

1. Исследование нейтринных осцилляций в эксперименте NOvA. Эффект осцилляций нейтрино (превращения одних сортов нейтрино в другие) был надёжно подтверждён в экспериментах, однако осталась необходимость в уточнении параметров, описывающих осцилляции и имеющих важное значение для понимания ряда процессов в астрофизике и космологии [1, 2]. Коллаборацией NOvA представлены новые результаты исследований нейтринных осцилляций по данным, собранным за 10 лет [3]. В Лаборатории им. Э. Ферми (США) пучок нейтрино генерируется в процессах столкновения протонов с графитовой мишенью и последующего распада вторичных адронов. На расстояниях 1 км и 810 км расположены нейтринные детекторы, смещённые от оси пучка. Это позволяет измерить вероятность осцилляций нейтрино $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ на их пути между детекторами. Был обработан объём данных, в два раза больший, чем ранее, а также применялись усовершенствованные методы моделирования и анализа. В результате получено наиболее точное на сегодняшний день значение $\Delta m_{32}^2 = 2,431_{-0,034}^{+0,036} \times 10^{-3} \text{ эВ}^2$ (если имеет место прямое упорядочение масс) и $\Delta m_{23}^2 = -2,479_{-0,036}^{+0,036} \times 10^{-3} \text{ эВ}^2$ (обратное). Причём прямое упорядочение в 2,4 раза более вероятно, чем обратное. В обоих случаях предпочтительной является область, близкая к максимальному смешиванию с углом $\sin^2 \theta_{23} = 0,55_{-0,06}^{+0,02}$. Вместе с данными других экспериментов полученные результаты приближают разгадку механизма нейтринных осцилляций и проясняют процессы с их участием.

2. Квантовая запутанность атомов по состоянию их движения. Квантовая запутанность может касаться различных степеней свободы квантовых систем, но обычно в экспериментах изучается запутанность частиц лишь по спину. Только в случае фотонов были выполнены проверки неравенств Белла по состояниям движения (импульсам), а для массивных частиц подобные эксперименты ранее не проводились. Y.S. Athreya (Австралийский национальный университет) и соавторы впервые выполнили проверку неравенств Белла для импульсов метастабильных атомов гелия $^4\text{He}^+$ [4]. Использование для этой цели $^4\text{He}^+$ было предложено в работе Lewis-Swan R J, Kheruntsyan K V *Phys. Rev. A* **91** 052114 (2015). Большая внутренняя энергия $^4\text{He}^+$ обеспечивает точное обнаружение отдельных атомов с высоким пространственным и временным разрешением. В эксперименте Y.S. Athreya и др. при столкновении двух конденсатов Бозе–Эйнштейна атомов $^4\text{He}^+$ формировались пары атомов с противоположными импульсами и измерялись корреляции атомов после их прохождения через интерферометр Рарити–Талстера. Проверка неравенств Белла дала прямое доказательство нелокальной квантовой природы системы двух атомов. Исследование запутанности массивных частиц по состоянию движения важно, в частности, для изучения квантово-гравитационных свойств частиц, движущихся в поле тяготения.

3. Структурное суперскольжение на макромасштабе. Ранее эффект суперскольжения (superlubricity) твёрдых тел — скольжения почти без трения — был известен только на микро- и наномасштабах. Предпринимались попытки уменьшить трение макроскопических объектов путём создания на их поверхности мультиконтактных площадок с большим числом микроскопических выступов, но таким способом удавалось уменьшить коэффициент трения лишь до $\sim 10^{-3}$, что на три порядка меньше, чем при суперскольжении. Q. Zheng (Университет Цинхуа, Китай) и его коллеги впервые обнаружили реальный эффект суперскольжения на макромасштабе в пределах одного субмиллиметрового контакта между образцами графита, а также на стыке поверхностей графита и MoS_2 [5]. Авторы разработали новый метод изготовления почти бездефектных, атомарно гладких монокристаллических поверхностей с помощью эпитаксиального роста монокристаллического графита (диффузии углерода сквозь никель) и фотолитографии. Измеренные коэффициенты трения образцов размерами 0,02–0,2 мм достигали значений $\sim 10^{-6}$ в широком диапазоне нагрузок от 1 мН до 0,5 Н. Наблюдались также отрицательные дифференциальные коэффициенты трения, когда сила трения уменьшается при увеличении нагрузки. Возможно, здесь имеет место подавление внеплоскостного движения краевых атомов или муаровых выступов либо отрыв краёв. Эффект суперскольжения может оказаться полезным при создании различных микромеханических устройств.

Ю.Н. Ерошенко. Институт ядерных исследований РАН, просп. 60-летия Октября 7а, 117312 Москва, Российская Федерация
E-mail: erosh@ufn.ru

4. Эффект Померанчука для электронных подсистем в полимере. В 1950 г. И.Я. Померанчук предсказал теоретически, что ультрахолодный жидкий ^3He вблизи точки затвердевания можно дополнительно охладить путём сжатия [6], и впоследствии этот компрессионный метод охлаждения был реализован на практике [7]. Данный эффект объясняется более высокой энтропией твёрдого ^3He при низких температурах по сравнению с энтропией жидкого ^3He . На эффект Померанчука в ^3He должны влиять магнитные поля посредством степеней свободы, связанных с ядерными спинами, однако в экспериментах с ^3He это влияние надёжно обнаружить не удалось. Аналог эффекта Померанчука наблюдался и для электронных степеней свободы в некоторых системах. N. Matsuyama (Токийский университет, Япония) и соавторы [8], используя гибридизацию орбиталей органических молекул с орбиталями неорганических элементов в полимерах (DMe–DCNQI)₂–Cu, обнаружили эффект Померанчука в электронной подсистеме данного полимера и изучили влияние на него магнитного поля. Ввиду большой величины магнетона Бора для электронов, наблюдать влияние магнитного поля для таких систем оказывается проще, чем для ^3He , причём аналогом перехода жидкость–твёрдое тело служит переход металл–изолятор. В эксперименте N. Matsuyama и др. наблюдалось "затвердевание" (локализация) электронов, вызванное магнитным полем. Это позволяет предположить, что эффект Померанчука в магнитных полях подавляется.

5. Обнаружение субгало тёмной материи методом пульсарного тайминга. В иерархической картине галактики формируются в процессах слияния менее массивных галактик между собой и захвата диффузной среды. В частности, в структуре гало нашей Галактики до настоящего времени должны оставаться захваченные массивные сгущения тёмной материи, которые не успели осесть к центру Галактики и разрушиться. S. Chakrabarti (Алабамский университет, США) и соавторы впервые обнаружили одно из таких субгало по влиянию его гравитационного поля на орбитальную скорость в двойных системах, содержащих пульсары [9]. Метод пульсарного тайминга, предложенный М.В. Сажиним в 1978 г. применительно к регистрации гравитационных волн, благодаря высокой стабильности вращения нейтронных звёзд является чувствительным инструментом для регистрации чрезвычайно слабых эффектов [10, 11]. В работе [9] было выделено пять пар двойных систем, показывающих дополнительное изменение орбитального периода. Среди них нашлась пара систем, которая свидетельствует о наличии субгало с отношением сигнал/шум $S/N \sim 3$ (для других $S/N \leq 1$). Обе системы являются парами из нейтронной звезды и белого карлика. По наблюдению одной системы нельзя разделить вклады массы и расстояния (M/R^2), но с помощью нескольких двойных систем уже можно сделать вывод о наличии субгало. Таким путём было установлено присутствие объекта с массой $2,45_{-0,96}^{+1,07} \times 10^7 M_\odot$ на расстоянии $\sim 0,9$ кпк от Солнца. Наличие подобного субгало согласуется с теоретическими расчётами формирования Галактики. Обнаруженный объект имеет небарионную природу, так как масса газа и звёзд в нём на два порядка меньше указанной величины. Из наблюдений пока нельзя определить размер объекта, поэтому он может являться как сгущением тёмной материи, так и сверхмассивной чёрной дырой.

Список литературы

1. Куденко Ю Г *УФН* **188** 821 (2018); Kudenko Yu G *Phys. Usp.* **61** 739 (2018)
2. Колупаева Л Д и др. *УФН* **193** 801 (2023); Kolupaeva L D et al. *Phys. Usp.* **66** 753 (2023)
3. Abubakar S et al. (The NOvA Collab.) *Phys. Rev. Lett.* **136** 011802 (2026) DOI:10.1103/x53y-2b86
4. Athreya Y S et al. *Nature Commun.* (2026) DOI:10.1038/s41467-026-69070-3, онлайн-публикация от 4 февраля 2026 г.
5. Han M et al. *Phys. Rev. Lett.* **136** 076201 (2026) DOI:10.1103/bv6j-q22p; arXiv:2601.00190, DOI:10.48550/arXiv.2601.00190
6. Померанчук И Я *ЖЭТФ* **20** 919 (1950)
7. Ричардсон Р К *УФН* **167** 1340 (1997); Richardson R C *Rev. Mod. Phys.* **69** 683 (1997)
8. Matsuyama N et al. *Nature Commun.* **17** 367 (2026) DOI:10.1038/s41467-025-67053-4
9. Chakrabarti S et al. *Phys. Rev. Lett.* **136** 041201 (2026) DOI:10.1103/29xz-nt5z
10. Сажин М В *Астрон. журн.* **55** 65 (1978); Sazhin M V *Sov. Astron.* **22** 36 (1978)
11. Постнов К А, Порайко Н К, Пширков М С *УФН* **195** 154 (2025); Postnov K A, Porayko N K, Pshirkov M S *Phys. Usp.* **68** 146 (2025)