



## НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»  
(НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ)

мкр. Орлова роща, д. 1, г. Гатчина, Ленинградская область, 188300  
Телефон: (81371) 4-60-25, факс: (81371) 3-60-25. E-mail: dir@pnpi.nrcki.ru  
ОКПО 02698654, ОГРН 1034701242443, ИНН 4705001850, КПП 470501001

### ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию

**Чубукова Дмитрия Валерьевича**

на тему:

**«Нарушение фундаментальных симметрий в атомах и молекулах:  
P, T-нечетный эффект Фарадея и P-нечетная оптическая активность»**,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.02 — теоретическая физика

Диссертационная работа Д. В. Чубукова посвящена теоретическому исследованию методами релятивистской квантовой механики эффектов нарушения пространственной четности (P) и временной инвариантности (T) в атомах молекулах. Теоретические и экспериментальные работы в этом направлении идут уже давно, но их актуальность сохраняется в связи с развитием экспериментальных методов и быстрым повышением точности оптических экспериментов с атомами и простыми молекулами. В частности, современное ограничение на электрический дипольный момент (ЭДМ) электрона получено в недавнем эксперименте на молекуле ThO. За последнее десятилетие это ограничение понизилось на два порядка, что привело к практическому закрытию многих моделей суперсимметрии и других популярных расширений Стандартной модели. Научный руководитель Д. В. Чубукова, Л. Н. Лабзовский, был одним из пионеров этой области, и ему принадлежат многие важные результаты по эффектам несохранения четности в молекулах и в многозарядных ионах. В диссертации Чубукова приводятся результаты аккуратных расчетов ряда P- и P,T-нечетных эффектов в атомах и молекулах и предлагаются несколько новых экспериментов по их поиску. Эти предложения вызвали интерес экспериментальной группы Дмитрия Будкера в университете Майнца и могут стимулировать постановку новых экспериментов.

Диссертация Д. В. Чубукова состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений, куда вынесены технические аспекты отделения угловых частей молекулярных матричных элементов. Список литературы включает 134 наименования и отражает все основные научные публикации по теме работы. Диссертация хорошо и ясно

09/2 -02-325 от 05.06.2020



написана и четко структурирована. Каждая глава посвящена отдельной теме и логически замкнута. По материалам диссертации опубликовано 8 работ в международных реферируемых журналах, включая 3 статьи в *Physical Review A* и две статьи в *Journal Physics B*. Д. В. Чубуков многократно выступал по результатам своей диссертационной работы с докладами на российских конференциях и на таких престижных международных конференциях, как 12th International Conference on Relativistic Effects in Heavy-Element Chemistry and Physics (REHE-17) и International Conference on Precision Physics of Simple Atomic Systems (PSAS-18).

Интересная особенность работы Д. В. Чубукова заключается в том, что он рассматривает эффекты, связанные с электрон-электронным  $P$ -нечетным взаимодействием (этому посвящена первая глава диссертации). Обычно это взаимодействие в атомах и молекулах сильно подавлено, и им пренебрегают на фоне более сильного электрон-ядерного взаимодействия. Диссертанту удалось найти систему, где эти два взаимодействия дают приблизительно одинаковые вклады в  $P$ -нечетные эффекты. Такой системой оказалась молекула параводорода. К сожалению, величина  $P$ -нечетных эффектов в параводороде слишком мала для современных экспериментов. Тем не менее, быстрое развитие экспериментальных методов может сделать эти эффекты наблюдаемыми в обозримом будущем.

Во второй главе диссертации обсуждается зависящий от спина ядра  $P$ -нечетный эффект в молекуле ортоводорода. Такие эффекты пока еще не наблюдались и представляют большой интерес. Особенность молекулы водорода в том, что тут  $P$ -нечетный эффект связан с нейтральными электрон-ядерными токами, тогда как в более тяжелых системах доминирует вклад ядерного анапольного момента. Ожидаемая величина эффекта здесь существенно больше, чем в параводороде, и этот эффект в принципе может быть обнаружен на современном уровне экспериментальной чувствительности.

Две последних главы диссертации посвящены  $P,T$ -нечетному эффекту Фарадея – то есть вращению плоскости поляризации света во внешнем электрическом поле. В третьей главе речь идет о тяжелых атомах (от Cs до Ra), а в четвертой – о молекуле PbF. Автором проведены достаточно сложные расчеты электронных матричных элементов переходов и матричных элементов электрического дипольного момента электрона для атомов Xe, Se, Hg, Tl, Pb и Ra и для молекулы PbF. Эти расчеты сделаны на очень хорошем уровне с использованием современных методов расчетов, которые позволяют аккуратно учитывать и релятивистские эффекты, и электронные корреляции. Автор сравнивает чувствительность экспериментов по наблюдению  $P,T$ -нечетного эффекта Фарадея с молекулярными экспериментами по прецессии спина электрона в электрическом поле и приходит к выводу, что современное ограничение на ЭДМ электрона может быть уточнено на несколько порядков. Возможно, это утверждение является слишком оптимистичным. Тем не менее, обсуждение нового типа экспериментов по поиску ЭДМ электрона несомненно актуально и своевременно.

Хотя в целом диссертация хорошо написана, но в тексте довольно часто встречаются стилистические небрежности и не вполне точные формулировки. В качестве примера первого типа можно привести оборот «...сильно усиленные ЭДМ ядер» (стр. 9). Нередко встречаются очень громоздкие фразы, которые трудно дочитать не сбившись. Так, при перечислении результатов главы 4 на стр. 87, первый пункт состоит из одного



предложения на 9 строк. Примером второго типа может быть утверждение: «Было давно известно, что эффект Р-нечетного электрон-ядерного взаимодействия в нейтральных атомах растет с зарядом ядра  $Z$  приблизительно как  $Z^3$  [11,16]. Таким образом, очевидно, что разумным выбором могут быть тяжелые многозарядные ионы...» (стр. 6). Здесь зависимость от  $Z$  для нейтральных атомов переносится на многозарядные ионы, в то время как для них эта зависимость совсем иная. Другой пример не вполне правильной логики: «Чем больше  $\Omega$ , тем меньше  $\Omega$ -расщепление и, следовательно, сильнее как Р-, так и Р,Т-нечетные эффекты.» (стр. 9). Это утверждение (с некоторыми оговорками) правильно для Р,Т-нечетных эффектов, но не для Р-нечетных. Дело в том, что Р-нечетное взаимодействие может напрямую смешивать уровни  $\Omega$ -дублета только для  $\Omega=1/2$ , а для больших  $\Omega$  матричный элемент подавлен и никакого дополнительного усиления не происходит. Эти замечания носят частный характер и не меняют общего весьма положительного впечатления от работы.

Диссертация Чубукова Дмитрия Валерьевича на тему: «Нарушение фундаментальных симметрий в атомах и молекулах: Р, Т-нечетный эффект Фарадея и Р-нечетная оптическая активность» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Чубуков Дмитрий Валерьевич заслуживает ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета

доктор ф.-м. наук, ведущий научный сотрудник

Петербургского института ядерной физики



Козлов Михаил Геннадьевич

24 мая 2020 г.

Подпись руки  
ЗАВЕРЯЮ  
НАЧАЛЬНИК ОУДЕЛА КАДРОВ

*Козлова М. Г.*

