

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

НАУЧНЫЕ НОВОСТИ

НОВОСТИ ФИЗИКИ В СЕТИ INTERNET: ЯНВАРЬ 2026
(по материалам электронных препринтов)

Ю.Н. Ерошенко

PACS numbers: 01.10. – m, 01.30. – y, 01.90. + g

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2025.12.040081>**1. Взаимодействие солнечных нейтрино с ^{13}C**

Поток борных нейтрино ν_e от Солнца ранее уже регистрировался в экспериментах в канале нейтральных токов, а также по упругому рассеянию. С помощью подземного детектора SNO+ (Садбери, Канада) впервые зарегистрированы взаимодействия солнечных борных ν_e с ядрами ^{13}C по каналу заряженного тока [1]. Детектор содержит 800 тонн жидкого сцинтиллятора, просматриваемого 9000 фотоумножителей. Методом совпадения выделялись электроны и позитроны от последовательных реакций $^{13}\text{C} + \nu_e \rightarrow ^{13}\text{N} + e^-$ и $^{13}\text{N} \rightarrow ^{13}\text{C} + e^+ + \nu_e$. Достоверность регистрации составляет 4,2 σ , а измеренное сечение взаимодействия ν_e с ^{13}C с образованием ^{13}N на основном энергетическом уровне соответствует теоретическим расчётам. Полученные результаты полностью согласуются со стандартной моделью Солнца с учётом нейтринных осцилляций. Ранее взаимодействие ν_e земного происхождения с ^{13}C уже изучалось в эксперименте KARMEN (Карлсруэ, Германия), но лишь при значительно больших энергиях и суммарно для всех уровней ядра ^{13}N .

2. Эксперимент Эйнштейна – Бора с подвижной щелью

В дебатах А. Эйнштейна с Н. Бором в 1927 г. возникла идея дополнить интерференционный эксперимент с двумя щелями дополнительной подвижной щелью. Тогда можно было бы по импульсу отдачи подвижной щели измерять импульс рассеянного фотона. Воспроизвести такую мысленную схему в реальном эксперименте ранее не удавалось. Y.-C. Zhang (Научно-технический университет Китая) и соавторы впервые поставили эксперимент, в полной мере реализующий идею Эйнштейна – Бора [2]. Роль подвижной щели, рассеивающей фотоны, играл единственный атом ^{87}Rb , захваченный оптическим пинцетом. Атом охлаждался методом комбинационного рассеяния в боковой полосе, и неопределённость его импульса в основном состоянии была сравнима с импульсом одиночного фотона, что недоступно для макроскопических объектов. При ослаблении силы фиксации атома в ловушке наблюдался переход поведения одиночных фотонов от волнового к корпускулярному. Это подтвердило данное Н. Бором

объяснение: при измерении импульса теряется информация о положении щели, а интерференционная картина размывается. Как полагают авторы работы [2], в будущих экспериментах подобного рода увеличение массы объекта, представляющего подвижную щель, позволит исследовать взаимосвязь между декогеренцией и квантовой запутанностью.

3. Суперионный сплав Fe – C при больших давлениях

Y. Huang (Сычуаньский университет, Китай) и соавторы исследовали сплав железа и углерода в условиях, близких к тем, которые имеют место во внутреннем ядре Земли [3]. При ударе на скорости 7 км с $^{-1}$ снаряда в образец железа с углеродом достигалось давление 140 ГПа и температура 2600 К. Измерения показали, что возникающий в этих условиях гексагональный плотноупакованный сплав Fe – C (массовая доля углерода $\sim 1,5\%$) имеет суперионный (промежуточный между жидкостью и твёрдым кристаллом) характер, когда атомы углерода могут течь относительно железа, скорость сдвиговой волны V_s на 23 % ниже, чем в чистом железе, а коэффициент Пуассона имеет большую величину $\mu \sim 0,43$. Суперионный сплав Fe – C с такими характеристиками ранее предлагался теоретически для объяснения данных сейсмических наблюдений внутреннего ядра Земли. Тем самым эксперимент [3] даёт весомое подтверждение суперионной модели. Ядро Земли состоит в основном из сплава железа и никеля с примесью С, О, Н. Диффузия в суперионном сплаве лёгких элементов через железо важна для понимания состояния и динамики ядра Земли, в частности, движущих механизмов геодинамо — генерации магнитного поля.

4. Реализация спектроскопического метода Летохова – Чеботаева

В спектроскопии атомов и молекул одной из главных проблем является доплеровский сдвиг частоты, связанный с движением частиц [4]. Для решения указанной проблемы применяются, например, двухфотонные переходы в поле встречных лазерных лучей. В работах В.С. Летохова и В.П. Чеботаева [5, 6] был разработан метод ослабления влияния эффекта Доплера путём захвата молекул в поле стоячей электромагнитной волны в резонаторе. При этом частица должна либо иметь незначительную абсолютную скорость, либо двигаться под очень малым углом к фронту волны. В эксперименте W. Ubachs (Амстердамский свободный

университет, Нидерланды) и соавторов данный метод продемонстрирован для молекул H_2 в резонаторе [7]. С помощью оптической гетеродинной спектроскопии исследовался слабый квадрупольный обертоновый переход $S(0)(2-0)$ в H_2 . Измеренная ширина перехода была на четыре порядка меньше доплеровского уширения, что говорит об успешной реализации метода Летохова–Чеботаева. Продemonстрированный эффект 1D-захвата молекул может стать частью инструментария прецизионной молекулярной спектроскопии.

5. Новые космологические наблюдения

С помощью спектрографа DESI (Dark Energy Spectroscopic Instrument) на 4-метровом телескопе Национальной обсерватории Китт–Пик (США) получено уточнённое значение постоянной Хаббла $H_0 = 73,7 \pm 0,06$ (стат.) $\pm \pm 1,1$ (сист.) $\text{км с}^{-1} \text{Мпк}^{-1}$ [8]. Эта величина найдена по наблюдениям пекулярных скоростей галактик с использованием соотношения Талли–Фишера и так называемой фундаментальной плоскости галактик совместно с измерениями красных смещений. Измерение расстояний до галактик позволяет отделить вклад пекулярных скоростей от космологического расширения Вселенной. Хотя нормировка проводится по сверхновым Ia, результаты измерений в значительной мере независимы от других методов определения H_0 . Ещё одним независимым методом является наблюдение сильного гравитационного линзирования с измерением задержки по времени. Коллаборация TDCOSMO-2025 исследовала восемь линзированных квазаров с привлечением данных по дисперсии скоростей звёзд в галактиках-линзах, позволяющих восстановить профиль плотности [9]. Полученная величина $H_0 = 71,6^{+3,9}_{-3,3} \text{ км с}^{-1} \text{Мпк}^{-1}$ на уровне погрешностей согласуется с другими измерениями H_0 . Метод гравитационного линзирования в будущем может достичь точности 1 %, которая позволит прояснить ряд фундаментальных эффектов в космологии, таких как "напряжение Хаббла" (несоответствие измерений H_0 по процессам в ранней и в современной Вселенной).

6. Эффект Сюняева–Зельдовича и горячий газ в протоскоплении галактик

Р.А. Сюняев и Я.Б. Зельдович в теоретических работах [10–12] предсказали эффект изменения интенсивности реликтового излучения при его рассеянии электронами горячей космической среды с переносом мягких фотонов в область высоких частот. В результате в направлении скоплений галактик, содержащих горячий газ, должно наблюдаться понижение яркости реликтового излучения. Данный эффект надёжно подтверждён в наблюдениях и, более того, исследования горячего газа скоплений посредством эффекта Сюняева–Зельдовича становятся сравнимыми по точности с лучшими рентгеновскими измерениями характеристик такого газа [13]. D. Zhou (Университет Британской Колумбии, Канада) и соавторы с помощью крупнейшего в мире субмиллиметро-

вого и миллиметрового телескопа-интерферометра ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) выполнили новое наблюдение реликтового излучения, прошедшего через молодое скопление галактик SPT2349-56 на красном смещении $z = 4,3$ [14]. Столь далёкое скопление доступно для исследования благодаря тому, что спектры "теней" на фоне реликтового излучения в направлениях на объекты с горячим газом не зависят от красного смещения, как было показано в основополагающих работах Р.А. Сюняева и Я.Б. Зельдовича. Телескоп ALMA включает 66 полноповоротных антенн с криогенными болометрами, расположенных на высоте 5000 км в чилийской пустыне Атакама. Формирующееся скопление (протоскопление) SPT2349-56 содержит 33 галактики, в том числе три с активными ядрами. Измеренная по эффекту Сюняева–Зельдовича полная тепловая энергия газа в скоплении оказалась примерно на порядок больше, чем могла бы быть энергия нагрева за счёт гравитационного сжатия и возникающих при этом ударных волн. Авторы работы [13] предполагают, что газ был дополнительно нагрет излучением активных ядер галактик, хотя полностью данный вопрос пока не прояснён. Как показало недавнее обнаружение избытка ранних галактик и сверхмассивных чёрных дыр телескопом им. Дж. Уэбба, образование структуры Вселенной, возможно, идёт иным путём, чем считалось ранее. Описываемый результат, полученный из наблюдений теплового эффекта Сюняева–Зельдовича, может иметь важное значение для решения этой и других загадок ранней Вселенной.

Список литературы

1. Abreu M et al. (SNO + Collab.) *Phys. Rev. Lett.* **135** 241803 (2025) DOI:10.1103/1f1l-95gj
2. Zhang Y-C et al. *Phys. Rev. Lett.* **135** 230202 (2025) DOI:10.1103/93zb-lws3
3. Huang Y et al. *Natl. Sci. Rev.* **12** nwaf419 (2025) DOI:10.1093/nsr/nwaf419
4. Летохов В С, Чеботаев В П *УФН* **113** 385 (1974); Letokhov V S, Chebotayev V P *Sov. Phys. Usp.* **17** 467 (1975)
5. Летохов В С *Письма в ЖЭТФ* **7** 348 (1968); Letokhov V S *JETP Lett.* **7** 272 (1968)
6. Letokhov V S, Chebotayev V P *Nonlinear Laser Spectroscopy* (Springer Series in Optical Sciences, Vol. 4) (Berlin: Springer-Verlag, 1977)
7. Ubachs W et al. *Phys. Rev. Lett.* **135** 223201 (2025) DOI:10.1103/rxcj-6dw6
8. Carr A et al., arXiv:2512.03232, DOI:10.48550/arXiv.2512.03232; *Astrophys. J.* (2025) to be submitted
9. Birrer S et al. (TDCOSMO Collab.) *Astron. Astrophys.* **704** A63 (2025) DOI:10.1051/0004-6361/202555801
10. Zeldovich Ya B, Sunyaev R A *Astrophys. Space Sci.* **4** 301 (1969)
11. Sunyaev R A, Zeldovich Ya B *Astrophys. Space Sci.* **7** 3 (1970)
12. Sunyaev R A, Zeldovich Ya B *Comments Astrophys. Space Phys.* **4** 173 (1972)
13. Вихлинин А А, Кравцов А В, Маркевич М Л, Сюняев Р А, Чуразов Е М *УФН* **184** 339 (2014); Vikhlinin A A, Kravtsov A V, Markevich M L, Sunyaev R A, Churazov E M *Phys. Usp.* **57** 317 (2014)
14. Zhou D et al. *Nature* (2026) DOI:10.1038/s41586-025-09901-3, онлайн-публикация от 5 января 2026 г.