

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Қазақстан Республикасының
Ғылым Академиясының
им. аль-Фараби

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
Al-Farabi
Kazakh National University

SERIES
PHYSICO-MATHEMATICAL

2 (336)

MARCH – APRIL 2021

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series physico-mathematical journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of chemistry and technologies in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of chemical sciences to our community.

Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы "ҚР ҰҒА Хабарлары. Физикалық-математикалық сериясы" ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді химиялық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.

НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия физико-математическая» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по химическим наукам для нашего сообщества.

Б а с р е д а к т о р
ф.-м.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі
Ғ.М. Мұтанов

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Асанова А.Т. проф. (Қазақстан)
Бошкаев К.А. PhD докторы (Қазақстан)
Байгунчеков Ж.Ж. проф., академик (Қазақстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика)
Жүсіпов М.А. проф. (Қазақстан)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Калимолдаев М.Н. проф., академик (Қазақстан)
Михалевич А.А. проф., академик (Белорусь)
Мырзакулов Р. проф., академик (Қазақстан)
Рамазанов Т.С. проф., академик (Қазақстан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Қазақстан), бас ред. орынбасары
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)
Уалиев З.Г. проф., чл.-корр. (Қазақстан)
Харин С.Н. проф., академик (Қазақстан)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математикалық сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінің Ақпарат комитетінде
14.02.2018 ж. берілген № 16906-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *физика-математика ғылымдары және ақпараттық
технологиялар саласындағы басым ғылыми зерттеулерді
жариялау.*

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219 бөл.;
тел.: 272-13-19; 272-13-18

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2021

Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Мұратбаева көш., 75.

Главный редактор
д.ф.-м.н., проф. академик НАН РК
Г.М. Мутанов

Редакционная коллегия:

Асанова А.Т. проф. (Казахстан)
Бошкаев К.А. доктор PhD (Казахстан)
Байгунчечков Ж.Ж. проф., академик (Казахстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика)
Жусупов М.А. проф. (Казахстан)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Калимолдаев М.Н. проф., академик (Казахстан)
Михалевич А.А. проф., академик (Беларусь)
Мырзакулов Р. проф., академик (Казахстан)
Рамазанов Т.С. проф., академик (Казахстан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Казахстан), зам. гл. ред.
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)
Уалиев З.Г. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Харин С.Н. проф., академик (Казахстан)

«Известия НАН РК. Серия физика-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и коммуникаций Республики Казахстан № 16906-Ж, выданное 14.02.2018 г.

Тематическая направленность: *публикация приоритетных научных исследований в области физико-математических наук и информационных технологий.*

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219; тел.: 272-13-19; 272-13-18

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2021

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

doctor of physics and mathematics, professor, academician of NAS RK

G.M. Mutanov

Editorial board:

Asanova A.T. prof. (Kazakhstan)

Boshkayev K.A. PhD (Kazakhstan)

Baigunchekov Zh.Zh. prof., akademik (Kazakhstan)

Quevedo Hemando prof. (Mexico)

Zhusupov M.A. prof. (Kazakhstan)

Kovalev A.M. prof., academician (Ukraine)

Kalimoldaev M.N. prof., akademik (Kazakhstan)

Mikhalevich A.A. prof., academician (Belarus)

Myrzakulov R. prof., akademik (Kazakhstan)

Ramazanov T.S. prof., akademik (Kazakhstan)

Takibayev N.Zh. prof., academician (Kazakhstan), deputy editor in chief.

Tiginyanu I. prof., academician (Moldova)

Ualiev Z.G. prof., chl.-korr. (Kazakhstan)

Kharin S.N. prof., academician (Kazakhstan)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Communications of the Republic of Kazakhstan **No. 16906-Ж**, issued on 14.02.2018.

Thematic scope: *publication of priority research in the field of physical and mathematical sciences and information technology.*

Periodicity: 6 times a year.

Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19; 272-13-18

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2021

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str., Almaty.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2, Number 336 (2021), 152 – 156

<https://doi.org/10.32014/2021.2518-1726.35>

УДК 539.12

МРНТИ 29.05.01, 29.05.27

Л.И. Вильданова, О.А. Новолодская, Т. Х. Садыков, Д.О. Кантарбаева

Satbayev University, Физико-технический институт, Алматы, Казахстан.

E- mail: din.oralbaevna@gmail.com

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОНОВ
НИЗКОЙ ЭНЕРГИИ НЕЙТРОННЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ
НА ОСНОВЕ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ СЧЕТЧИКОВ ^3He**

Аннотация. При анализе результатов, получаемых в измерениях на нейтронных детекторах с низким энергетическим порогом, необходимо знать зависимость эффективности регистрации нейтронов от их кинетической энергии в информационных каналах различного типа, как для «открытых» нейтронных счетчиков, так для счетчиков, окруженных замедлителем. Имея построенную на основе пакета Geant4 физическую модель взаимодействия частиц, можно провести расчет эффективности регистрации для различных типов детекторов, которые применяются в проводимых на Тянь-Шаньской высокогорной станции экспериментах, связанных с регистрацией нейтронного потока. В работе представлено несколько программных моделей, разработанных для нейтронных детекторов.

Ключевые слова: нейтрон, нейтронный детектор, нейтронный монитор, эффективность регистрации, физическая модель.

Введение. В исследованиях, проведенных на ливневой установке, расположенной на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции, были получены свидетельства об аномально высокой множественности испарительных нейтронов, которые генерируются внутри нейтронного монитора при попадании в него стволов широких атмосферных ливней [1-3]. В результате возник вопрос о поведении низкоэнергичной составляющей нейтронного потока (тепловых нейтронов), сопровождающего прохождение ШАЛ [4]. В соответствии с этим, на Тянь-Шаньской станции проводится эксперимент по детектированию тепловых нейтронов и связанного с ними потока низкоэнергичных гамма-квантов в центральной области ШАЛ [5-7]. Для регистрации нейтронов низкой энергии используется система специальных нейтронных детекторов на основе газоразрядных счетчиков ^3He , которые, в отличие от конфигурации нейтронного монитора, работают вне каких-либо слоев тяжелого вещества мишени и легкого замедлителя. В этом случае роль мишени для взаимодействия энергичных адронов космических лучей играют окружающие детектор объекты, прежде всего, грунт Тянь-Шаньской станции, а замедление образующихся в этих реакциях испарительных нейтронов происходит непосредственно при их распространении во внешней среде. Такая конструкция обеспечивает минимальный порог регистрации, и наиболее эффективным подобный детектор оказывается в тепловом диапазоне энергий (порядка 10^{-2} эВ) налетающих нейтронов.

Модель нейтронного детектора

Основой для расчетов служит модель нейтронного счетчика ПД631, которая представлена на рисунке 1.

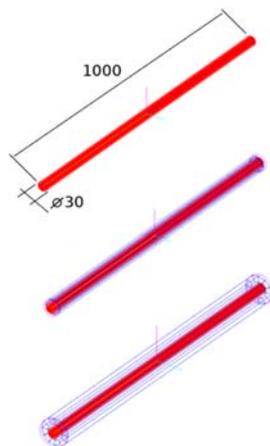


Рисунок 1 - Геометрическая модель нейтронного счетчика ПД631

Геометрия счетчика определялась в виде цилиндра с диаметром 30 мм и длиной 1000 мм. Предполагается, что ограничивающая цилиндрический объем внешняя оболочка состоит из алюминия толщиной 1 мм. Внутреннее пространство модельного счетчика полагается заполненным смесью аргона и гелия с параметрами (давление, температура, химический и изотопный состав), соответствующими характеристикам реальных счетчиков ПД631. Вместе с базовой моделью «открытого» счетчика рассматриваются также и счетчики, находящиеся внутри цилиндрического замедлителя нейтронов. В соответствии с конфигурацией реальных детекторов, в двух вариантах модели рассматриваются замедлители в виде цилиндрических труб из поливинилхлорида (ПВХ) с толщиной стенки 6 мм и из парафина толщиной 20 мм. Помимо отдельных счетчиков ПД631, расчеты проводились для нейтронного детектора в сборе. Модель для такого варианта расчетов показана на рисунке 2.

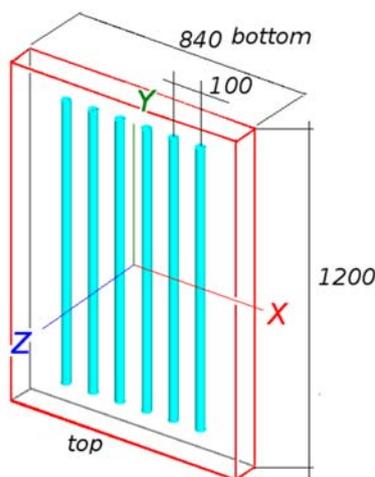


Рисунок 2 - Геометрическая модель нейтронного детектора в сборе

В этой геометрии отдельные счетчики располагаются в ряд на расстоянии 10 см друг от друга таким образом, чтобы их оси были параллельны, и весь их набор помещался внутри алюминиевого контейнера с размерами $120 * 84 * 10 \text{ см}^3$ и с толщиной стенки 2 мм. Предполагается, что вмещающий контейнер заполнен атмосферным воздухом, находящимся при нормальных условиях.

Расчет эффективности регистрации нейтронов

Серия расчетов для всех вариантов модельных детекторов состояла из ряда отдельных розыгрышей (порядка 10^6 модельных событий), в каждом из которых на детектор падали первичные нейтроны с одной и той же кинетической энергией E_n . Как траектория самого

первичного нейтрона, так и траектории образованных в результате его взаимодействий частиц-продуктов отслеживались целиком на протяжении всего расчетного события. В соответствии с принципом работы реальных счетчиков ПД631, действие которых основано на ядерной реакции $n(^3\text{He}, ^3\text{H}) p$, критерием «регистрации» первичного нейтрона в модельном детекторе служило появление среди частиц-продуктов пары заряженных частиц протон/тритон во внутреннем объеме одного из нейтронных счетчиков. В качестве оценки для эффективности регистрации $\varepsilon(E_n)$ данной конфигурации детектора по отношению к нейтронам с энергией E_n использовалось отношение количества «зарегистрированных» нейтронов к общему числу разыгранных событий. Таким образом, как вероятность развития электронной лавины внутри газоразрядного счетчика при образовании внутри него пары заряженных ядер, так и вероятность генерации вследствие этого счетчиком электрического импульса на его анодной нити полагались стопроцентными, а какое-либо влияние формирующих сигналы электронных цепей на эффективность детектора не учитывалось.

Для исследования характеристик нейтронного детектора, соответствующих различным условиям постановки эксперимента, были проведены три серии модельных расчетов. В расчетах первой серии с «оптимальными» начальными условиями исходное положение всех первичных нейтронов в начале каждого розыгрыша задавалось непосредственно на поверхности цилиндрической стенки «открытого» счетчика, а их импульс всегда был направлен в сторону внутреннего пространства счетчика, по нормали к его поверхности. Целью этих расчетов было определить энергетическую зависимость эффективности одного индивидуально взятого нейтронного счетчика ПД631, который рассматривается вне зависимости от какого-либо внешнего окружения.

Во второй серии расчетов шесть модельных счетчиков объединялись в единую модель нейтронного детектора в соответствии с требованиями большинства экспериментов на Тянь-Шаньской научной станции. В качестве начального положения первичных нейтронов в этом варианте расчетов использовались случайные точки на внешней поверхности, содержащей набор счетчиков алюминиевой коробки, а направление вектора начального импульса для первичных частиц задавалось путем розыгрыша значений его направляющих косинусов согласно равномерному распределению на интервале $[0;1]$. Таким образом, данный вариант расчетов соответствует случаю детектора из шести счетчиков ПД631 в сборе, помещенному в изотропный поток налетающих нейтронов. Очевидно, что наличие пространственных зазоров между отдельными счетчиками в составном детекторе, который рассматривается как единое целое, а также случайное распределение направлений движения первичных частиц в этом варианте расчетов должны приводить к тому, что суммарная эффективность регистрации нейтронов для такого детектора должна быть заметно ниже, чем в случае «оптимальной» конфигурации пучка первичных нейтронов для единственного счетчика.

В третьем варианте расчетов были учтены специфические условия измерений, которые проводятся на установках Тянь-Шаньской высокогорной станции. Поскольку основное назначение таких установок заключается в регистрации частиц широких атмосферных ливней, естественно ожидать, что среди потока налетающих на детектор нейтронов могут преобладать частицы, движущиеся в вертикальном направлении. В этом случае вместо расчетов с полностью изотропным начальным распределением первичных частиц может оказаться более адекватным моделирование, при котором положение первичных нейтронов задается случайным образом на поверхности только одной из сторон модельного детектора из четырех, а распределение их первичных импульсов строго фиксировано: все первичные частицы в начальный момент времени движутся параллельно оси Z , в сторону, противоположную ее направлению. Такое начальное распределение первичных нейтронов было принято в третьей серии модельных расчетов.

Результаты, полученные при моделировании процесса регистрации нейтронов для всех трех вариантов конфигурации детектора, представлены на рисунке 3.

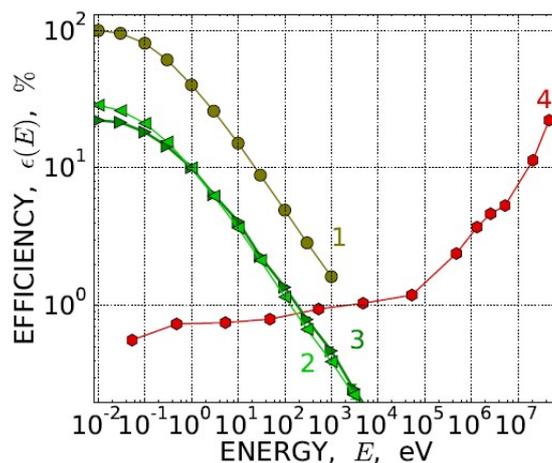


Рисунок 3 - Эффективность регистрации нейтронов детекторами различных конфигураций по результатам модельных расчетов.

1 – нейтронный счетчик ПД631 без замедлителя; 2 и 3 – нейтронный детектор из шести счетчиков ПД631 в перпендикулярном его «верхней» поверхности и в изотропном потоке нейтронов; 4 – нейтронный монитор NM64

Линией (1) на графике рисунка 3 показана энергетическая зависимость эффективности счетчика ПД631 по отношению к регистрации нейтронов при максимально благоприятных начальных условиях (первичный нейтрон, находящийся непосредственно на поверхности счетчика с направленным по нормали к его поверхности импульсом). Как видно по этому графику, в таком «оптимальном» варианте расчетов, который играет роль верхнего предела для возможной эффективности, результирующее распределение достигает практически 100% в диапазоне тепловых энергий, спадает до 50% при энергии порядка 1 эВ и до 1% - в области нескольких кэВ.

В более реалистичном варианте расчетов с изотропным начальным распределением положений и импульсов первичных частиц, результаты которых показаны линией (2) на рисунке 3, зависимость суммарной эффективности детектора из шести разделенных зазорами счетчиков ПД631 сохраняет свой максимум в области тепловых энергий, но величина этого максимума снижается до уровня порядка 20%. Практически такими же значениями эффективности оказываются и в случае равномерного распределения первичных частиц по верхней стороне детектора, как это отражено на рисунке 3 линией (3). Таким образом, согласно данным модельного расчета, оказывается, что вероятность регистрации нейтронов в детекторе практически не зависит от вида углового распределения налетающего на детектор нейтронного потока.

Для сравнения, на том же рисунке 3 посредством линии (4) показана энергетическая зависимость эффективности регистрации нейтронов, которая была получена при моделировании нейтронных взаимодействий для конфигурации супермонитора NM64 в области низких энергий налетающей частицы. Как следует из этой зависимости, эффективность нейтронного супермонитора демонстрирует поведение, прямо противоположное случаю низкопорогового детектора: она остается незначительной вплоть до энергии $E_n \approx 0,1-1$ МэВ, а затем начинает расти по мере увеличения множественности испарительных нейтронов, которые образуются при инициированных энергичными адронами ядерных реакциях внутри тяжелого поглотителя монитора. Таким образом, нейтронный монитор и детекторы на основе не экранированных каким-либо веществом нейтронных счетчиков взаимно дополняют друг друга по своим возможностям.

Выводы. Представленные в работе результаты означают, что сам по себе детектор на счетчиках ПД631 обладает заметной эффективностью с вероятностью регистрации нейтронов $\geq 1\%$, в энергетическом диапазоне, который начинается с тепловых значений и продолжается вплоть до 0,1- 0,3 кэВ. При этом подобный детектор оказывается наиболее чувствительным к нейтронам, обладающим кинетическими энергиями $E_n \approx 0,01-0,1$ эВ, а в области больших энергий его эффективность уменьшается обратно пропорционально $\sqrt{E_n}$.

Данная работа выполнена при поддержке грантового финансирования КН МОН РК, № AP08955730.

Л.И. Вильданова, О.А. Новолодская, Т. Х. Садыков, Д.О. Кантарбаева

Satbayev University, Физика-техникалық институты, Қазақстан, Алматы

**ГАЗ РАЗРЯДТЫ ³HE ЕСЕПТЕГІШТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ТӨМЕН ЭНЕРГИЯЛЫ
НЕЙТРОНДАРДЫ НЕЙТРОНДЫҚ ДЕТЕКТОРМЕН ТІРКЕУДІҢ ТИІМДІЛІГІ**

Аннотация. Энергия шегі төмен нейтрондық детекторлардағы өлшеулерден алынған нәтижелерді талдау кезінде "ашық" нейтрондық есептегіштер үшін де, баяулатқышпен қоршалған есептегіш үшін де әр түрлі типтегі ақпараттық каналдардағы нейтрондарды анықтау тиімділігінің олардың кинетикалық энергиясына тәуелділігін білу қажет. «Geant4» пакеті негізінде тұрғызылған бөлшектердің өзара әрекеттесуінің физикалық моделіне ие бола отырып, Тянь-Шань биік станциясында нейтрондар ағынының тіркелуіне байланысты жүргізілген тәжірибелерде қолданылатын детекторлардың әр түрлі типтері үшін анықтау тиімділігін есептеуге болады. Мақалада нейтрондық детекторлар үшін жасалған бірнеше бағдарламалық жасақтама ұсынылған.

Түйін сөздер: нейтрон, нейтрон детекторы, нейтрон монитормен, тіркеу тиімділігі, физикалық модель.

L.I. Vildanova, O.A. Novolodskaya, T. Kh. Sadykov, D.O. Kantarbayeva

Satbayev University, Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan

**EFFICIENCY OF REGISTRATION OF LOW ENERGY NEUTRONS
BY NEUTRON DETECTORS BASED ON GAS DISCHARGE ³He COUNTERS**

Abstract. When analyzing the results obtained in measurements on neutron detectors with a low energy threshold, it is necessary to know the dependence of the neutron detection efficiency on their kinetic energy in information channels of various types, both for "open" neutron counters, and for counters surrounded by a moderator. Having a physical model of particle interactions based on the Geant4 package, it is possible to calculate the detection efficiency for various types of detectors, which are used in experiments conducted at the Tien Shan high-mountain station related to the registration of a neutron flux. The paper presents several simulation models developed for neutron detectors.

Key words: neutron, neutron detector, neutron monitor, registration efficiency, physical model.

Information about authors:

Vildanova L.I. Candidate of Physical and Mathematical Sciences; Satbayev University, Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan; ludmilavildanova@yandex.kz; <https://orcid.org/0000-0001-8558-9026>;

Novolodskaya O.A. Candidate of Physical and Mathematical Sciences; Satbayev University, Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan; novololga@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1978-2781>;

Sadykov T.Kh. Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Satbayev University, Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan; turlan43@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4349-4616>;

Kantarbayeva D.O. Junior researcher Institute of physics and technology, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, din.orazbaevna@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3891-8733>

REFERENCES

[1] Antonova V.A., Chubenko A.P., Kokobaev M.M. Phenomenon of the anomalous delay of hadronic and electronic components of EAS // Nucl. Phys. B. 1999. Vol. 75A. p. 333–335.

[2] Antonova V.P., Chubenko A.P., Kryukov S.V. Anomalous time structure of extensive air shower particle flows in the knee region of primary cosmic ray spectrum // *J. Phys. G*. 2002. Vol. 28, no. 2. p. 251–266.

[3] Chubenko A.P., Shepetov A L., Antonova V.P. The modern status of anomalous delayed particles effect in the knee region EAS according to the data of Tien Shan Mountain Station // Proceedings of the 28th ICRC. Vol. 3 (HE). Tsukuba, Japan: 2003. p. 69–72.

[4] Antonova V.P., Beisembayev R.U., Borisov A.S., Chubenko A.P., Dalkarov O.D., Kryakynova O.N., Mukhamedshin R.A. New complex EAS installation of the Tien Shan mountain cosmic ray station // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2016. Vol. 832. p. 158–178.

[5] Ryabov V.A., Almenova A.M., Antonova V.P., Beisembayev R.U., Bezshapov S.P., Borisov A.S., Chubenko A.P., Dalkarov O.D. Modern status of the Tien-Shan cosmic ray station // EPJ Web of Conferences. 2017. 145, 12001.

[6] Shepetov A., Chubenko A., Iskakov B., Kalikulov O., Mamina S., Mukashev K., Piscal V., Ryabov V., Saduyev N., Sadykov T., Salikhov N., Tautaev E., Vil'danova L., Zhukov V. Measurements of the low-energy neutron and gamma ray accompaniment of extensive air showers in the knee region of primary cosmic ray spectrum. // *Eur. Phys. J. Plus.* – 2020.- Vol.135. - No 96.

[7] Argyonova A.Kh., Iskakov B., Jukov V.V., Mukashev K.M., Muradov A.D., Piskal V.V., Saduyev N.O., Sadykov T.X., Salihov N.M., Serikkanov A.S., Tautaev E.M., Umarov F.F. The perspective fundamental cosmic rays physics and astrophysics investigations in the Tien-Shan high-mountain scientific station. // News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan - Series of geology and technical sciences. 2019. Vol.6, No. 438. P. 121-138. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.163>

Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

(Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Редакторы: *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов, Р.Ж. Мрзабаева*
Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 15.04.2021.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

11,6 п.л. Тираж 300. Заказ 2.