analysis					
Conduct Exploratory ^{181}Ta and $^{238}\text{U}(n,2n)$ Measurement					
Analyze ^{181}Ta and $^{238}\text{U}(n,2n)$ Data					
Establish Funding for (n,xn) Measurements Building from this Work					

2025 January 28

EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH
Proposal to the ISOLDE and Neutron Time-of-Flight Committee

April 8, 2025

Measurement of the ${}^7\text{Li}(n,n'\text{t})$ and ${}^9\text{Be}(n,2n)$ cross sections for modelling tritium-breeding blankets

G. Perfetto^{1,2}, N. Colonna¹, S. Amaducci³, L. Cosentino³, P. Finocchiaro³, V. Foteinou⁴,
S. Goula^{4,10}, G. Lorusso^{5,6}, M. Mastromarco^{1,2}, A. Mazzone^{1,9}, R. Mucciola¹
N. Patronis⁴, V. Raffuzzi⁷, G. Tagliente¹, P. Žugec⁸ and the n_TOF collaboration

Тритий является ключевым топливом для дейтерий-тритиевого (D-T) синтеза, он радиоактивен и очень редок. Он должен быть произведен как побочный продукт синтеза и возвращен обратно в процесс синтеза, замыкая топливный цикл. Достижение коэффициента воспроизводства трития (производимого трития к потребляемому тритию) больше единицы имеет решающее значение, и это одна из самых больших проблем ядерного синтеза. Размножающие blankets, содержащие **литий** и **бериллий**, предназначены для этой цели; реакции ${}^6\text{Li}(n,t)\alpha$, ${}^7\text{Li}(n,n'\text{t})\alpha$ и ${}^9\text{Be}(n,2n)2\alpha$ в основном отвечают за производство ${}^3\text{H}$. Однако текущие неопределенности в поперечном сечении последних двух реакций значительно распространяются на коэффициент воспроизводства трития (TBR), который должен быть смоделирован с высокой точностью.

Предполагаемые измерения в n-TOF будут первыми, использующими технику времени пролета, и предоставят улучшенный набор сечений, необходимых для расчетов воспроизводства трития в некоторых из наиболее перспективных конструкций реакторов. Это критически важно на текущем этапе, когда $\text{TBR} > 1$ еще не продемонстрировано. Измерения предлагаются с использованием установки Si-детекторов, разработанной коллаборацией n TOF для обнаружения продуктов реакции ${}^3\text{H}$ и ${}^4\text{He}$.

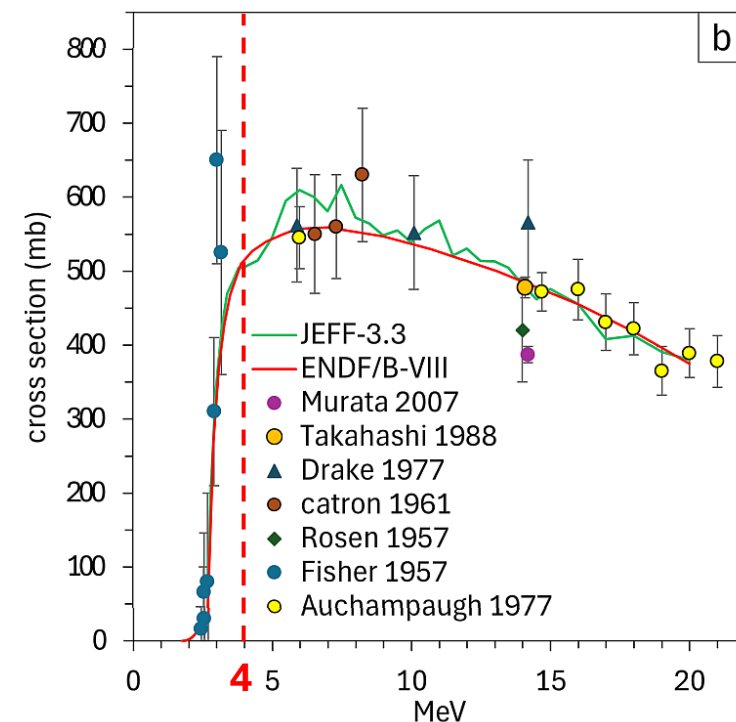
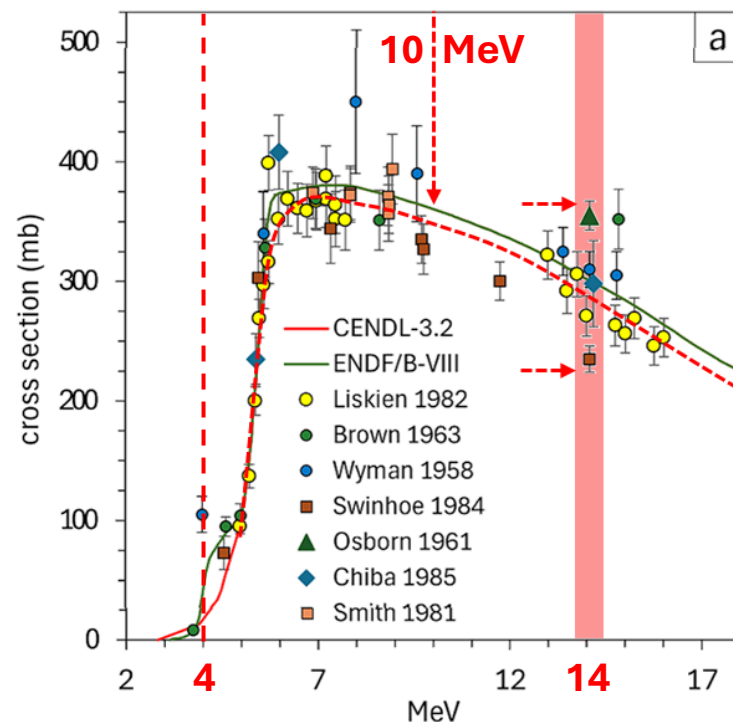
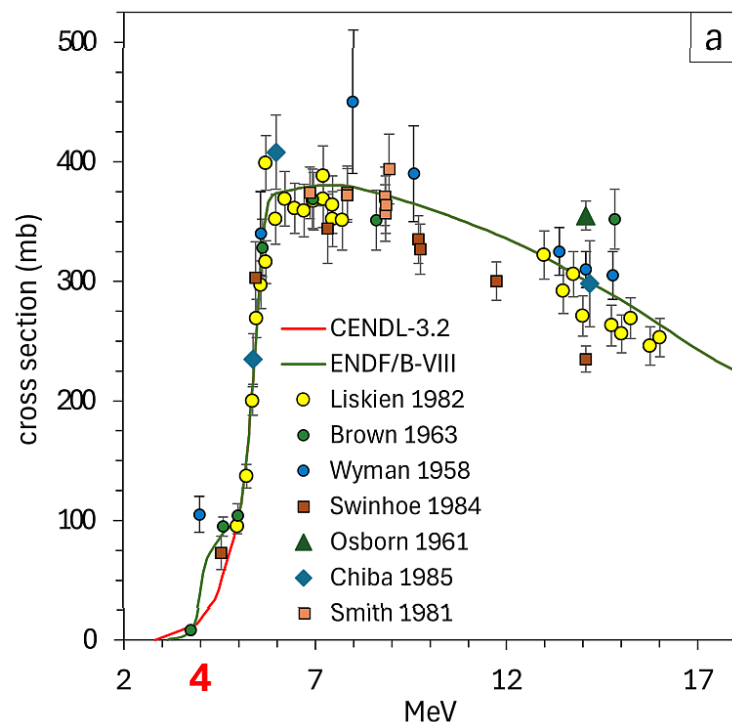
2025 January 28

EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH
Proposal to the ISOLDE and Neutron Time-of-Flight Committee

April 8, 2025

Measurement of the ${}^7\text{Li}(n,n't)$ and ${}^9\text{Be}(n,2n)$ cross sections for modelling tritium-breeding blankets

G. Perfetto^{1,2}, N. Colonna¹, S. Amaducci³, L. Cosentino³, P. Finocchiaro³, V. Foteinou⁴,
S. Goula^{4,10}, G. Lorusso^{5,6}, M. Mastromarco^{1,2}, A. Mazzone^{1,9}, R. Mucciola¹
N. Patronis⁴, V. Raffuzzi⁷, G. Tagliente¹, P. Žugec⁸ and the n_TOF collaboration



Measurement of the ${}^7\text{Li}(n,n't)$ and ${}^9\text{Be}(n,2n)$ cross sections for modelling tritium-breeding blankets

Тритий (${}^3\text{H}$) является ключевым топливом для (D-T) синтеза.

2025 January 28

April 8, 2025

April 8, 2025

G. Perfetto^{1,2}, N. Colonna¹, S. Amaducci³, L. Cosentino³, P. Finocchiario³, V. Foteinou⁴, S. Goula^{4,10}, G. Lorusso^{5,6}, M. Mastromarco^{1,2}, A. Mazzone^{1,9}, R. Mucciola¹, N. Patronis⁴, V. Raffuzzi⁷, G. Tagliente¹, P. Žugec⁸ and the n-TOF collaboration

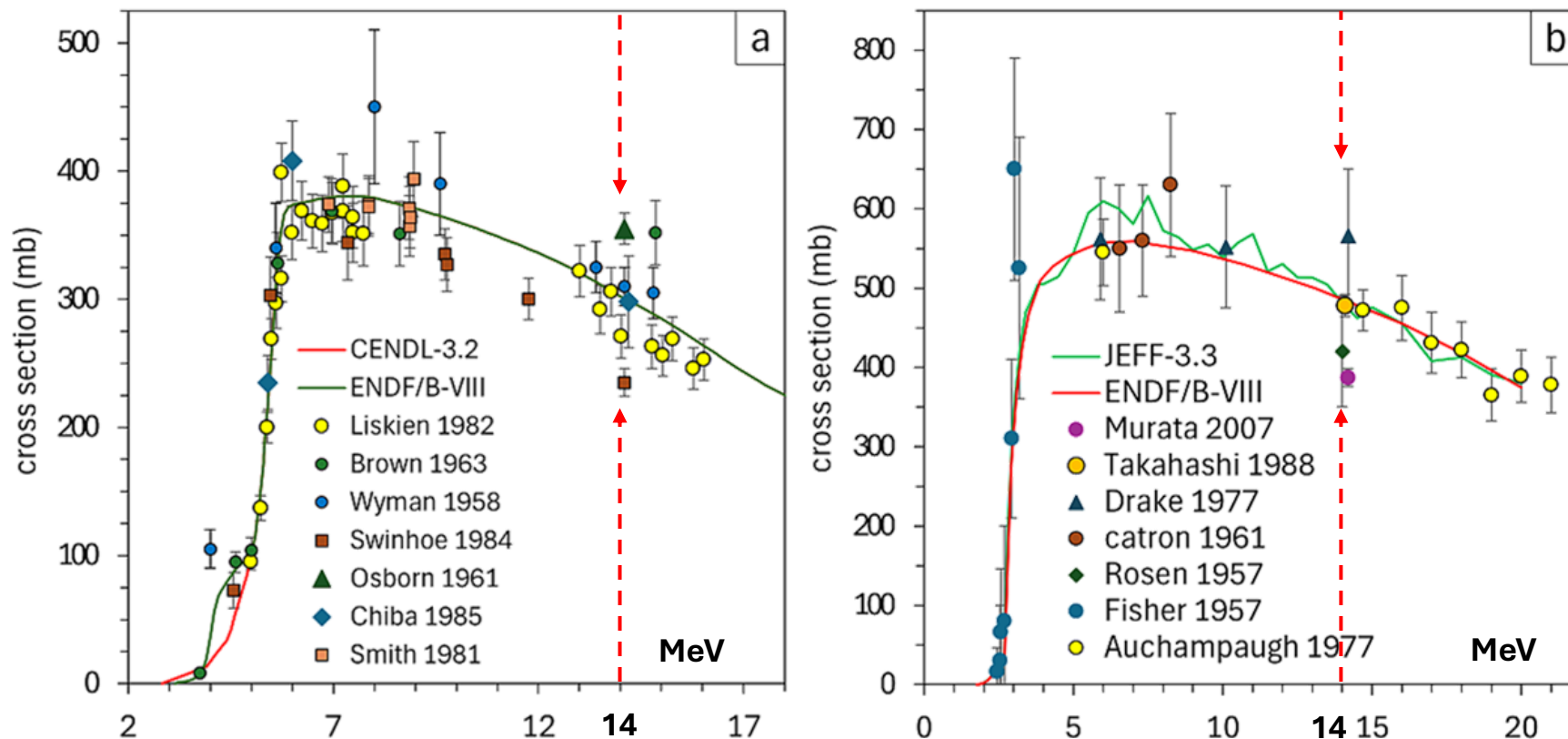


Figure 1: Existing measurement and evaluations for the cross section of

(a) ${}^7\text{Li}(n,n't)\alpha$ and (b) ${}^9\text{Be}(n,2n)2\alpha$.

${}^6\text{Li}(n,t)\alpha$, ${}^7\text{Li}(n,n't)\alpha$ и ${}^9\text{Be}(n,2n)2\alpha$ в

основном отвечают за

производство трития (t , ${}^3\text{H}$).

Текущие неопределенности в поперечном сечении реакций

${}^6\text{Li}(n,t)\alpha$, ${}^7\text{Li}(n,n't)\alpha$ и ${}^9\text{Be}(n,2n)2\alpha$ существенно

распространяются на коэффициент воспроизводства трития (TBR), который должен быть смоделирован с высокой точностью.

Предлагаемые измерения на n-TOF будут первыми, использующими технику времени пролета, и предоставят улучшенный набор сечений, необходимых для расчетов воспроизводства трития в некоторых из наиболее перспективных конструкций реакторов.

Это критически важно на текущем этапе, когда $\text{TBR} > 1$ еще не продемонстрировано.

EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH

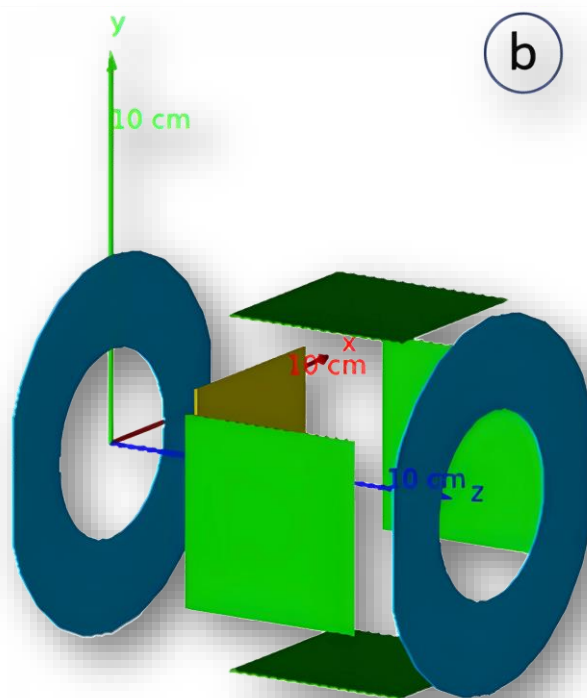
Proposal to the ISOLDE and Neutron Time-of-Flight Committee

Measurement of the ${}^7\text{Li}(n,n't)$ and ${}^9\text{Be}(n,2n)$ cross sections for modelling tritium-breeding blankets

G. Peretto^{1,2}, N. Colonna¹, S. Amaducci³, L. Cosentino³, P. Finocchiaro³, V. Foteinou⁴,
S. Goula^{4,10}, G. Lorusso^{5,6}, M. Mastromarco^{1,2}, A. Mazzone^{1,9}, R. Mucciola¹
N. Patronis⁴, V. Raffuzzi⁷, G. Tagliente¹, P. Žugec⁸ and the n-TOF collaboration



(a) пробные кольцевые nTD Si детектора при n-TOF



(b) схематический чертеж установки на основе кольцевых и квадратных nTD кремниевых детекторов.

ЕВРОПЕЙСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предложение

в Комитет по времени пролета нейтронов и ISOLDE

Измерение сечений ${}^7\text{Li}(n,n't)$ и ${}^9\text{Be}(n,2n)$ для моделирования blankets, воспроизводящих тритий

8 апреля 2025 г.

${}^6\text{Li}(n,t)\alpha$, ${}^7\text{Li}(n,n't)\alpha$ и ${}^9\text{Be}(n,2n)2\alpha$ в Измерения предлагаются с использованием установки Si-детекторов, разработанной коллаборацией n-TOF для обнаружения продуктов реакции ${}^6\text{Li}(n,t)\alpha$, ${}^7\text{Li}(n,n't)\alpha$ и ${}^9\text{Be}(n,2n)2\alpha$ ${}^3\text{H}$ и ${}^4\text{He}$.

Два кольцевых детектора установлены на прямом и обратном направлении, образец (коричневый) находится на расстоянии 7 см от переднего кольцевого детектора

Фольги ${}^9\text{Be}$ имеются в продаже с высокой чистотой и толщиной всего 5 мкм, что близко к оптимальной толщине, предложенной симуляциями.

Не будет необходимости в механической обработке образца, что позволит избежать опасности для здоровья.



Forschungszentrum Jülich GmbH

S.M. Qaim (Ed.)

Nuclear Data

for Science and Technology

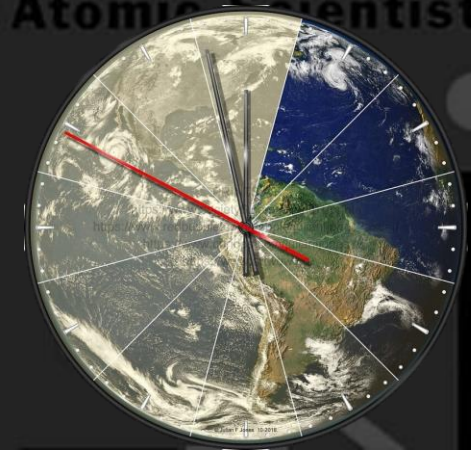
Research Reports

- Nuclear reaction measurements.
- Nuclear structure.
- Decay data.
- Facilities & instruments.
- Sample preparation.
- Fission and spallation.
- Nuclear data for reactors (thermal & fast, ADS, SMR, MSR, ATF).
- Nuclear fusion.
- Nuclear astrophysics and space applications.
- Medical applications.
- Criticality safety.
- Isotope production.
- Nuclear theory.
- Monte Carlo simulation.
- Machine learning.
- Nuclear data evaluation.
- Standards.
- Integral experiments and validation.
- Dissemination.
- Education, training and



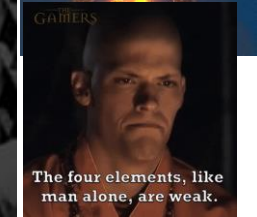
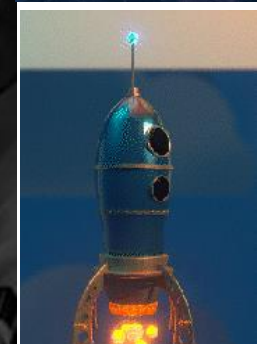
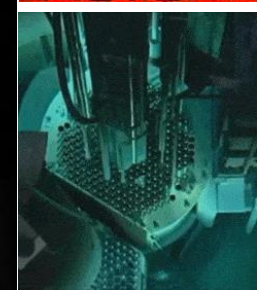
Часы Судного дня в настоящее время установлены на 100 секунд до полуночи. Это самое страшное предупреждение, которое когда-либо выпускал Bulletin!

Bulletin of the Atomic Scientists

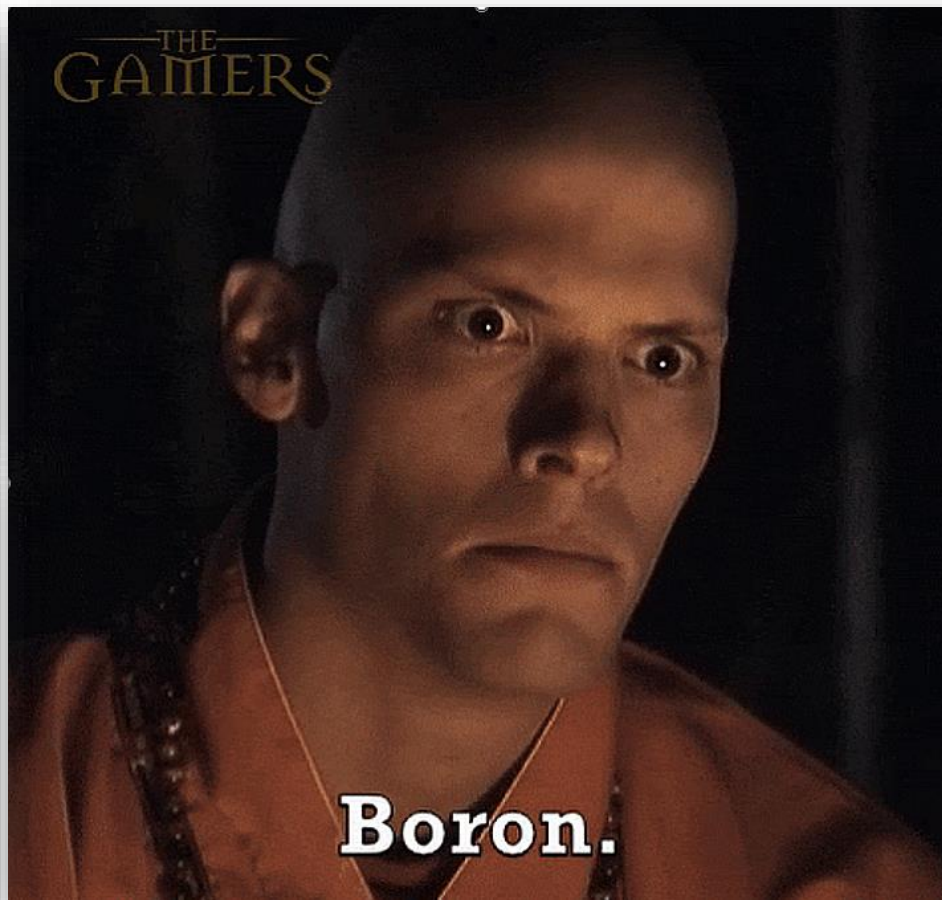
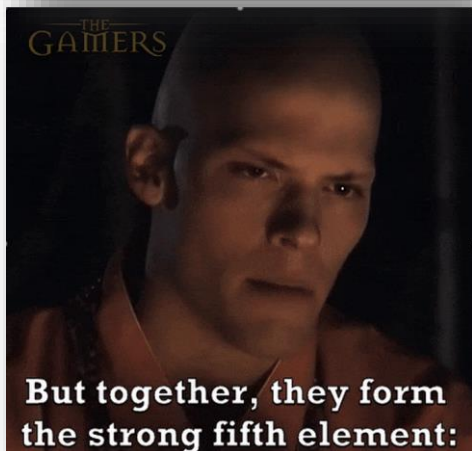


Освобожденная сила атома изменила все, кроме нашего мышления. Таким образом, мы дрейфуем к катастрофе за пределами понимания. Нам потребуются существенно новый способ мышления, если человечество хочет выжить.
— Альберт Эйнштейн

WASHINGTON, D.C. – January 23, 2020



СПАСИБО за ВНИМАНИЕ



5



B

Boron
10.81
p:5
n:6

Функции БОРА в растениях

