

А. Сарсенов, чл.-корр. НАЕН РК,
профессор Евразийского национального
университета им. Л. Н. Гумилева,
Е. Т. Абсеитов, доцент Евразийского
национального университета им. Л. Н. Гумилева,
А. М. Серикбаева, магистр Евразийского
национального университета им. Л. Н. Гумилева,
А. Базарбек кызы, магистр Евразийского
национального университета им. Л. Н. Гумилева,
г. Нур - Султан, Республика Казахстан.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНОГО ИЗОТОПА КАЛИЙ-40 ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МЮОННОЙ ТОМОГРАФИИ

Аннотация: Предложенный способ относится к области ядерной физики, в частности к способам измерения дозы излучения для проведения мюонной томографии, и может быть использована для обнаружения и относительного измерения уровня, преимущественно мюонной компоненты, космического излучения для проведения мюонной томографии.

Техническим результатом является использование для мюонографии зависимости скорости распада изотопа калия - 40 от степени и времени экранирования образца изотопа калий - 40 крупно - габаритными объектами различной геометрической формы из разных материалов.

Это - достигается тем, что в способе измерения дозы излучения для проведения мюонной томографии, величину изменения потоков мюонов в точке пространства определяют, по изменению удельной радиоактивности природного изотопа калия - 40, а по разнице удельных радиоактивностей в контрольном опыте и в эксперименте определяют степень экранирования упомянутой точки пространства выше - расположенными массивными объектами природы.

Ключевые слова: томография, изотоп, калий – 40, дозы излучения, радиография, мюоны, электроны, радиография.

А. Сарсенов, КР УТИА мүчө-корреспонденти,
Л. Н. Гумилев атындагы Евразия улуттук
университетинин профессору,
Е. Т. Абсеитов, Л. Н. Гумилев атындагы
Евразия улуттук университетинин доценти,
А. М. Серикбаева, Л. Н. Гумилев атындагы
Евразия улуттук университетинин магистры,
А. Базарбек кызы, Л. Н. Гумилев атындагы
Евразия улуттук университетинин магистри,
Нур - Султан, Казакстан Республикасы.

ТАБИГЫЙ КАЛИЙ 40 ИЗОТОПУН МЮОН ТОМОГРАФИЯСЫНЫН
МАКСАТЫНДА ПАЙДАЛАНУУ

Аннотация: Сунушталган ыкма ядролук физика тармагына таандык, атап айтканда, чоң томографиясы үчүн нурлануу ченемин өлчөө ыкмаларына карата жана мюондун томографиясы үчүн космостук нурлануу деңгээлин, негизинен, мюондун компонентинин деңгээлин жана ишенимдүү ченөөнү аныктоо үчүн колдонулушу мүмкүн.

Техникалык натыйжа болуп мюнография үчүн изотоп калий – 40ты экрандоодо ар кандай материалдардан курулган ар кандай геометриялык көлөмдүү объекттердин үлгүсүн ылдамдыгы жана узактыгына жараша изотоп калий – 40ты колдонуу болуп саналат.

Бул мюонду томография үчүн нурлануу дозасы, өлчөө ыкмасы деп жетишилген, пайдалуу моделге ылайык, мейкиндик - пунктунда баллга мюонды томография агымы өзгөрүүлөр табигый изотоптун калий - 40 атайын иш өзгөрүшүнө менен аныкталат, жана контролдоо экспериментте жана эксперименттер белгилүү радиоактивдүү айырма тасмасы даражасын аныктайт массалык жаратылыш объекттери боштук чекити суунун билдирди.

Ачкыч сөздөр: томография, изотоп, калий - 40, нурлануу өлчөмү, радиография, мюондор, электрондор, радиография.

A. Sarsenov,
Professor of Eurasian national university
named after L. N. Gumilyov,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan,
E. T. Abseitov.,
associate professor of Eurasian national university
named after L. N. Gumilyov,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan,
A. M. Serikbayeva,
master of Eurasian national university
named after L. N. Gumilyov,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan,
A. Bazarbekkyzy,
master of Eurasian national university
named after L. N. Gumilyov,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan.

USE OF THE NATURAL ISOTOPE POTASSIUM – 40 FOR MUON TOMOGRAPFY

Abstract: the Utility model relates to the field of nuclear physics, in particular to methods for measuring radiation dose for muon tomography and can be used for detection and relative measurement of the level, mainly of the muon component, of cosmic radiation for muon tomography.

The technical result is the use for muonography of the dependence of the decay rate of the potassium-40 isotope on the degree and time of screening of the sample of the potassium-40 isotope by large objects of different geometric shapes from different materials.

This is achieved in that in the method of measuring dose of radiation for carrying out muon tomography, according to the utility model, the magnitude of the change of muon flux at the point in space is determined by the change of the specific radioactivity the natural isotope potassium-40, and the difference of the specific radioaktivnosti in a control experiment and in the experiment

to determine the degree of shielding of the above-mentioned upstream point of space by massive objects the nature

Key words: tomography, isotope, potassium - 40, radiation doses, radiography, muons, electrons, radiography.

Введение. Работа, относится к области ядерной физики, в частности к способам измерения дозы излучения для проведения мюонной радиографии и может быть использована для обнаружения и относительного измерения уровня, преимущественно мюонной компоненты, космического излучения для проведения мюонной томографии.

В настоящее время одним из быстро развивающихся направлений науки и техники является мюонная радиография, которую используют для просвечивания массивных объектов на земле. Мюон является, элементарной частицей с зарядом, равным заряду электрона и в 200 раз тяжелее его.

Мюоны, в основном образуются в верхних слоях атмосферы и обладают высокой проникающей способностью по сравнению с альфа - бета, и гамма излучением. Скорость мюона доходит до 0,995 скорости света. Мюоны космических лучей с энергией больше 10^{12} электрон - вольт регистрируют на глубине в несколько км. Большая проникающая способность при высоких энергиях позволяет легко выделять, мюоны среди других заряженных частиц, например альфа и бета-излучение, по их способности проходить через препятствия значительной толщины (в несколько метров) фильтры, в частности, из железобетона, горных пород, камня и др.

На уровне моря мюоны составляют 2/3 потока заряженных частиц в составе космического лучей [1, с. 106].

Указанные свойства мюонов позволяют использовать их для обнаружения пустых полостей в пирамидах, вулканах и массивных искусственных сооружениях. Рассеяние мюонов сильно зависит от плотности вещества, через которые проходят эти частицы, поэтому их применяют для оценки плотности, состава и природы просвечиваемых материалов, например на таможенной службе, вулканологии, археологии, повреждений на ядерных реакторах.

Результаты исследования. Более широкое применение мюонов в различных областях тормозит сложность и высокая стоимость изготовления мюонных датчиков. Поэтому, нами предлагается более доступный, несложный и недорогой способ, измерения дозы излучения, преимущественно мюонной составляющей космического излучения, который основан на изменении потоком мюонов удельной радиоактивности галоген - и кислородсодержащих соединений калия, например его солей (KCl , K_2SO_4) или гидроксида (KOH). Эти вещества содержат долгоживущий природный изотоп калий-40 с периодом полу- превращения $1,3 \times 10^9$ лет. Ядро и атом изотопа $K-40$ распадаются по механизму электронного k -захвата ($\approx 10\%$) и бета-излучение ($\approx 80\%$).

Известно, что скорость k -захвата зависит, от природы окружающих атомов в соединениях, а мюоны способны катализировать скорость ядерных реакций [2, с. 3-38].

Известен, способ регистрации воздушного радиоактивного выброса по оптической флуоресценции воздуха, основанный на измерении интенсивного оптического излучения этого выброса фотометрической установкой с использованием трех оптических фильтров в «рабочих» областях спектра: 400-420, 430-450; 460-480 нм.

Эти области спектра соответствуют спектральному диапазону характеристического излучения двухзарядных положительных ионов кислорода, образующихся при взаимодействии проникающей рентгеновской и гамма радиации с газами атмосферы. Показания оптических фильтров с полосой пропускания вне указанных «рабочих» областей, вычитают из показаний фотометрической установки в «рабочих» областях спектра [3].

Недостатками данного способа являются наличие специального дорогостоящего оборудования в виде фотометрической установки и специальных фильтров, использование в высотных слоях атмосферы и неиспользование на поверхности Земли, невозможность применения для целей мюонной радиографии на Земле.

Известен другой способ измерения дозы излучения для проведения мюонной томографии, заключающийся в том, что исследование геологических структур проводится путем нескольких измерений интенсивности мюонов в различных точках под Землей. Трехмерный анализ позволяет определить распределение полезных минералов на исследуемом участке [4].

Недостатками этого способа являются необходимость размещения детекторов под землей, что требует значительных затрат, а также для проведения томографического анализа требуется довольно большое число измерений, что значительно увеличивает время томографии.

Задачей нашей работы является разработка способа измерения дозы излучения для проведения мюонной томографии с достижением требуемой точности измерений и снижения стоимости измерений.

Техническим результатом является использование для мюонографии зависимости скорости распада изотопа калий-40 от степени и времени экранирования образца изотопа калий-40 крупногабаритными объектами различной геометрической формы из разных материалов.

Это, достигается тем, что в предлагаемые нами способы измерения дозы излучения для проведения мюонной томографии, величину изменения потока мюонов в точке пространства определяют по изменению удельной радиоактивности природного изотопа калий – 40. А по разнице удельных радиоактивностей в контрольном опыте и в эксперименте определяют степень экранирования упомянутой точки пространства выше расположенными массивными объектами природы.

Экспериментально, нами установлено, что интенсивность космического излучения (преимущественно его мюонной составляющей), в случае экранирования излучения массивными предметами и сооружениями на поверхности Земли, влияет на скорость электронного k-захвата природного изотопа калий - 40. При этом калий находится в виде кислорода или галогенсодержащих неорганических соединений (KCl, KNO₃, K₂SO₄, KOH, K₂CO₃ и др.) [5, с. 215].

Указанный эффект предлагается использовать для идентификации и измерения относительного изменения дозы мюонной компоненты космического излучения в данной точке пространства, экранированной каким-либо предметом (или сооружением) по отношению к другой (неэкранированной точке пространства).

Теоретическим обоснованием данного способа является теория упругого рассеяния мюонов при прохождении их через слои вещества, а также наличие реакций электронного бета-распада и k-захвата ядер радиоактивных элементов, на скорость которых влияет интенсивность потока мюонов:

(бета-распад) ${}^{40}_{19}\text{K} \rightarrow {}^{40}_{20}\text{Ca} + \bar{e} + \tilde{\nu}$ (вероятность 89,28%);

(k-захват) ${}^{40}_{19}\text{K} + \bar{e} \rightarrow {}^{40}_{18}\text{Ar} + \tilde{\nu}$ (вероятность 10,72%).

Как известно, мюны, являясь частицей материи в 200 раз тяжелее электрона, способны образовать мезоатомы, в которых первая «Мюонная» орбита в 200 раз ближе к ядру, чем обычная электронная k-орбита. Мезоатом, обладая повышенной энергией, увеличивает неустойчивость системы ядро - электронная оболочка атома и тем самым увеличивает вероятность распада, т.е. катализирует указанные ядерные реакции изотопа калий - 40.

Применение способа измерения относительного изменения дозы для целей мюонной томографии в данной точке пространства включает следующие этапы:

1) определяют, удельную активность двух образцов галоген - или кислородосодержащих соединений калия (мкзв/час.кг.) с общей массой не менее 3 кг (KCl, KNO₃, K₂SO₄, KOH, K₂CO₃ и т.п.), с учетом того соотношения, что в природном калии содержится 0,01171% радиоактивного изотопа K-40. Определение можно проводить с дозиметром, в частности, типа SOEKS российского производства (измерения проводят в мкзв/час.кг.);

2) один образец помещают под исследуемое сооружение (объект) или внутри него в течении нескольких дней (около 7-10 суток), а второй образец выдерживают это же время вне изучаемого объекта (контроль);

3) с помощью дозиметра, после экспозиции двух образцов, определяют удельную радиоактивность каждого образца, так же как это определяли в п.1., за вычетом показаний фона. Измерения проводят не менее 10 раз (мкзв/час.кг.);

4) проводят, статистическую обработку полученных результатов с помощью, например критерия Стьюдента;

5) по количественному изменению скорости счета, т.е. по разности значений, определяют относительное изменение удельной активности в

контрольном образце и в эксперименте (на исследуемом опытном образце). Затем, делают заключение о степени экранирования опытного образца наземными сооружениями (например, храмы, терриконы, горные выработки пирамиды и т.п.) или природными объектами (горы, холмы, и т.п.).

Следует отметить, что увеличение степени экранирования опытного образца, при прочих равных (идентичных) условиях, увеличивает измеренную удельную радиоактивность соединений калия по отношению к контрольному образцу. Такой эффект связан с тем, что, при экранировании образца, уменьшается поток падающих на него атмосферных мюонов (катализаторов распада изотопа $K - 40$). Поэтому измеряемая нами удельная активность в опыте остается большей, чем в контроле. Способ можно использовать для демонстрации явления мюонного катализа ядерных реакций, при обучении бакалавров и магистрантов соответствующих специальностей.

К этому можно добавить, что предлагаемый способ с точки зрения радиозащиты не опасен, т.к. в нем используют только природные, недорогие, недефицитные соединения калия, широко используемые в обычных химических лабораториях и в народном хозяйстве.

Пример проведения измерений.

Два полиэтиленовых сосудов с крышками (цилиндрические банки с диаметром 25 см и высотой 30 см), содержащих гидроксид калия в количестве около 3 кг. взвешивают с точностью до граммов, измеряют не менее 10 раз скорость счета от распада природного радиоактивного изотопа, положив дозиметр SOEKS на крышку сосуда. После статистической обработки результатов, получали начальную величину средней активности, равную 39 ± 2 мкзв/час кг.

Затем помещают на 10 суток одну банку под высотное здание (высота 95 м. - колокольня Успенского собора в г. Астана). Вторую банку (контроль) выдерживали, это же время, вне указанного помещения на расстоянии 50 метров. По окончании эксперимента, повторно измеряли удельную активность образцов калия гидроксида, которые оказались равными, соответственно, для контроля и эксперимента, 30 ± 3 мкзв/час.кг и 37 ± 3 мкзв/час.кг. По величине разнице между этими величинами (7 мкзв/час.кг) или 23,3% по отношению к контролю, делаем заключение о степени экранирования потока мюонов в данном эксперименте.

Заключение. Степень экранирования мюонов позволяет судить о характеристиках и свойствах экрана – крупных или массивных природных и искусственных сооружениях разной геометрической формы на поверхности Земли.

Таким образом, предложен экономически выгодный, экологически обоснованный и безопасный, по сравнению с известными способами, новый способ мюонной томографии, в котором изменение величины потока мюонов определяют по относительному изменению удельной радиоактивности природного изотопа калия - 40 в контрольном опыте и в эксперименте.

При увеличении времени экспозиции увеличивается точность измерений. Достаточно высокая точность достигается при наборе за определенный промежуток времени не менее 10.000 актов радиоактивного распада изотопа калий - 40.

В качестве вывода, по данной статье можно сделать заключение, что нами предложен метод измерения дозы излучения для проведения мюонной томографии, отличающийся тем, что величину изменения, потока мюонов в точке пространства определяют по изменению удельной радиоактивности природного изотопа калий - 40, а по разнице удельных радиоактивностей. В контрольном опыте и в эксперименте определяют степень экранирования упомянутой точки пространства выше расположенными массивными объектами природы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Васильченко Ю. В. Мюонная томография. Способ томографического контроля / Г. Н. Дудкин, В. Н. Падалко. – М.: 2000. – 106 с.
2. Герштейн С. С. Мюонный катализ и ядерный бридинг. Успехи физических наук: Учебное пособие / Ю. В. Петров, Л. И. Пономарев. – М.: Наука, 1998. – 338 с.
3. Pat. 2603829 CA A1, G01V5/00. Geological tomography using cosmic rays/ D. Brayman. – pub. 26.07.2007.
4. Pat. 7945105 US B1, G06K 9/36. Automated target shape detection for vehicle muon tomography/ Н.М. Jaenisch. - pub. 17.05.2011.
5. Карякин Ю.В. Чистые химические вещества: Учебник /И. И. Ангелов. – М.: Баллас, 2010. – 215 с.