ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА, 2020, том 83, № 1, с. 84–92

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ И ПОЛЯ

НОВЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ NEWSdm ДЛЯ ПРЯМОГО ПОИСКА ЧАСТИЦ ТЯЖЕЛОЙ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ

© 2020 г. С. А. Горбунов[1)*], Н. С. Коновалова[1)**]
(от имени Коллаборации NEWSdm)

Поступила в редакцию 04.09.2019 г.; после доработки 04.09.2019 г.; принята к публикации 04.09.2019 г.

NEWSdm (Nuclear Emulsions for WIMP Search — directional measurement) — новый международный эксперимент с фотоэмульсионной мишенью для прямой регистрации частиц темной материи. Метод регистрации основан на фиксации направлений траекторий ядер отдачи, образовавшихся в результате упругого взаимодействия ядер мишени с частицами темной материи из галактического гало, что отличает NEWSdm от стандартных низкофоновых экспериментов по поиску частиц темной материи, основанных на анализе годовых модуляций количества зарегистрированных событий. Детектор, одновременно являющийся мишенью, представляет собой блок ядерных эмульсий с уникально высоким пространственным разрешением, достигающимся за счет уменьшения размеров зерен AgBr до ~10 нм, что позволяет осуществлять направленный поиск носителей темной материи в космическом пространстве даже при энергии ядер отдачи не выше 30 кэВ.

DOI: 10.31857/S0044002720010055

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящая статья ставит своей целью познакомить русскоязычного читателя с концепцией нового эксперимента NEWSdm по прямому поиску частиц темной материи (ТМ), начатого международной коллаборацией NEWS в Итальянской национальной лаборатории Гран-Сассо (ЛНГС, от итальянского LNGS — Laboratori Nazionali del Gran Sasso) Национального института ядерной физики Италии (INFN, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare).

В настоящее время существует большое количество косвенных экспериментальных указаний на существование ТМ, среди которых: гравитационное линзирование [1], увеличение скорости расширения Вселенной [2], анизотропия космического микроволнового фонового излучения [3] и другие. Эксперименты по поиску ТМ можно разделить на три основные категории: регистрация взаимодействий частиц темной материи с барионной материей в лабораторных экспериментах (прямое обнаружение), регистрация конечных продуктов астрофизической аннигиляции или распада ТМ (косвенное обнаружение) и получение частиц ТМ на ускорителях. Эксперимент NEWSdm, в котором в настоящее время сотрудничают более 70 ученых из пяти стран (Италии, России, Турции, Южной Кореи и Японии) [4], относится к первой категории экспериментов. Он будет проводиться в подземной части ЛНГС, расположенной в Апеннинах на высоте около 1000 м над уровнем моря под горным массивом на средней глубине около 1400 м (3650 м водного эквивалента). Подземное расположение лаборатории позволяет на много порядков уменьшить фон от космических лучей в экспериментах, требующих высокой чувствительности к редким событиям, таким как взаимодействия частиц ТМ с веществом. Эксперимент NEWSdm нацелен на поиск упругих взаимодействий частиц тяжелой ТМ, так называемых ВИМП-частиц (от английского WIMP — Weakly Interacting Massive Particles), с частицами обычной материи. Наблюдение рассеяния ВИМП-частиц на обычной барионной материи может стать подтверждением того, что предсказываемые частицы образуют гало ТМ в области нашей Галактики, включающей, в том числе, Солнечную систему.

2. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЦ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ

Основными параметрами сигнала при прямой регистрации ВИМП-частиц являются плотность распределения этих частиц в Галактике, их распределение по скоростям в Солнечной системе и сечение рассеяния на нуклонах. Считается, что

[1)] Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия.
[*] E-mail: s.a.gorbunov@mail.ru
[**] E-mail: ninakonovalova@yandex.ru

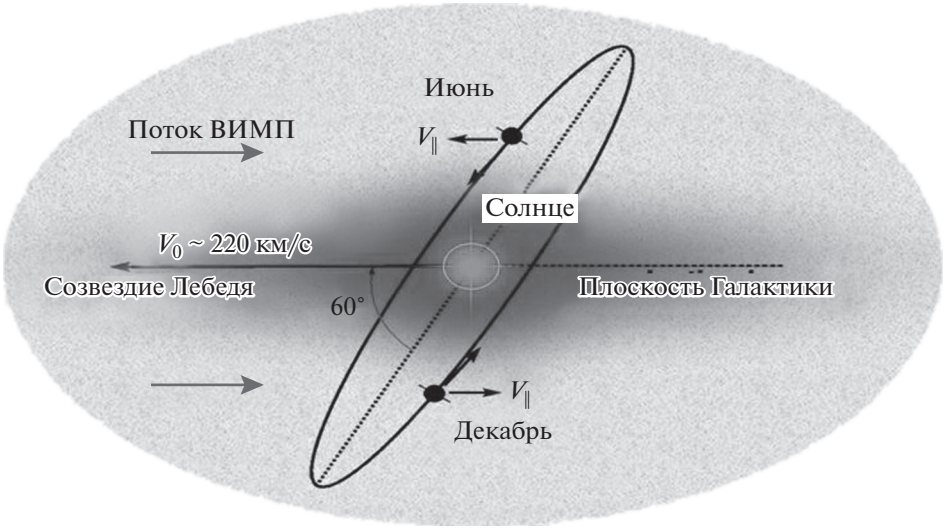

Рис. 1. Ежегодная модуляция скорости счета частиц ТМ.

ВИМП-частицы составляют сферическое гало в нашей Галактике и двигаются хаотически, с максвелловским распределением по скоростям [5, 6]. Благодаря движению Солнечной системы в Галактике на Земле должен регистрироваться направленный поток ВИМП-частиц, а годичное вращение Земли вокруг Солнца с относительной скоростью в Галактической системе координат, которая определяется как $v = 220(1.05 + 0.07\cos[2\pi(t - t_m)])$ км/с (где время исчисляется в годах, а t_m соответствует приблизительно началу июня), создает годичные флуктуации их потока (рис. 1). Максимальная скорость счета ВИМП-частиц ожидается при условиях, когда проекция орбитальной скорости Земли на скорость движения Солнца относительно центра Галактики (и газа ВИМП-частиц) максимальна. Как следствие орбитального и суточного движения детектора вместе с Землей, в нем должна наблюдаться примерно 7%-ная сезонная вариация потока ВИМП-частиц [7] с максимумом, соответствующим началу июня. При достаточно продолжительных наблюдениях эта вариация будет отражаться на скорости счета частиц.

Рис. 2. Скорость счета детектора при регистрации различных ядер отдачи в упругом взаимодействии с ВИМП-частицами. Рисунок из [9].

Скорость счета детектора, испытывающая годичные и суточные вариации, описывается зависимостью [8]

$$R_{\mathrm{WIMP}} \approx \sum_i N_i n_{\mathrm{WIMP}} \langle \sigma_{\mathrm{WIMP-nucleon}} v_{\mathrm{WIMP}} \rangle,$$

где $N_i = M_{\mathrm{detector}}/A_i$ — число ядер мишени типа i в детекторе массы M, A_i — атомный вес ядра типа i, n_{WIMP} — плотность потока ВИМП-частиц, $\langle \sigma_{\mathrm{WIMP-nucleon}} v_{\mathrm{WIMP}} \rangle$ — сечение ВИМП-нуклонного рассеяния, усредненное по скоростям ВИМП-частиц относительно детектора. Прогнозируемая частота событий при упругом взаимодействии ядер с ВИМП-частицами варьируется от 10^{-3} до 1 соб./кг материала детектора в день, в предположении, что масса ВИМП-частицы равна 100 ГэВ, плотность гало ВИМП-частиц составляет 0.3 ГэВ/см^3, а сечение упругого взаимодействия ВИМП-нуклон $\sigma = 10^{-43}$ см^2 [9] (см. рис. 2).

Сообщение о регистрации ВИМП-частиц было получено от коллаборации DAMA, более 20 лет проводящей эксперименты по регистрации сигналов от частиц ТМ в подземной лаборатории Гран-Сассо (см. [10]). В экспериментах DAMA/NaI и DAMA/LIBRA измерялись количество и энергии

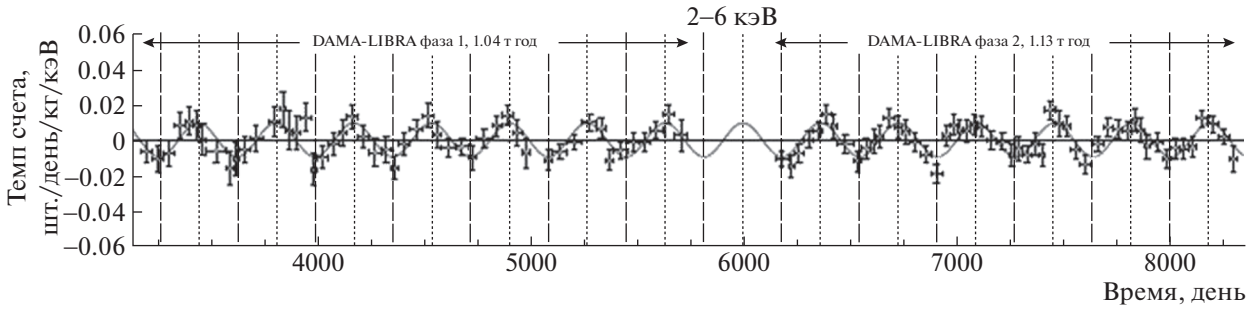

Рис. 3. Зависимость частоты срабатываний детекторов в эксперименте DAMA/LIBRA от времени. Данные аппроксимированы синусоидой с периодом 1 год, максимумы которой приходятся на 2 июня, а минимумы — на 2 декабря. Рисунок из [11].

одиночных вспышек в сцинтилляционном детекторе (йодид натрия NaI с добавлением таллия Tl). В эксперименте DAMA/LIBRA были обнаружены вероятные свидетельства годовой модуляции взаимодействий ВИМП-частиц с веществом детектора [11]. Зарегистрированное в детекторе среднее количество вспышек остается постоянным во времени, за исключением области малых энергий 2–6 кэВ, где наблюдаются слабые (в пределах 1–2%) годичные колебания, зафиксированные с достоверностью сигнала 12.9σ. Частота срабатываний детекторов с ходом времени в области энергий 2–6 кэВ представлена на рис. 3, где показана только переменная часть сигнала, оставшаяся после вычета постоянного фона. Сезонные модуляции сигналов, предположительно от частиц ТМ, были подтверждены в эксперименте CoGeNT (Coherent Germanium Neutrino Technology) в диапазоне энергий 0.5–2 кэВ на гораздо меньшей статистике [12].

Однако результат, полученный в эксперименте DAMA/LIBRA, несмотря на высокую достоверность сигнала, остается спорным по ряду причин. Во-первых, многие эксперименты по поиску ТМ уже частично или полностью исключили область, в которой работает DAMA [13–15] (см. рис. 4).

Во-вторых, на полученный результат могут влиять сезонные вариации мюонов космического происхождения, обусловленные сезонными колебаниями плотности атмосферы. Фон атмосферных мюонов, хотя существенно сниженный, тем не менее присутствует в подземной лаборатории Гран-Сассо. Так, участники российско-итальянского эксперимента LVD в Гран-Сассо в исследованиях с установленным под землей сцинтилляционно-железным телескопом большого объема осуществляли наблюдение вариаций мюонов в течение 2724 сут в период с 2001 г. по 2008 г. [17]. За время наблюдений было зарегистрировано $2.5 \times \times 10^6$ мюонных событий. В эксперименте были обнаружены сезонные вариации мюонов, период которых составляет один год, а максимум интенсивности приходится на июль (рис. 5).

Очевидно, что продукты взаимодействия этих мюонов (электроны, пионы, протоны, нейтроны и γ-кванты) подвержены тем же сезонным вариациям, что и образовавшие их мюоны, и способны имитировать искомые редкие события в широком диапазоне энергий, в том числе в диапазоне поиска частиц ТМ. Поэтому годовые вариации мюонов необходимо учитывать как существенный фактор, который может повлиять на результат при поиске сигналов от частиц ТМ, и сезонная модуляция частиц определенной энергии является недостаточным основанием считать их возможными носителями ТМ.

Вследствие изложенного существует необходимость использования еще по крайней мере одного независимого экспериментального параметра для идентификации событий ТМ, благодаря которому полезный сигнал можно отделить от фона. В эксперименте NEWSdm используется подход, согласно которому таким параметром является направленность траекторий ядер отдачи в упругих взаимодействиях с ВИМП-частицами.

Если, как предполагается, ТМ находится в равновесии с реликтовым излучением, т.е. является “холодной”, движение Солнечной системы через Галактику должно создавать направленный поток частиц ТМ в направлении движения Солнца к созвездию Лебедя. В этом случае для детектирования частиц ТМ может применяться ядерная эмульсия. Направленность траекторий ядер отдачи в ядерной эмульсии в определенном диапазоне энергий (длин треков) при наличии сезонной модуляции будет являться выраженным сигналом от частиц галактической ТМ за пределами когерентного нейтринного фона.

3. ДЕТЕКТОР ЭКСПЕРИМЕНТА NEWSdm

NEWSdm — это первый эксперимент с твердотельной мишенью для прямого поиска частиц ТМ

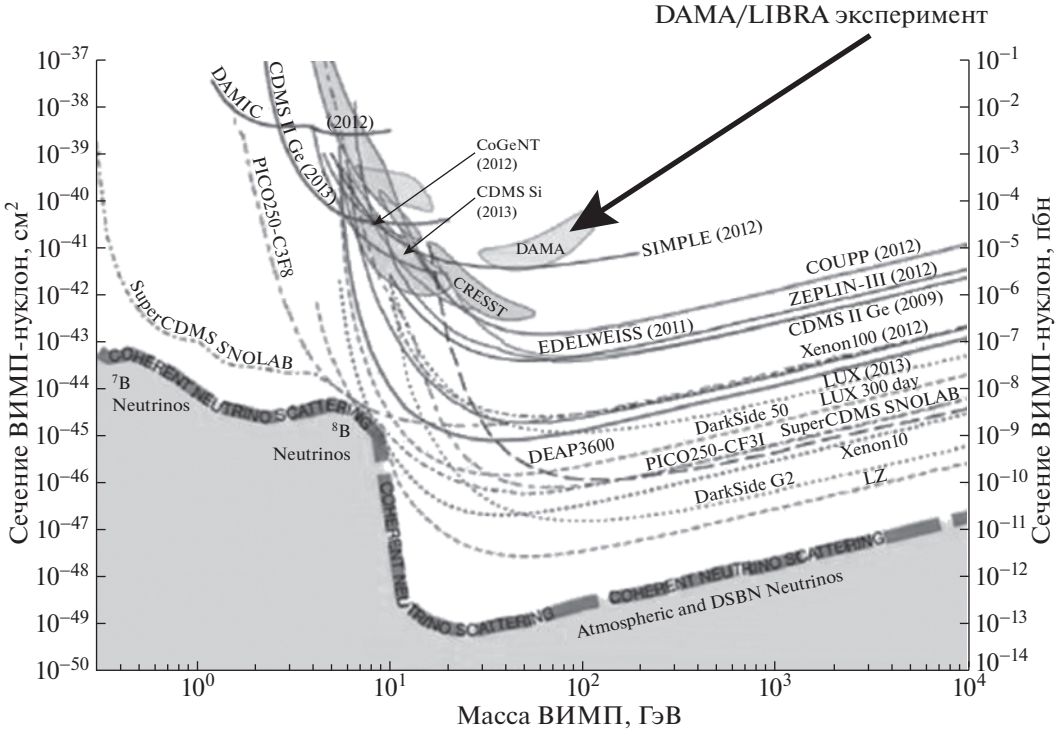

Рис. 4. Спин-независимые интервалы поперечного сечения взаимодействия ВИМП-нуклон в зависимости от массы ВИМП-частиц для различных экспериментов. Рисунок из [16].

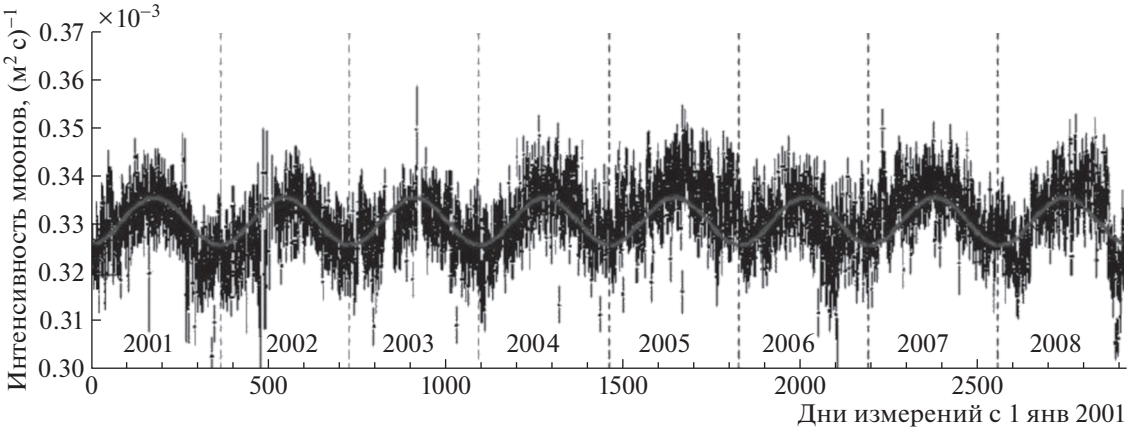

Рис. 5. Интенсивность мюонов за 8 лет работы установки LVD в подземной лаборатории Гран-Сассо. Каждый бин соответствует одному дню, начиная с 1 января 2001 г. по 31 декабря 2008 г. Рисунок из [17].

с помощью высокочувствительных ядерных эмульсий с наноразмерными зернами с применением для их обработки сканирующих микроскопов с уникально высоким пространственным разрешением.

Ядерная эмульсия представляет собой суспензию на основе желатина с равномерно распределенными по объему светочувствительными кристаллами галоидного серебра AgBr, являющимися "сенсорами" прохождения заряженных частиц. Вследствие ионизации, производимой пролетающей заряженной частицей, происходит восстановление катионов Ag^+ на поверхности кристаллов AgBr, и после обработки проявителем "поврежденные" кристаллы образуют конгломераты атомов металлического серебра, различимые под микроскопом в виде черных зерен. В результате возникает цепочка проявленных зерен серебра, которая воспроизводит траекторию движения частицы. Для прослеживания траекторий частиц в пространстве детектора ядерная эмульсия наносится тонким слоем (~50 мкм) на прозрачную основу, и детектор собирается из необходимого количества слоев

эмульсионных пленок. Размеры детектора ограничиваются только возможностями измерительного оборудования для обработки облученной эмульсии (например, размерами предметного столика микроскопа).

Ядерные эмульсии используются в экспериментах по изучению процессов взаимодействия релятивистских частиц, в том числе с очень коротким временем жизни, требующих высокого пространственного и углового разрешения (см., например, [18]).

В состав ядерной эмульсии входят ядра как тяжелых (Ag, Br), так и легких элементов (C, N, O, H) (см. табл. 1).

Чтобы определить параметры эмульсий для наиболее эффективной регистрации ядер отдачи при взаимодействии с частицами ТМ, необходимо учесть кинематику процесса. Кинематика столкновений определяется массой сталкивающегося ядра и массой ВИМП-частицы, поэтому для предполагаемой массы ВИМП-частицы можно определить значение кинетической энергии ядра после столкновения и рассчитать длину его траектории в эмульсии. При этом чем тяжелее ядро отдачи и соответственно меньше длина трека, тем более высокие требования предъявляются к чувствительности эмульсии (рис. 6). Так, частица ТМ с массой >50 ГэВ с большей вероятностью будет рассеиваться на ядрах Ag и Br. В случае, если масса искомой частицы составляет от 5 до 50 ГэВ, возрастает вероятность ее столкновения с ядрами C, N, O. Расчеты показывают, что выделение сигнала из изотропного фона возможно, если эмульсионный детектор способен зафиксировать трек длиной 100 нм, который соответствует энергии 37 кэВ ядра отдачи из группы C, N, O [19, 20].

Минимальная длина трека, которая может быть измерена в ядерной эмульсии, зависит от размера зерна Ag после химической проявки, а также от возможностей сканирующей системы, которая применяется при получении и обработке изображений. Ядерные эмульсии, применяемые в настоящее время в физике элементарных частиц, имеют линейную плотность кристаллов AgBr 2.3 мкм$^{-1}$ и размер зерна около 0.2 микрона, слишком большой для регистрации треков размером от 100 до 200 нм, соответствующих ядрам отдачи при упругом взаимодействии с ТМ (рис. 7*а*).

В Университете Нагойи (Япония) для эксперимента NEWSdm была разработана технология получения ядерных эмульсий с диаметром зерен на порядок меньше обычных [21]. Диаметры зерен этих сверхчувствительных ядерных эмульсий, так называемых нанотрекеров NIT (Nano Imaging Trackers) и ультрананотрекеров U-NIT (Ultra-Nano Imaging Trackers), составляют 44 и 18 нм,

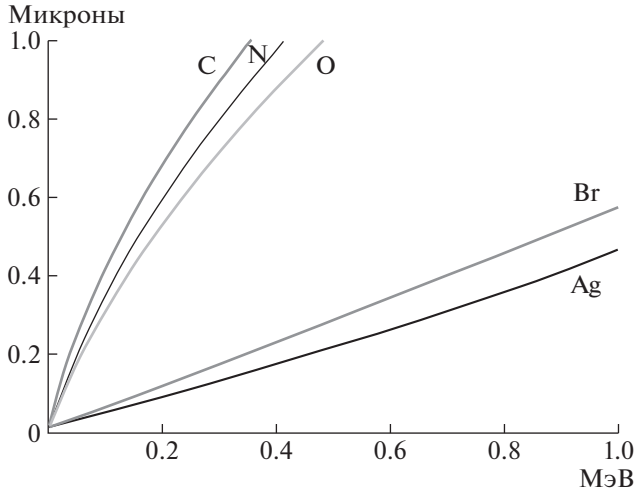

Рис. 6. Длина трека в ядерной эмульсии в зависимости от переданной энергии для разных ядер, входящих в состав эмульсии.

а линейная плотность кристаллов — 14 и 29 мкм$^{-1}$ соответственно (рис. 7*б*).

Среднее расстояние между кристаллами NIT составляет 71 нм, что позволяет этим эмульсиям реконструировать траектории ядер отдачи C при упругом взаимодействии с ВИМП-частицами с энергией отдачи 30 кэВ и углом рассеяния 30° с эффективностью 65% (рис. 8) [20].

Чтобы зафиксировать направленность траекторий частиц ТМ, детектор должен иметь постоянную пространственную ориентацию в направлении созвездия Лебедя, вдоль которого Солнечная система движется в Галактике. С этой целью эмульсионный детектор NEWSdm, собранный из ядерных эмульсий NIT, будет установлен на стандартный экваториальный телескоп (рис. 9), и, следовательно, ВИМП-частицы будут приходить на детектор

Таблица 1. Основные химические элементы, входящие в состав ядерной эмульсии

Химический элемент	Массовая доля	Атомная доля
Ag	0.44	0.12
Br	0.32	0.12
I	0.019	0.003
C	0.101	0.172
O	0.074	0.129
N	0.027	0.057
H	0.016	0.396
S	0.003	0.003

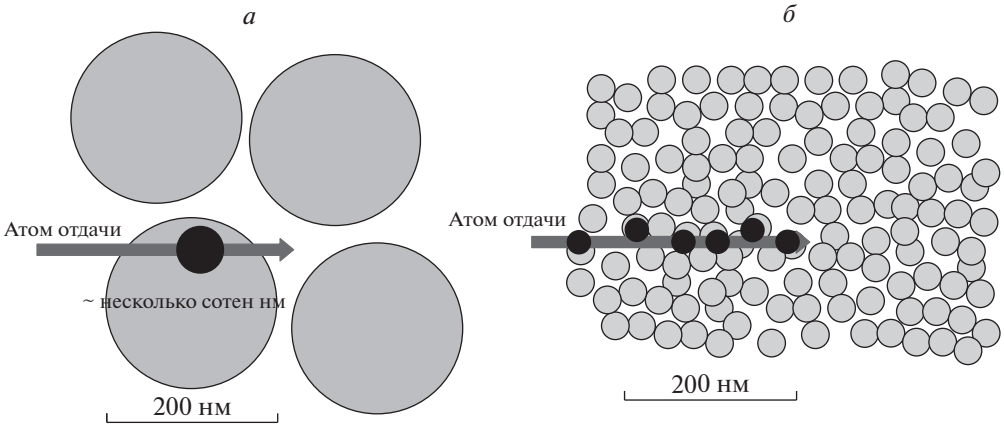

Рис. 7. Схема формирования траекторий элементарных частиц в различных типах эмульсий: *а* — стандартная эмульсия с размером кристалла AgBr ~200 нм; *б* — эмульсия NIT с размером кристалла AgBr ~40 нм.

всегда с одного направления, в то время как фоновые частицы, способные сымитировать сигнал, будут распределены по углам изотропно. Это позволит с большой достоверностью отделять искомый сигнал от фона. Кроме того, направленность треков отдачи будет являться доказательством галактического происхождения инициировавших их частиц ТМ.

Ядерные эмульсии в детекторе будут расположены таким образом, чтобы их поверхности были параллельны предполагаемому направлению движения частиц ТМ. Детектор будет окружен защитным экраном, препятствующим влиянию радиоактивности окружающей среды. Область поиска сигналов в NEWSdm будет соответствовать энергетической области эксперимента DAMA.

4. СИСТЕМА СЧИТЫВАНИЯ ДАННЫХ

Система считывания данных в NIT должна с достаточной скоростью распознавать очень короткие треки и с высокой точностью определять их направление в режиме высокоскоростного автоматического сканирования в течение времени, сравнимом с экспозицией детектора.

Для повышения интенсивности и контрастности изображения треков отдачи применяется метод эллиптической подгонки [22]. После применения фильтров подавления “размытости” трека и конечной импульсной характеристики изображение оцифровывается и определяется его эллиптичность (рис. 10).

Эффективность выделения треков методом эллиптической подгонки была протестирована в калибровочных экспериментах по облучению ядерных эмульсий с размером зерна 40 нм ионами Kr с энергиями 400 кэВ. Результаты обработки треков на сканирующем оптическом микроскопе сравнивались с результатами их обработки на рентгеновском микроскопе [23]. Это сравнение показало, что параметры полученных на оптическом микроскопе эллипсов хорошо воспроизводят направленность треков (рис. 11).

Тем не менее эффективность регистрации треков остается невысокой вследствие низкой контрастности зерен серебра, образующих трек. Для улучшения разрешения оптической системы был предложен метод поверхностного плазмонного резонанса, позволяющий измерять показатель преломления изменения среды на чувствительных поверхностях [24]. Резонансное рассеяние поляризованного света на наноразмерных металлических структурах в диэлектрической среде отражает ани-

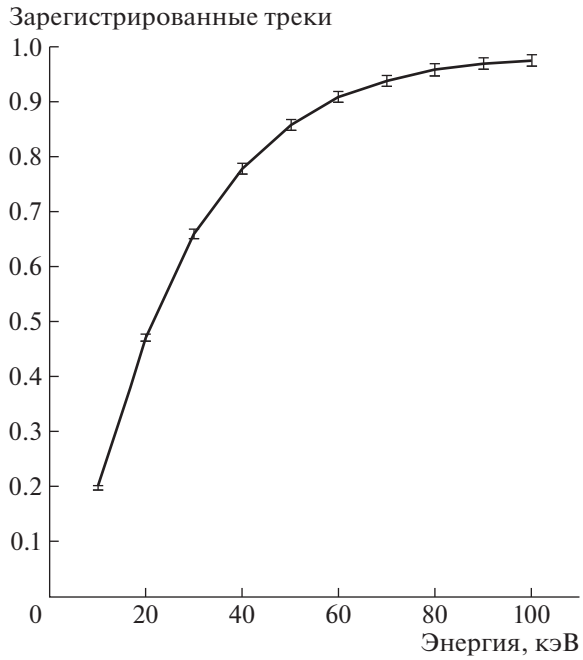

Рис. 8. Ожидаемая эффективность обнаружения трека ядра углерода размером в 2 кристалла NIT. Рисунок из [20].

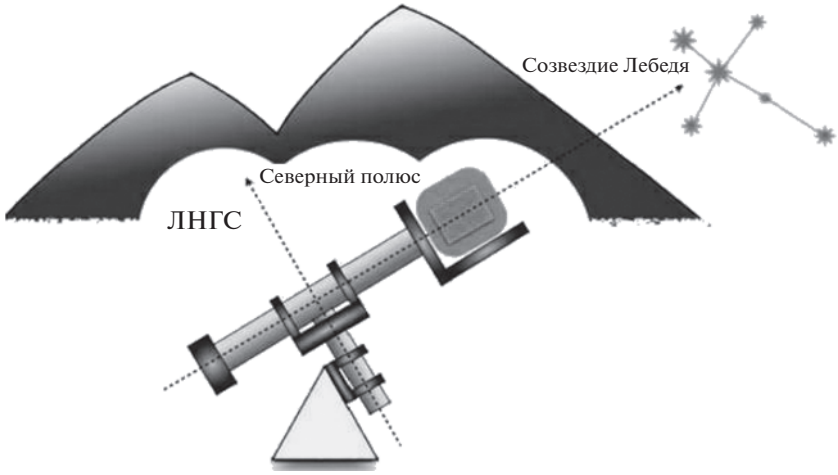

Рис. 9. Схема установки детектора NEWSdm.

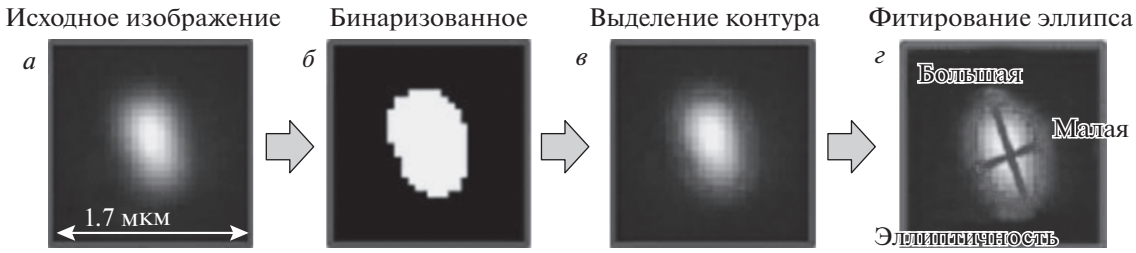

Рис. 10. Обработка изображения трека методом эллиптической подгонки.

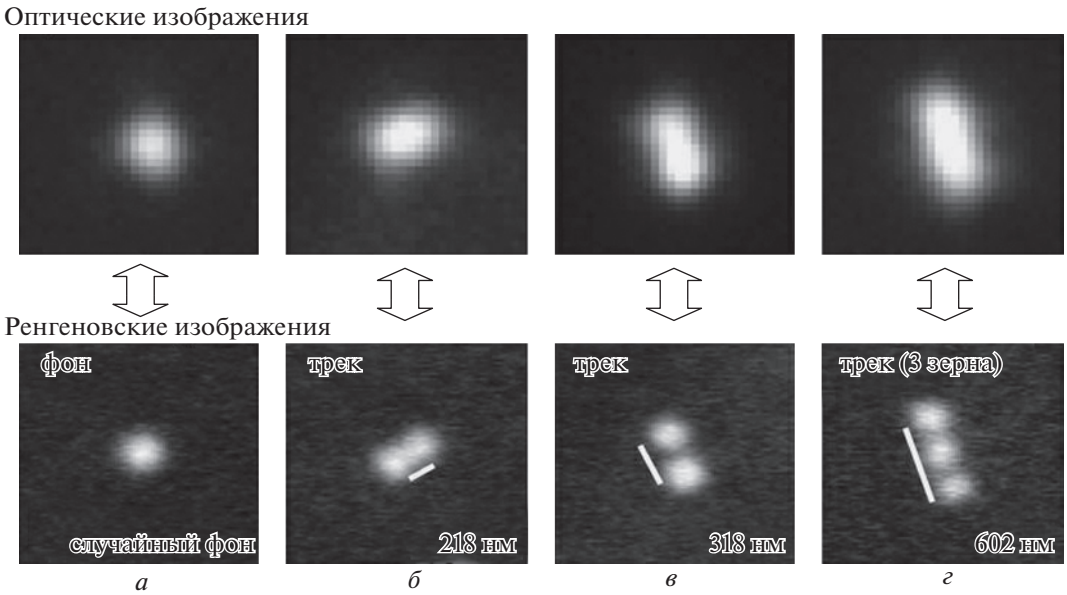

Рис. 11. Сравнение результатов обработки треков низкоэнергичных ионов в NIT с размером зерна 40 нм, полученных на оптическом (вверху) и рентгеновском (внизу) микроскопах: *а* — изображение одного проявленного зерна; *б*, *в* — треки разной длины из двух зерен; *г* — трек из трех зерен. Рисунок из [23].

зотропию формы этих структур: на несферическом кластере резонансный отклик зависит от поляризации падающего света (рис. 12).

Оснащение оптического микроскопа жидкокристаллическим поляризатором, источником поляризованного света в голубом диапазоне с длиной

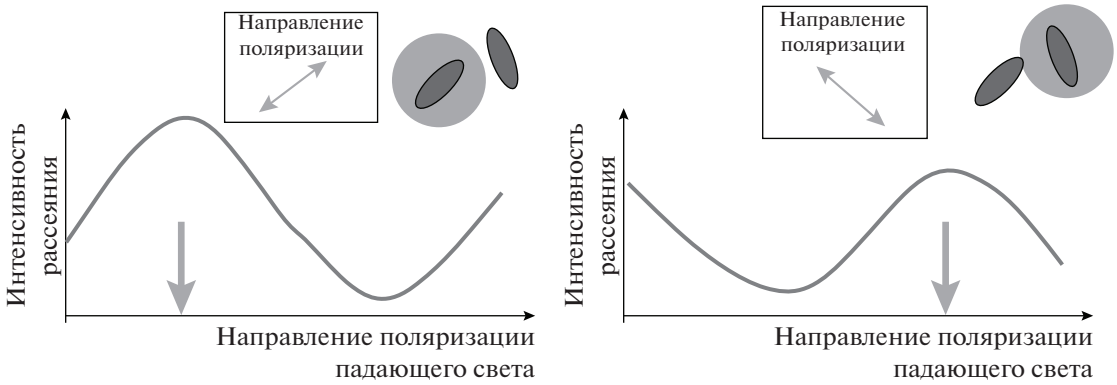

Рис. 12. Эффект плазмонного резонанса на поверхности зерен серебра при их освещении поляризованным светом.

волны менее 500 нм, позволяет выделять треки, образованные зернами металлического серебра размером менее 40 нм [25]. Результатом совмещения мощной цифровой апертуры объектива микроскопа со световым поляризатором является высокое пространственное и пиксельное разрешение, а также высокая контрастность и яркость изображения, необходимые для надежной регистрации наноразмерных треков, образованных зернами металлического серебра в ядерной эмульсии.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлена концепция нового эксперимента NEWSdm по регистрации упругих взаимодействий частиц тяжелой темной материи (ВИМП) с ядрами барионной материи. Твердотельный трековый детектор на основе ядерной эмульсии, одновременно являющийся мишенью и имеющий фиксированную пространственную ориентацию относительно галактического гало темной материи, будет установлен в подземной лаборатории Гран-Сассо в условиях низкого фона космического и радиационного излучения. В результате эксперимента предполагается зафиксировать направленные траектории ядер отдачи в результате упругого взаимодействия с частицами темной материи с анализом годовых модуляций количества зарегистрированных событий. Порядок длин ожидаемых треков ядер отдачи в ядерной эмульсии составит несколько десятков нанометров. Для достижения необходимой чувствительности эксперимента созданы ядерные эмульсии с наноразмерными кристаллами бромида серебра с уникально высоким пространственным разрешением, требующие специальных методов анализа, включающих распознавание формы ультракороткого трека и повышение контрастности изображения. Построенная система считывания данных демонстрирует принципиально новый подход к обработке эксперимента в нанометрическом диапазоне, совмещая мощную цифровую апертуру объектива микроскопа со световым поляризатором, и обеспечивает высокое пространственное и пиксельное разрешение, а также контрастность и яркость изображения, необходимые для надежной регистрации наноразмерных треков, образованных зернами металлического серебра в ядерной эмульсии.

Первый успешный технологический запуск установки с эмульсионным детектором массой ~10 г был проведен в марте 2017 г. в подземной части Национальной лаборатории Гран-Сассо и позволил осуществить оценку фона в ядерной эмульсии в сравнении с результатами моделирования [26].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. Massey, T. Kitching, and J. Richard, Rep. Prog. Phys. **73**, 086901 (2010).
2. Z. Rezaei, arXiv: 1906.08648, accepted for publication in Can. J. Phys. (2019).
3. D. Maity and P. Saha, Phys. Rev. D **98**, 103525 (2018).
4. A. Aleksandrov, A. Anokhina, T. Asada, D. Bender, I. Bodnarchuk, A. Buonaura, S. Buontempo, M. Chernyavskii, A. Chukanov, L. Consiglio, N. D'Ambrosio, G. De Lellis, M. De Serio, A. Di Crescenzo, N. Di Marco, S. Dmitrievski, *et al.*, LNGS-LOI 48/15, arxiv.org/abs/1604.04199
5. M. W. Goodman and E. Witten, Phys. Rev. D **31**, 3059 (1985).
6. *Particle Dark Matter*, Ed. by G. Bertone (Cambridge Univ. Press, 2010), p. 488.
7. L. Baudis, Ann. Phys. (Berlin) **528**, 74 (2016).
8. В. А. Рябов, В. А. Царев, А. М. Цховребов, УФН **178**, 1129 (2008) [Phys. Usp. **51**, 1091 (2008)].
9. H. Araújo, *WIMP Searches with Liquid Xenon: ZEPLIN, LUX and LZ, HEP Seminar, Oxford University, 2013*.
10. R. Bernabei, Int. J. Mod. Phys. A **31**, 1642001 (2016).
11. R. Bernabei, P. Belli, A. Bussolotti, F. Cappella, V. Caracciolo, R. Cerulli, C. J. Dai, A. d'Angelo, A. Di Marco, H. L. He, A. Incicchitti, X. H. Ma, A. Mattei,

V. Merlo, F. Montecchia, X. D. Sheng, and Z. P. Ye, Nucl. Phys. At. Energy **19**, 307 (2018).
12. C. E. Aalseth *et al.* (CoGeNT Collab.), Phys. Rev. Lett. **106**, 131301 (2011).
13. D. S. Akerib *et al.* (LUX Collab.), Phys. Rev. Lett. **118**, 021303 (2017).
14. A. Tan *et al.* (PandaX-II Collab.), Phys. Rev. Lett. **117**, 121303 (2016).
15. E. Aprile *et al.* (XENON Collab.), Phys. Rev. Lett. **119**, 181301 (2017).
16. J. Va'vra, Phys. Lett. B **735**, 181 (2014).
17. Н. Ю. Агафонова, В. В. Бояркин, В. Л. Дадыкин, Е. А. Добрынина, Р. И. Еникеев, Г. Т. Зацепин, А. С. Мальгин, О. Г. Ряжская, В. Г. Рясный, И. Р. Шакирьянова, В. Ф. Якушев (от LVD-Коллаб.), Изв. РАН. Сер. физ. **75**, 456 (2011) [Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. **75**, 427 (2011)].
18. T. Nakamura, A. Ariga, T. Ban, Takako Fukuda, Tutomu Fukuda, T. Fujioka, T. Furukawa, K. Hamada, H. Hayashi, S. Hiramatsu, K. Hoshino, J. Kawada, N. Koike, M. Komatsu, H. Matsuoka, S. Miyamoto, *et al.*, Nucl. Instrum. Methods A **556**, 80 (2006).
19. T. Katsuragawa, T. Naka, T. Asada, M. Yoshimoto, K. Hakamata, and M. Ishikawa, J. Phys.: Conf. Ser. **469**, 012004 (2013).
20. T. Asada (on behalf of the NEWSdm Collab.), EPJ Web Conf. **182**, 02006 (2018).
21. T. Asada, T. Naka, K. I. Kuwabara, and M. Yoshimoto, Prog. Theor. Exp. Phys. **2017**, 063H01 (2017).
22. M. Kimura and T. Naka, Nucl. Instrum. Methods A **680**, 12 (2012).
23. T. Naka, T. Asada, T. Yoshimoto, T. Katsuragawa, Y. Suzuki, Y. Terada, A. Takeuchi, K. Uesugi, Y. Tawara, A. Umemoto, and M. Kimura, Rev. Sci. Instrum. **86**, 073701 (2015).
24. S. Zeng, D. Baillargeat, H.-P. Ho, and K.-T. Yong, Chem. Soc. Rev. **43**, 3426 (2014).
25. H. Tamaru, H. Kuwata, H. T. Miyazaki, and K. Miyano, Appl. Phys. Lett. **80**, 1826 (2002).
26. N. Agafonova *et al.* (NEWSdm Collab.), Eur. Phys. J. C **78**, 578 (2018).

A NEW EXPERIMENT NEWSdm FOR THE DIRECT SEARCH FOR HEAVY DARK MATTER PARTICLES

S. A. Gorbunov[1)], N. S. Konovalova[1)]
(on behalf of NEWSdm collaboration)

[1)] *P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

NEWSdm (Nuclear Emulsion for WIMP Search — directional measurement) is a new international experiment with a photoemulsion target for direct registration of dark matter particles. The registration method is based on fixing the directions of trajectories of recoil nuclei formed in elastic interactions of target nuclei with dark matter particles from the galactic halo, which distinguishes the NEWSdm from common low-background dark matter particle search experiments based on the analysis of annual modulations of the number of recorded events. Detector that is also a target is a block of nuclear emulsions with a uniquely high spatial resolution, achieved by reducing the size of AgBr grains up to ~10 nm, which allows for a directed search for dark matter carriers in space, even with the energy of the recoil nuclei not exceeding 30 keV.