

1. Ридберговские уровни атома водорода в электрическом поле. Основанное на эффекте лэмбовского сдвига измерение зарядового радиуса протона r_p в атоме мюонного водорода, где электрон замещён мюоном, даёт меньшее значение, чем измерение r_p в обычном водороде. Данное расхождение известно как "загадка радиуса протона". Косвенным способом r_p находится из измерений постоянной Ридберга R_∞ , причём волновая функция электрона частично находится в объёме протона, и должна иметь место корреляция r_p и R_∞ . В связи с этим для разрешения проблемы r_p важны эксперименты с высоковозбуждёнными ридберговскими состояниями, которые чувствительны к R_∞ , но почти не затрагивают r_p . Однако для таких измерений потребовалось бы очень высокое разрешение по частоте. Исследователи из Швейцарской высшей технической школы Цюриха S. Scheidegger и F. Merkt преодолели указанную сложность путём изучения водорода в электрическом поле [1]. Были измерены переходы на ридберговские состояния (с известной поправкой от эффекта Штарка) с квантовыми числами $n = 20$ и $n = 24$. С рекордной для системы двух тел точностью была найдена энергия ионизации, а частота Ридберга cR_∞ получена методом, нечувствительным к r_p . Результат косвенно подтверждает величину r_p , полученную в эксперименте с мюонным водородом. Возможно, новые данные помогут разрешить проблему r_p . Предварительно делается вывод, что она не связана с эффектами за пределами Стандартной модели, из-за которых могли бы различаться свойства обычного и мюонного водорода.

2. Сверхпроводимость миассита. Редкий минерал миассит $Rh_{17}S_{15}$ впервые был найден на месторождении в верховьях реки Миасс (Южный Урал, Россия). Он является одним из немногих соединений, которые обнаруживаются в природе и могут быть сверхпроводящими. Правда, сверхпроводимость наблюдалась у синтезированного в лаборатории чистого миассита, так как природные соединения включают много примесей и не образуют больших кристаллов. Сверхпроводимость миассита имеет ряд замечательных особенностей: аномально высокое верхнее критическое поле H_{c2} , большой скачок теплоёмкости и др. R. Prozorov (Университет штата Айова, США) и его коллеги получили доказательства нетрадиционного типа сверхпроводимости $Rh_{17}S_{15}$, не описываемой теорией Бардина – Купера – Шриффера [2]. В синтезированном монокристалле миассита наблюдалась линейная зависимость лондоновской глубины проникновения $\Delta\lambda(T)$ от температуры (в обычных сверхпроводниках $\Delta\lambda(T) = \text{const}$ при малых T). Также обнаружено подавление T_c и H_{c2} немагнитными дефектами, индуцированными пучком электронов. Результаты измерений согласуются с наличием узлов в энергетической щели, являющихся отличительной чертой нетрадиционной сверхпроводимости. Нетрадиционный тип сверхпроводимости наблюдается у ряда веществ, например, у высокотемпературных сверхпроводников — купратов, но эти материалы — продукты синтетической химии, в отличие от миассита они не встречаются в природе.

3. Фундаментальный предел для поглощения излучения в среде. Излучательные и поглощающие свойства сред важны для многих практических приложений в области передачи информации, энергетики и др. Ранее в теоретической работе российского физика К.Н. Розанова (Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН) было получено фундаментальное ограничение на толщину поглощающего слоя и ширину диапазона длин волн для поглощения в среде излучения, отражённого от поверхности

металла [3]. Подход К.Н. Розанова использовался в последующих работах для изучения ряда других конфигураций. Группа исследователей из Университета Дьюка (США), также в значительной мере основываясь на расчётах К.Н. Розанова, получила новое ограничение, связывающее ширину полосы поглощения и толщину однородных слоёв поглощающей среды без отражающей поверхности [4]. Для этого рассматривались аналитические свойства коэффициентов отражения и пропускания с использованием соотношений Крамерса – Кронига. В частных случаях полученный результат был подтверждён методом матрицы переноса и численным моделированием прохождения волн через диэлектрические метаматериалы.

4. Пики плотности тёмной материи вокруг сверхмассивных чёрных дыр. Согласно теоретическим моделям, сверхмассивные чёрные дыры (СМЧД) в центрах галактик должны быть окружены пиками плотности из тёмной материи. Исследователи из Образовательного университета Гонконга (Китай) М.Н. Chan и С.М. Lee, возможно, впервые обнаружили такой пик для двойной СМЧД в системе OJ 287 [5]. Измеренный темп уменьшения орбитального периода у этой системы выше, чем он должен быть за счёт одного только излучения гравитационных волн. Если предположить, что дополнительное уменьшение объясняется динамическим трением СМЧД в тёмной материи, то отсюда следует, что профиль пика имеет показатель степени $\gamma_{sp} = 2,351_{-0,045}^{+0,032}$, хорошо согласующийся с теоретическим значением $\gamma_{sp} = 2,333$. Более точные сведения о пиках плотности можно будет получить из наблюдений звёзд вблизи СМЧД и из будущих измерений низкочастотных гравитационных волн, излучаемых парами СМЧД.

5. Ограничения на эпоху реионизации по кинематическому эффекту Сюняева – Зельдовича. Кинематический эффект Сюняева – Зельдовича (кСЗ) связан с рассеянием фотонов реликтового излучения (РИ) на облаках движущихся электронов. Эффект кСЗ после завершения реионизации Вселенной был обнаружен по взаимной корреляции карт РИ и распределения галактик. Сигнал кСЗ в самую эпоху реионизации должен модулироваться полем скоростей и создавать негауссовы добавки на картах РИ. S. Raghunathan (Центр астрофизических исследований, Национальный центр суперкомпьютерных приложений, Урбана, Иллинойс, США) и соавторы представили результаты анализа триспектра кСЗ с использованием карт температуры РИ, полученных радиотелескопом South Pole Telescope и Herschel-SPIRE [6]. Основной вклад в триспектр дают сигналы линзирования РИ и астрофизический передний план. Повышения триспектра кСЗ над уровнем этого фона не выявлено, что вместе с данными по эффекту Ганна – Петерсона позволило установить верхний предел на продолжительность периода реионизации $\Delta z < 4,5$. Полученный результат согласуется с данными космического телескопа им. М. Планка. Об эффекте Сюняева – Зельдовича и других работах Я.Б. Зельдовича см. [7].

Список литературы

- Scheidegger S, Merkt F *Phys. Rev. Lett.* **132** 113001 (2024) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.132.113001>
- Kim H et al. *Commun. Mater.* **5** 17 (2024) <https://doi.org/10.1038/s43246-024-00456-w>
- RozaNov K N *IEEE Trans. Antennas Propag.* **48** 1230 (2000)
- Padilla W J et al. *Nanophotonics* (2024) онлайн-публикация от 8 марта 2024 г., <https://doi.org/10.1515/nanoph-2023-0920>
- Chan M H, Lee C M, arXiv:2402.03751, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.03751>
- Raghunathan S et al. (SPT-3G, SPTpol Collab.), arXiv:2403.02337, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.02337>
- Вихлинин А А и др. *УФН* **184** 339 (2014); Vikhlinin A A et al. *Phys. Usp.* **57** 317 (2014)