

Учреждение Российской академии наук
Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе

Ioffe Physical-Technical Institute of the Russian Academy of Sciences

Третье Всероссийское совещание
*Прецизионная физика и фундаментальные
физические константы*

(С. Петербург, 7-10 декабря 2010 г.)

Международный симпозиум
*Пятьдесят лет по пути
к квантовым единицам СИ*

(С. Петербург, 6 декабря 2010 г.)

Тезисы докладов

*Third Workshop on Precision Physics and
Fundamental Physical Constants*

(St. Petersburg, December, 7-10, 2010)

An international satellite meeting
Fifty years of efforts toward quantum SI units

(St. Petersburg, December, 6, 2010)

Book of abstracts

Санкт-Петербург, 2010
(St. Petersburg, 2010)

Оглавление / Contents

An international satellite meeting “Fifty years of efforts toward quantum SI units” (abstracts in English) 7

Международный симпозиум “Пятьдесят лет по пути к квантовым единицам СИ” (тезисы на английском языке) 7

<i>S. G. Karshenboim</i> , Constants, units and so on	8
<i>F. Piquemal</i> , Determination of fundamental constants in quantum electrical metrology	9
<i>P. J. Mohr</i> , Recent progress in fundamental constants and the International System of Units	10
<i>E. de Mirandés</i> , Linking macroscopic mass standards to physical constants . . .	11
<i>J. Fischer</i> , Determination of the Boltzmann constant and new definition of the kelvin	12
<i>M. E. Himbert</i> , SI units and Fundamental Physics	13
<i>J. Guéna</i> , Testing the stability of fundamental constants using LNE-SYRTE clock ensemble	14
<i>S. Eidelman</i> , Status of muon $g - 2$	15

Third Workshop on Precision Physics and Fundamental Physical Constants (abstracts in Russian) 17

Третье Всероссийское совещание “Прецизионная физика и фундаментальные физические константы” (тезисы на русском языке) 17

Пленарные доклады

<i>Е. Б. Александров</i> , Прецизионные измерения магнитного поля	20
<i>Н. Т. Баграев, Л. Е. Клячкин, А. А. Кудрявцев, А. М. Маляренко</i> , Дробная проводимость кремниевых квантовых проволок	21
<i>С.А. Балашев, А. В. Иванчик, Д. А. Варшалович, П. Петижан</i> , Ограничение на вариацию $\mu = m_p/m_e$ на больших красных смещениях	22
<i>Д. А. Варшалович, А. В. Иванчик, С. А. Балашев</i> , Отношение изотопов D/H в эпоху прецизионной космологии	23
<i>А. В. Волотка, Д. А. Глазов, В. М. Шабаев, И. И. Тупицын, G. Plunien</i> , Прецизионные расчеты сверхтонкой структуры в многозарядных ионах	24
<i>Ю. Н. Гнедин</i> , Новые аспекты аксионной астрономии	25
<i>К. Рачуцкі, В. А. Ерохин</i> , Тонкая структура легких гелиеподобных атомов и постоянная тонкой структуры	26

<u>С. Г. Каршенбойм</u> , Ограничение на легкие нейтральные частицы из прецизионной атомной физики	27
<u>М. Г. Козлов</u> , Прецизионные расчеты атомов с несколькими валентными электронами	28
<u>Н. Н. Колачевский</u> , <u>А. В. Матвеев</u> , <u>К. Г. Партей</u> , <u>Я. Алнис</u> , <u>Р. Поль</u> , <u>У. Ентшура</u> , <u>Т. Удем</u> , <u>Т.В. Хэнш</u> , Измерение изотопического сдвига водород-дейтерий на переходе $1S - 2S$	29
<u>Е. Ю. Корзинин</u> , <u>В. Г. Иванов</u> , <u>В. А. Шелото</u> , <u>С. Г. Каршенбойм</u> , Вклад рассеяния света на свете в лэмбовский сдвиг в мюонном водороде	30
<u>В. И. Коробов</u> , Прецизионная спектроскопия легких ядер и молекул	31
<u>А. Бондаревская</u> , <u>А. Прозоров</u> , <u>Л. Лабзовский</u> , <u>Г. Плоннен</u> , <u>Д. Лисен</u> , <u>Ф. Бош</u> , Теория поляризации высокозарядных ионов в накопительных кольцах: получение, сохранение, измерение и применение к поиску нарушений фундаментальных симметрий	32
<u>А. В. Лапинов</u> , Прецизионная спектроскопия межзвездных молекул и поиск m_e/m_p вариаций	33
<u>Т. Н. Мамедов</u> , Магнитный момент отрицательного мюона на 1s-уровне различных атомов	34
<u>С. А. Запрягаев</u> , <u>Н. Л. Манаков</u> , <u>С. И. Мармо</u> , <u>И. С. Ненашев</u> , Динамические поляризуемости многозарядных ионов	35
<u>А. А. Крутов</u> , <u>А. П. Мартыненко</u> , Сверхтонкая структура основного состояния мюонного гелия	36
<u>М. К. Есеев</u> , <u>А. Г. Кобец</u> , <u>И. Н. Мешков</u> , <u>Ю. А. Рудаков</u> , <u>Л. В. Соболева</u> , <u>С. Л. Яковенко</u> , Развитие проекта LEPТА	37
<u>В. К. Милюков</u> , <u>Джун Луо</u> , Ньютоновская гравитационная постоянная: современный статус и проблемы экспериментального определения	38
<u>Ю. И. Неронов</u> , Эксперименты по прецизионному определению магнитных моментов легчайших ядер	39
<u>А. В. Нестеренок</u> , Мазерное излучение H_2O активных ядер галактик и прецизионная космология	40
<u>В. Д. Овсянников</u> , <u>А. Деревянко</u> , <u>К. Гиббл</u> , Ридберговские атомы в оптических решетках для прецизионных измерений температуры теплового излучения	41
<u>М. С. Онегин</u> , Новые ограничения на изменение фундаментальных констант из анализа продуктов выгорания топлива в реакторе Окло	42
<u>К. Pachucki</u> , Accurate theory of the hydrogen molecule	43
<u>Е. В. Питьева</u> , <u>Н. П. Питьев</u> , Оценки возможных изменений массы Солнца, гравитационной постоянной и астрономической единицы	44
<u>В. Н. Руденко</u> , Измерения слабых гравитационных возмущений на большебазовых лазерных интерферометрах	45
<u>А. П. Серебров</u> , <u>А. К. Фомин</u> , Новое среднемировое значение времени жизни нейтрона и Стандартная Модель	46
<u>Д. А. Соловьев</u> , <u>Л. Н. Лабзовский</u> , <u>В. К. Дубрович</u> , Многофотонные процессы излучения при наличии каскадов в космологической рекомбинации для атома водорода	47
<u>А. В. Титов</u> , <u>А. Н. Петров</u> , <u>Л. В. Скрипников</u> , <u>Н. С. Мосягин</u> , Молекулы с тяжелыми атомами как ключевые объекты для поиска эффектов несохранения временной инвариантности	48

<u>И. И. Тупицын</u> , Релятивистские расчеты вероятностей и сечений перезарядки при столкновении водородоподобных ионов с голым ядром	49
<u>В. В. Федоров</u> , Дифракция нейтронов в нецентросимметричных кристаллах. Новый метод поиска электрического дипольного момента нейтрона	50
<u>Г. В. Федотович</u> , Измерение адронных сечений на ВЭПП-2000 и (g-2) мюона	51
<u>А. С. Руденко</u> , <u>И. Б. Хрипович</u> , Можно ли наблюдать CP-нарушение в столкновениях тяжелых ионов?	52
<u>В. А. Шелото</u> , Радиационные поправки к отдаче к сверхтонкому расщеплению в мюонии, связанные с рассеянием	53
<u>С. И. Эйдельман</u> , Прецизионные измерения массы τ -лептона	54
<u>М. И. Эйдес</u> , Универсальные ведущие релятивистские поправки к g факторам связанных состояний	55
<u>R. Engels</u> , <u>M. Westig</u> , <u>K. Григорьев</u> , <u>M. Микуртычьяни</u> , <u>F. Rathmann</u> , <u>H. Paetz gen. Schieck</u> , <u>G. Schug</u> , <u>A. Васильев</u> , <u>H. Stroehrer</u> , Прецизионная спектроскопия водорода для $n=2$ с использованием спинфилтра	56

Стендовые доклады

<u>О. В. Андреев</u> , <u>А. В. Воложка</u> , <u>Д. А. Глазов</u> , <u>В. М. Шабаев</u> , <u>G. Plumien</u> , Расчет поправок на поляризацию вакуума к сверхтонкой структуре многозарядных ионов	58
<u>К. И. Бакланов</u> , <u>А. Н. Петров</u> , <u>А. В. Титов</u> и <u>М. Г. Козлов</u> , К поиску электрического дипольного момента электрона. Теоретическое изучение молекулы RbF	59
<u>А. В. Майорова</u> , <u>Д. А. Тельнов</u> , <u>В. М. Шабаев</u> , <u>В. А. Зайцев</u> , <u>G. Plumien</u> и <u>Th. Stöhlker</u> , Эффект кулоновской глории в столкновениях антипротонов с тяжёлыми ядрами	60
<u>А. Н. Матвеев</u> , <u>Н. Н. Колачевский</u> , <u>C. G. Parthey</u> , <u>J. Alnis</u> , <u>A. Beyer</u> , <u>Th. Udem</u> , <u>R. Holzwarth</u> , <u>D. Rovera</u> , <u>M. Abgrall</u> , <u>Ph. Laurent</u> , <u>T.W. Hänsch</u> , Генерация и распределение эталонной частоты для прецизионных измерений на основе водородного лазера и приемника GPS	61
<u>Н. Л. Манаков</u> , <u>А. А. Некипелов</u> , Поляризация вакуума ядром конечных размеров: численная аппроксимация плотности и потенциала	62
<u>А. Н. Петров</u> , <u>Л. В. Скрипников</u> , <u>Н. С. Мосягин</u> , <u>А. В. Титов</u> , Поиск электрического дипольного момента в молекулярных системах	63
<u>А. В. Площинский</u> , <u>Ю. П. Семенов</u> , Прогресс в создании национального эталона ома на основе фундаментальных физических констант	64
<u>А. М. Пучков</u> , Эффекты несохранения четности на запрещенных магнитодипольных переходах в атоме водорода и легких водородоподобных ионах	65
<u>Л. В. Скрипников</u> , <u>А. В. Титов</u> , <u>А. Н. Петров</u> , <u>Н. С. Мосягин</u> , К поиску Р,Т-нечётных свойств на $\text{Eu}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{TiO}_3$: расчёт коэффициента усиления электрического дипольного момента электрона в Eu^{++}	66
<u>Г. М. Трунов</u> , О предстоящем переопределении ампера	67
<u>Г. М. Трунов</u> , Возможно ли одновременно фиксировать значения постоянной Планка h и элементарного заряда e отдаче к сверхтонкому расщеплению в мюонии, связанные с рассеянием	68

<i>Е. Е. Холупенко, А. В. Иванчик, Д. А. Варшалович</i> , Реликтовое излучение как источник информации о возможном изменении фундаментальных констант	69
<i>R. Engels, M. Westig, К. Григорьев, М. Мижиртычяни, F. Rathmann, Н. Paetz gen. Schieck, G. Schug, А. Васильев, Н. Stroehel</i> , Прецизионная спектроскопия водорода для $n=2$ с использованием спинфилтра	70
<i>M.N. Achasov, P.M. Astigeevich, V.M. Aulchenko, A.Yu. Barnyakov et al.</i> , Spherical Neutral Detector for experiments at VEPP-2000 e^+e^- collider . .	71
<i>Р. Р. Ахметшин, В. М. Аульченко, В. Ш. Банзаров, Л. М. Барков и др.</i> , Детектор КМД-3	72

An international satellite meeting
“Fifty years of efforts toward quantum SI units”

(St. Petersburg, December, 6, 2010)

Abstracts

Международный симпозиум
*“Пятьдесят лет по пути
к квантовым единицам СИ”*

(С. Петербург, 6 декабря 2010 г.)

Тезисы докладов (на английском языке)

Scientific organizers: Savely Karshenboim (VNIIM, St. Petersburg, and MPQ, Garching) and François Piquemal (LNE, Paris)

Local organizer: Alexandre Ivanchik (Ioffe Institute, St. Petersburg)

The meeting is supported in part by A.F. Ioffe Physical-technical institute and Particle data group and endorsed by the CODATA Task group on fundamental constants, Laboratoire national de metrologie et d’essais and Russian national CODATA task group on fundamental constants.

Constants, units and so on – Константы, единицы и всё такое

S. G. Karshenboim

D. I. Mendeleev Institute for Metrology, St. Petersburg, 190005, Russia
Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching, 85748, Germany

Any practical system of units and, in particular, SI, is a system of definitions of units which should allow their efficient realization. Definitions of units in terms on natural constants have been attractive for a while, but until now it was hard to realize such a system in practice. Now, it is a good time to re-define the SI units in such a way that they will be realized in terms of natural constants and quantum phenomena.

A purpose of the satellite meeting is to review the present state of art in the field and in particular recent progress in determination of the fundamental constants and prospects in realization of quantum units.

Любая практическая система единиц и, в частности, СИ, – это система единиц, которая должна допускать эффективную реализацию. Определение единиц в терминах естественных констант всегда было привлекательным, но до недавнего времени такую систему было тяжело реализовать на практике. Теперь пришло время переопределить единицы СИ так, чтобы они были реализованы в терминах фундаментальных констант и квантовых явлений.

Цель нашего сателлит-симпозиума представить состояние дел и, в частности, недавний прогресс в определении значений фундаментальных констант и перспективы реализации квантовых единиц.

Determination of fundamental constants in quantum electrical metrology

F. Piquemal

Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE)

The reform of the International System of Units (SI) towards a system where all units are defined in terms of constants of Nature is undoubtedly one of the key issues of the modern metrology. Giving up the present definition of the mass unit defined by means of a unique material artefact, the international kilogram prototype, the trend is to define the mass unit by fixing the value of the Planck constant h . In the same way, the ampere, the kelvin and the mole would be redefined by fixing the elementary charge e , the Boltzmann constant k_B and the Avogadro constant N_A respectively. This present context arises partly from the metrological applications of the quantum Hall effect (QHE) and the ac Josephson effect (JE). These phenomena link the electrical quantities directly to h and e , through the von Klitzing constant R_K and the Josephson constant K_J , which are presumably equal to h/e^2 and $2e/h$, respectively. They insure a high level of reproducibility and a unique representation of the electrical units worldwide. Moreover, through the development of highly accurate electromechanical systems such as the calculable capacitor or the watt balance, the use of the Josephson array voltage standards (JAVS) and the quantum Hall resistance standards (QHRS) allows the determination of the fine structure constant α and h .

Thanks to the great progress of nanofabrication, a new class of quantum electrical devices has emerged, the so-called Single Electron Tunnelling (SET) devices based on the Coulomb blockade. Similar to JAVS and QHRS, the SET devices could be the basis for a quantum current standard whose amplitude is equal to the product of the elementary charge and a frequency. The Coulomb blockade of the SET provides the third leg of the quantum metrological triangle (QMT). Its closure by applying Ohm's law to the quantities observed in JAVS, QHRS and SET devices, or by means of an electron counting capacitance standard (ECCS) is a great challenge. In addition, by combining the results from the watt balance, the calculable capacitor and a single-electron tunnelling experiment, the elementary charge e can be determined directly. Until now, the evaluation of e is derived from a complex calculation and is no more related to a single experiment.

The talk will deal with the quantum electrical metrology and the determination of α , h and e . The general principles of the Thompson-Lampard calculable capacitor and the watt balance will be given along with their main features. Then the QMT experiments will be described, mainly the experimental set-up which involves the use of cryogenic current comparators.

Recent progress in fundamental constants and the International System of Units

Peter J. Mohr

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA 20899-8420

The International System of Units (SI) is likely to undergo a somewhat revolutionary change in the near future. The Consultative Committee on Units (CCU) has recommended that new definitions of the kilogram, ampere, kelvin, and mole, based on specified values of the Planck constant, the elementary charge, the Boltzmann constant, and the Avogadro constant, should be adopted. In its most recent meeting in September 2010, the CCU went a step further and drafted a new proposed definition of the entire SI based on simply specifying that a particular set of constants would have certain values when expressed in the new SI units. This is a break from the earlier concept of measurement standards based on tangible artifacts, although the new type of definition is already effectively in place for the meter. This new definition of the SI would have a significant impact on the values of the fundamental constants, because many of them would then have either exact values or values with greatly reduced uncertainties. The proposed redefinition and its effect on the fundamental constants will be discussed.

Linking macroscopic mass standards to physical constants

Estefanía de Mirandés

*Bureau International des Poids et Mesures
Pavillon de Breteuil, 92312 Sèvres cedex, France*

Since 1889, the unit of mass in the International System (SI) -the kilogram- has been defined as the mass of the international prototype of the kilogram (IPK) which is kept at the BIPM, near Paris. However, the mass of this macroscopic artifact is not a natural invariant or "fundamental" quantity such as, for example, the mass of the electron. In addition, from several mass comparisons involving the IPK, scientists suspect that the mass of IPK may be slightly decreasing in time with a relative average rate of 0.5×10^{-9} /year. Therefore, the long-term stability of the SI mass unit is not assured.

To correct this situation, we need a new standard whose mass, m_s , is truly invariant in time and space. Two routes are currently being explored:

- m_s based on the mass of an atom of carbon-12, $m_s \propto m(^{12}\text{C})$.
- m_s derived from a given energy equivalent E_s , $m_s = E_s/c^2$ using the well known Einstein's equation (c is the speed of light in vacuum). If this energy is now expressed in terms of frequency f , $E = hf$, (h is the Planck constant) the mass standard can be defined as that mass with a given associated frequency f in the rest frame of the particle:

$$m_s = (h/c^2)f \tag{1}$$

Notice that in equation (1) both h and c are physical constants, invariant in space and time, and therefore m_s becomes also an invariant.

To ensure the continuity of the mass unit at the time of the redefinition, the challenge is to measure before very accurately m_s in terms of $m(\text{IPK})$. Two outstanding experiments are at present claiming a relative uncertainty on $m_s/m(\text{IPK})$ of about 30×10^{-9} :

- the international Avogadro coordination (IAC) project measures the ratio $m(^{12}\text{C})/m(\text{IPK})$.
- the watt balance experiment measures the ratio $h/m(\text{IPK})$. Notice that in the present International System of Units (SI) the numerical value of the speed of light in vacuum c is fixed, and therefore has no uncertainty.

The value of $h/m(^{12}\text{C})$, the units of which are independent of the kilogram, is already well-known (with a relative uncertainty better than 0.7×10^{-9}) and thus serves as a check on the consistency of these two methods.

Once $m_s/m(\text{IPK})$ is well known, one can fix the numerical value of the physical constant behind m_s , instead of fixing $m(\text{IPK})$. It has been proposed to fix either the Avogadro constant $N_A = \frac{12 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{m(^{12}\text{C})}$ or the Planck constant h , with a preference for h . As far as realizing 1 kg in practice, the "Avogadro" route or the watt balance route to the kilogram are equivalent.

The talk will review progress in establishing the traceability of h and $m(^{12}\text{C})$ to $m(\text{IPK})$, the related questions of realizing and disseminating the new definition of the kilogram and consequences for the metrology of mass and related quantities.

Determination of the Boltzmann Constant and new Definition of the Kelvin

Joachim Fischer

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Abbestr. 2-12, 10587 Berlin, Germany

The unit of temperature T , the kelvin is presently defined by the temperature of the triple point of water. Thus, the kelvin is linked to a material property. Instead, it would be advantageous to proceed in the same way as with other units: to relate the unit to a fundamental constant and fix its value. By this no temperature value and no measurement method would be favoured. For the kelvin, the corresponding constant is the Boltzmann constant k , because temperature always appears as thermal energy kT in fundamental laws of physics. For fixing the value, the present value of k needs to be confirmed by several independent measurement methods.

To encourage new determinations of the Boltzmann constant, the Consultative Committee for Thermometry (CCT) recommended “that national laboratories initiate and continue experiments to determine values of thermodynamic temperature and the Boltzmann constant” [1], which is also asked for by the recommendation of the International Committee for Weights and Measures (CIPM) concerning preparative steps towards new definitions of the kilogram, the ampere, the kelvin and the mole [2]. Within the CCT, a task group (TG-SI) has considered the implications of changing the definitions of the above-mentioned base units of the SI, with particular emphasis on the kelvin and the impact of the changes on metrology in thermometry [3]. The findings will be reported in this contribution.

In response to the recommendation of the CCT [1], many projects have been started to measure independently the value of the Boltzmann constant. These are acoustic gas thermometry, dielectric-constant gas thermometry using audio-frequency capacitance bridges, and measurement of n with refractive index gas thermometry applying optical resonators. Another promising methods for determining k are Doppler-broadening thermometry and Johnson noise thermometry. The progress achieved so far and the potential of the methods will be reviewed.

-
- [1] CCT Recommendation T2 (2005) to the CIPM: New determinations of thermo-dynamic temperature and the Boltzmann constant, Working Documents of the 23rd Meeting of the Consultative Committee for Thermometry. Sèvres: BIPM, *Document CCT/05-Rec-T2*, 2005, http://www.bipm.org/cc/CCT/Allowed/23/CCT_05_30_rev.pdf
 - [2] CIPM Recommendation 1 (CI-2005): Preparative steps towards new definitions of the kilogram, the ampere, the kelvin and the mole in terms of fundamental constants. Sèvres: BIPM, 2005
 - [3] J. Fischer, S. Gerasimov, K. D. Hill, G. Machin, M. Moldover, L. Pitre, P. Steur, M. Stock, O. Tamura, H. Ugur, D. R. White, I. Yang, and J. Zhang: Report to the CIPM on the implications of changing the definition of the base unit Kelvin. Sèvres: BIPM, 2007, http://www.bipm.org/wg/CCT/TG-SI/Allowed/Documents/Report_to_CIPM_2.pdf

SI units and Fundamental Physics

M. E. Himbert¹

Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE)

The present definitions of the units in the SI gather several different approaches of what a definition of a unit could be and should be, according mainly to the use in measurement towards which scientists and less-scientists were focused at the time of the set up of the definition.

The forthcoming evolution of the SI, proposed as a draft to the International Committee of Weights and Measures (CIPM) by its Consultative Committee of Units (CCU), tends to link almost any definition of base -and derived-units to fundamental physical constants (as presently for the metre and the ampere) and to constants of nature (as presently for second and kelvin). The choice of the constants on which the system will be settled, as well as the words to be used in the definitions, result from long and fruitful discussions in many groups, involving scientists and (with overlap, of course) metrologists. The key point is the kind of physical model and of the related quantities which is to be fixed as reference for the definition of the units.

This link has been emphasized in many cases in the history of the systems of units. The talk will try to illustrate in which way physical laws are taken into account in the measurement of physical constants, and so involved in the definitions of units, in the past and in the future. It will also recall the discussion about the way the definitions could be expressed, and try to emphasize which are the scientific goals behind these choices.

(1) *Marc Himbert is personal member of the CCU and participates in the Committee "Science and metrology" of the French Academy of Science*

Testing the stability of fundamental constants using LNE-SYRTE clock ensemble

J. Guéna

LNE-SYRTE, Observatoire de Paris, UPMC, UMR CNRS 8630

SYRTE is developing an ensemble of high performance atomic clocks and precision oscillators, whose main application is to contribute to the definition of the international atomic time TAI and S.I. second. This unique ensemble comprises three atomic fountain clocks, one is a dual Rb/Cs fountain and another is a transportable Cs fountain, all of them being primary frequency standards. The clock ensemble also comprises three optical lattice clocks, as well as ultra stable microwave and optical oscillators. This clock ensemble is connected to worldwide remote locations through satellite time and frequency transfer systems. Such an ensemble provides a large number of possibilities for testing fundamental physical laws, relying on the high accuracy and high stability of these devices.

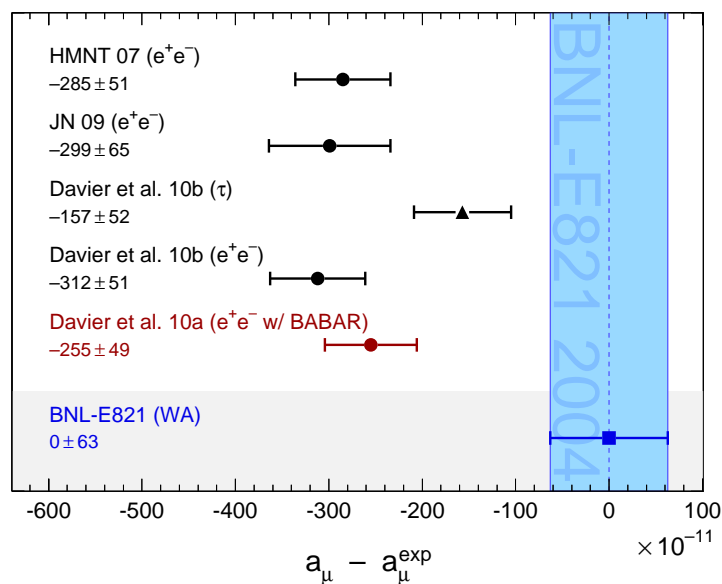
We will report on recent progress in the level of performance and on some fundamental tests using LNE-SYRTE clocks. This includes new and improved comparisons between the Rb and Cs fountain clocks. This also includes absolute frequency measurements of several optical frequencies using the atomic fountains, in particular the SYRTE transportable fountain FOM. We will present the application of these measurements to test the stability of fundamental constants with time. We will also give an overview on the present status of the Sr and Hg optical lattice clocks and on the development of optical links towards distant time and frequency comparison over Europe. In the future, improved fundamental tests will be done using the possibilities offered by the PHARAO cold atom space clock, developed by CNES, a major component of the Atomic Clock Ensemble in Space (ACES) mission of the European Space Agency. We will give an overview of the status of the PHARAO/ACES project.

Status of Muon $g - 2$

S. Eidelman^a

^a *Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia*

Comparison of the experimental and theoretical values of the muon magnetic anomaly remains one of the very few tests of the Standard Model (SM) hinting to its possible violation. The figure below shows the current status of the SM prediction including the recent reanalysis of the leading-order hadronic contribution [1] based on the new ISR measurement of the 2π channel by BABAR [2]. It also includes some other recent evaluations [3, 4, 5]. All e^+e^- based results show a more than 3σ deviation from experiment whereas the τ based estimate [5] is much closer to the measurement [6].



-
- [1] M. Davier *et al.*, Eur. Phys. J. C **66**, 1 (2010).
 - [2] B. Aubert *et al.* (BABAR Collaboration), Phys. Rev. Lett. **103**, 231801 (2009).
 - [3] K. Hagiwara *et al.*, Phys. Lett. B **649**, 173 (2007).
 - [4] F. Jegerlehner and A. Nyffeler, Phys. Repts. **477**, 1 (2009).
 - [5] M. Davier *et al.*, Eur. Phys. J. C **66**, 127 (2010).
 - [6] G.W. Bennett *et al.*, Phys. Rev. D **73**, 072003 (2006).

Третье Всероссийское совещание
“Прецизионная физика и
фундаментальные физические константы”

Тезисы докладов

Third Workshop
on Precision Physics and Fundamental
Physical Constants

Abstracts

Организационный комитет

Сопредседатели:

Д. А. Варшалович (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
С. Г. Каршенбойм (ВНИИМ)

Учёный секретарь конференции:

А. В. Иванчик (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)

Члены Организационного комитета:

Н. Н. Аруев (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
С. Н. Багаев (ИЛФ СО РАН)
С. А. Балашёв (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
А. Д. Каминкер (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
В. И. Коробов (ОИЯИ)
И. Н. Мешков (ОИЯИ)
Р. Н. Фаустов (ВЦ РАН)
В. А. Шелюто (ВНИИМ)
И. Б. Хриплович (ИЯФ СО РАН)
С. И. Эйдельман (ИЯФ СО РАН)

Всероссийское совещание по прецизионной физике и фундаментальным физическим константам (ФФК'10) организовано учреждением Российской академии наук Физико-техническим институтом имени А.Ф. Иоффе (ФТИ им. А.Ф. Иоффе) и Рабочей группой РНК КОДАТА по фундаментальным физическим константам при поддержке Группы свойств элементарных частиц (PDG), Международной рабочей группы КОДАТА по фундаментальным физическим константам, Научного совета РАН по метрологическому обеспечению и стандартизации, Российского национального комитета по сбору и оценке численных данных в области науки и техники (КОДАТА) при РАН и Всероссийского научно-исследовательского института метрологии им. Д.И. Менделеева.

Совещание поддержано Российским фондом фундаментальных исследований (грант 10-02-06169-г).

Пленарные доклады

Прецизионные измерения магнитного поля

Е.Б. Александров

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе

В настоящее время метрология частоты (времени), длины и индукции магнитного поля опирается на точные измерения энергии микроволновых и радиочастотных $M1$ -переходов некоторых атомов. Основой метрологии частоты служит переход $F=3, m_F=0 \longleftrightarrow F=4, m_F=0$ атомов цезия в основном состоянии с долговременной стабильностью порядка 10^{-15} . Однако уже в ближайшие годы первичный стандарт частоты повысит стабильность, перейдя в оптический диапазон с использованием запрещённых электродипольных атомных переходов. Первичный стандарт индукции магнитного поля основан на свободной прецессии протонов, обладая абсолютной точностью около 1 нТ. Вместе с тем, разработано несколько магнитометров на основе оптической накачки атомных парамагнетиков, показания которых воспроизводятся с точностью до 10 пТ, а чувствительность доходит до 1 фТ. Рассмотрены некоторые перспективные направления дальнейшего развития техники измерения частоты и индукции магнитного поля.

Дробная проводимость кремниевых квантовых проволок

Н.Т. Баграев, Л.Е. Клячкин, А.А. Кудрявцев, А.М. Маляренко

Физико-Технический институт имени А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

Многомодовая квантовая проволока была получена с помощью методики расщепленного затвора внутри сверхузкой кремниевой квантовой ямы (СКЯ) р-типа на поверхности кремния (100) n-типа проводимости. О наличии такой квазиодномерной квантовой проволоки свидетельствовала зарегистрированная квантовая лестница дырочной проводимости, которая наблюдалась при изменении величины напряжения расщепленного затвора. Причем величина каждой ее ступени равна $2e^2/h$, а их число соответствовало количеству мод, M , - числу баллистических одномерных каналов внутри квантовой проволоки. Первая ступенька квантовой лестницы проводимости была расщеплена, демонстрируя " $0.7(2e^2/h)$ " особенность, возникающую вследствие спиновой поляризации одномерных дырок. С целью идентификации механизма спиновой поляризации двумерных и одномерных дырок был изготовлен вертикальный затвор, который позволил варьировать напряжением, приложенным перпендикулярно плоскости СКЯ, при фиксированном значении напряжения расщепленного затвора в области " $0.7(2e^2/h)$ " особенности. Полученные результаты свидетельствуют о возникновении спонтанной спиновой поляризации одномерных дырок при малых значениях их плотности, а также о возможности управлять ее величиной вследствие влияния спин-орбитального взаимодействия Бычкова-Рашибы. Далее квантовая лестница проводимости с " $0.7(2e^2/h)$ " особенностью на первой ступени была использована для исследований спиновой интерференции с помощью трехтерминального интерферометра Ааронова-Бома (АБ) [1], полученного на основе квазиодномерного кремниевого кольца, в одно из плеч которого была встроена короткая квантовая проволока. В условиях варьирования напряжением вертикального затвора и величины внешнего магнитного поля было обнаружено дробное поведение " $0.7(2e^2/h)$ " особенности, которое проявлялось в виде плато и ступеней соответственно для дробей с нечетным и четным знаменателем [1]. Эти исследования сделали возможным экспериментальную реализацию эталона сопротивления на основе четырехмодовой кремниевой квантовой проволоки с дробной квантовой лестницей проводимости.

[1] N.T. Bagraev et al., J. Phys.:Condens. Matter, 20 (2008) 164202

Ограничение на вариацию $\mu = m_p/m_e$ на больших красных смещениях

С.А. Балашев^a, А.В. Иванчик^{a,b}, Д.А. Варшалович^{a,b}, П. Петижан^c

^a *Физико-Технический институт имени А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия*

^b *Кафедра космических исследований, Санкт-Петербургский Политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия*

^c *Université Pierre et Marie-Curie, Institut d'Astrophysique de Paris, Paris, France*

В докладе представлено новое ограничение на вариацию физической константы отношения массы протона к электрону $\mu = m_p/m_e$ на космологических временах, используя линии поглощения молекул H_2 и HD, регистрируемые в спектрах квазаров. Абсорбционные системы H_2 и HD обычно представляют собой компактные одиночные облака, такие что ширина линии поглощения H_2 и HD меньше, чем ширина аппаратной функции для спектров телескопов UVES и Keck ($b \approx 6$ km/s). Это предоставляет возможность использования абсорбционных линий H_2 и HD для предельного для современных оптических телескопов определения относительного сдвига линий, а вследствие этого ограничения на вариацию μ . В предыдущих работах [1], [2], [3], [4], [5] при использовании линий H_2 была показана возможность изменения постоянной μ со временем на уровне $\Delta\mu/\mu \approx 2 \times 10^{-5}$ для красных смещений $z \approx 2$.

В данной работе мы использовали ранее неисследованные для определения ограничения на вариацию μ спектры квазаров, полученные на телескопе VLT/UVES: Q0027-1836, Q 0643-5038, Q 1232+0815 и на телескопе KECK/HIRES: Q 0812+3208. Также мы провели анализ ранее исследованных на предмет вариации μ спектров квазаров Q 0347-3819 and Q 0405-4418 и Q 0528-2505. В результате анализа мы получили ограничение на вариацию μ на уровне $|\Delta\mu/\mu| < 1 \times 10^{-5}$. Отметим, что предыдущие авторы сильно расходятся в оценке ошибки на измеряемую вариацию μ . В работе рассматриваются возможные систематические эффекты, которые могут имитировать вариацию μ , такие как неточность калибровки и сложения экспозиций спектров, наличие неразрешенного профиля скоростной структуры облака, влияние аппаратной функции спектрографа и др.

-
- [1] Ivanchik A.V. et al., *Astronomy and Astrophysics*, Volume 440, Issue 1, pp.45, 2005
 - [2] Reinhold E., et al., *Physical Review Letters*, Volume 96, Issue 15, id. 151101, 2006
 - [3] Wendt M. & Reimers D., *The European Physical Journal Special Topics*, Volume 163, Issue 1, pp.197-206, 2008
 - [4] Wendt M. & Molaro P., arXiv:1009.3133, 2010
 - [5] Malec A.L. et al., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 403, Issue 3, pp. 1541-1555, 2010

Отношение изотопов D/H в эпоху прецизионной космологии

Д.А. Варшалович^{a,b}, А.В. Иванчик^{a,b}, С.А. Балашев^a

^a *Физико-Технический институт имени А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия*

^b *Кафедра космических исследований, Санкт-Петербургский Политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия*

Обсуждается проблема определения содержания в молекулярных облаках первичного дейтерия, который наиболее чувствителен к одному из ключевых космологических параметров - плотности барионной материи во Вселенной, Ω_b . Для оценки распространенности дейтерия используются распространенности молекул HD и H₂, оцененные из абсорбционных систем спектров далеких квазаров. Типичное значение красного смещения используемых абсорбционных систем $z \sim 2$, что соответствует возрасту Вселенной около 10-12 млрд. назад. Оцененное содержание тяжелых элементов в этих облаках на один-два порядка ниже солнечного, что указывает на то, что распространенность элементов в этих облаках близка к первичному значению. Это важно так как считается, что дейтерий в ходе звездной эволюции выгорает и дает возможность использовать полученные значения распространенности молекул для оценки изотопического отношения D/H.

Измеренное в абсорбционных облаках отношение HD/H₂ для этих молекулярных систем оказалось значительно выше типичных значений, измеряемых в облаках нашей Галактики. Используя модель химии молекулярного облака мы оценили $D/H = HD/2H_2 = (2.97 \pm 0.55) \times 10^{-5}$ [1], [2] и соответствующую ему барионную плотность $\Omega_b h^2 = 0.0205_{-0.0020}^{+0.0025}$. Оцененное значение находится в хорошем согласии с величиной $\Omega_b h^2 = 0.0226_{-0.0006}^{+0.0006}$ [3] полученной из анализа анизотропии реликтового излучения.

[1] Ivanchik A.V. et al., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 404, Issue 3, pp. 1583-1590, 2010

[2] Balashev S.A. et al., Astronomy Letters, Volume 36, Issue 11, pp.761-77, 2010

[3] Komatsu E. et al., arxiv/1001.4538, 2010

Прецизионные расчеты сверхтонкой структуры в многозарядных ионах

А. В. Волоotka^{a,b}, Д. А. Глазов^a, В. М. Шабает^a, И. И. Тупицын^a, G. Plunien^b

^a *Физический факультет СПбГУ, 198504 Санкт-Петербург, Россия*

^b *Institut für Theoretische Physik, TU Dresden, 01062 Dresden, Germany*

Изучение сверхтонкой структуры в многозарядных ионах дает уникальную возможность для проверки квантовой электродинамики (КЭД) связанных состояний в наиболее сильных полях, доступных для экспериментальных исследований. Однако, прямая проверка КЭД поправок затруднена, вследствие большой чувствительности сверхтонкого расщепления по отношению к неопределенностям распределений ядерного заряда и магнитного момента. Рассмотрение специфических разностей сверхтонких структур водородо-, литие-, и бороподобных ионов [1], в которых ядерные эффекты сильно сокращаются, позволит произвести проверку КЭД с точностью до нескольких процентов.

В докладе будут представлены современные расчеты сверхтонкого расщепления в тяжелых многозарядных ионах. В частности, будет представлен строгий КЭД расчет экранированных радиационных поправок [2, 3]. Также мы представим результат для специфической разности между сверхтонкими расщеплениями в водородо- и литиеподобном висмуте, как наиболее интересный в плане предстоящих экспериментов. Кроме того, будут обсуждены перспективы дальнейшего улучшения теоретической точности.

-
- [1] V. M. Shabaev, A. N. Artemyev, V. A. Yerokhin, O. M. Zhrebtsov, and G. Soff, Phys. Rev. Lett. **86** (2001) 3959.
 - [2] A. V. Volotka, D. A. Glazov, V. M. Shabaev, I. I. Tupitsyn, and G. Plunien, Phys. Rev. Lett. **103** (2009) 033005.
 - [3] D. A. Glazov, A. V. Volotka, V. M. Shabaev, I. I. Tupitsyn, and G. Plunien, Phys. Rev. A **81** (2010) 062112.

Новые аспекты аксионной астрономии

Ю.Н. Гнедин

Главная (Пулковская) Астрономическая Обсерватория РАН

В настоящее время интенсивно выполняются лабораторные эксперименты и проводятся астрономические наблюдения с целью поиска аксионов – нового класса слабо-взаимодействующих частиц, подобных нейтрино, которые предсказываются современной новой суперсимметричной теорией элементарных частиц. Для астрономии важно, что аксионы рассматриваются как наиболее популярные кандидаты в, так называемую, темную материю.

Разработана детальная астрономическая программа поиска аксионов от Солнца.

В последнее время в результате ряда наблюдений с космических аппаратов рентгеновского излучения спокойного Солнца и некоторых активных областей, получены указания на возможный вклад в интенсивность и пространственное распределение такого излучения рентгеновских фотонов, возникающих в результате распада аксионов в гравитационном и магнитном полях Солнца. В докладе представлены результаты астрономической программы поиска аксионов от Солнца с упором на последние исследования.

Будут представлены последние поляриметрические наблюдения квазаров и активных галактических ядер, которые косвенно свидетельствуют о существовании псевдоскалярных частиц, подобных аксионам.

Тонкая структура легких гелиеподобных атомов и постоянная тонкой структуры

К. Pachucki^a, В. А. Ерохин^b

^a *Institute of Theoretical Physics, University of Warsaw, Hoża 69, 00–681 Warsaw, Poland*

^b *Центр перспективных исследований Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, Политехническая ул. 29, С. Петербург 195251, Россия*

В наших недавних работах [1, 2] мы выполнили расчет интервалов тонкой структуры уровня 2^3P в атоме гелия и в легких гелиеподобных ионах с зарядом ядра $Z \leq 10$. Последовательный квантовоэлектродинамический расчет учитывает все эффекты до порядков $m\alpha^7$ и $m^2/M\alpha^6$ включительно. Результаты полученные для релятивистской поправки к бетевскому логарифму существенно отличаются от опубликованных ранее в литературе и устраняют расхождение между теорией и экспериментом. Новые теоретические значения находятся в отличном согласии с последними экспериментальными данными для интервалов тонкой структуры в атоме гелия [3, 4], а также с большей частью экспериментальных данных для гелиеподобных ионов. Сравнение теоретического значения для $2^3P_0 - 2^3P_2$ интервала в атоме гелия с экспериментальным результатом [4] позволяет определить постоянную тонкой структуры α с точностью 27×10^{-9} ,

$$\alpha^{-1} = 137.035\,999\,55(64)(4)(368).$$

В приведенном выше значении первая ошибка представляет собой экспериментальную погрешность, вторая – численную погрешность вычислений, третья – оценка возможного вкладов высших порядков.

-
- [1] K. Pachucki and V. A. Yerokhin, Phys. Rev. A **79**, 062516 (2009) [*ibid.* **80**, 019902(E) (2009); *ibid.* **81**, 039903(E) (2010)].
- [2] K. Pachucki and V. A. Yerokhin, Phys. Rev. Lett. **104**, 070403 (2010).
- [3] J. S. Borbely, M. C. George, L. D. Lombardi, M. Weel, D. W. Fitzakerley, and E. A. Hessels, Phys. Rev. A **79**, 0605030(R) (2009).
- [4] M. Smiciklas and D. Shiner, Phys. Rev. Lett. **105**, 123001 (2010).

Ограничение на легкие нейтральные частицы из прецизионной атомной физики

С. Г. Каршенбойм^{a,b}

^a ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, С-Петербург, Россия

^b Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching, Germany

Рассмотрены ограничения на экзотические взаимодействия, индуцированные потенциалами, подобными потенциалу Юкавы. Это отвечает изучению легких массивных частиц со сверхслабым взаимодействием [1].

Анализируются атомные данные и ограничения наиболее чувствительны к радиусу юкавского взаимодействия сопоставимого с боровским радиусом электрона (с точностью до нескольких порядков). В терминах массы речь идет о диапазоне от $1 \text{ eV}/c^2$ до $1 \text{ MeV}/c^2$.

[1] S. G. Karshenboim, Phys. Rev. Lett. **104**, 220406, (2010).

Прецизионные расчеты атомов с несколькими валентными электронами

М. Г. Козлов

Петербургский институт ядерной физики

В течении многих лет нами разрабатывается метод расчета многоэлектронных атомов [1]. Все электроны делятся на остовные и валентные, причем, остовные электроны должны находиться на заполненных подоболочках. С помощью многочастичной теории возмущений (МТВ) по остаточному валентно-остовному взаимодействию строится эффективный гамильтониан для валентных электронов. После этого валентная задача решается методом наложения конфигураций. Таким образом, удается учесть сильные валентные корреляции непертурбативно и более слабые валентно-остовные корреляции в рамках МТВ. В большинстве расчетов эффективный гамильтониан строился во втором порядке МТВ.

Кроме расчета спектров атомов и ионов метод позволяет вычислять и различные наблюдаемые, включая амплитуды переходов, поляризуемости, постоянные сверхтонкой структуры и т.д. Для этого, по аналогии с эффективным гамильтонианом, для каждой наблюдаемой строится эффективный оператор, который действует только на валентные электроны. Метод показал себя достаточно эффективным для расчетов атомов и ионов с небольшим числом валентных электронов. Когда валентных электронов больше трех, решение валентной задачи методом наложения конфигураций становится неэффективным и надежность расчетов быстро падает. В тоже время, количество остовных электронов слабо влияет на сложность расчетов и качество результатов. Это позволило провести расчеты большого количества двух и трех валентных атомов и ионов. При этом точность расчетов примерно на порядок превышала точность расчетов в приближении замороженного остова.

Для дальнейшего увеличения точности расчетов в последнее время нами разработан новый вариант этого метода, в котором эффективный гамильтониан строится в рамках метода парных уравнений [2, 3]. Последний является линеаризованным вариантом метода связанных кластеров. Расчеты нескольких двухвалентных атомов показали, что точность нового метода стабильно выше, особенно для тяжелых атомов. На следующем этапе мы планируем учесть нелинейные и другие поправки к методу парных уравнений, важность которых была показана ранее для одновалентных атомов. В дальнейшем планируется обобщение метода на случай, когда в остове имеется дырка.

[1] V. A. Dzuba, V. V. Flambaum, and M. G. Kozlov, *Phys. Rev. A* **54** (1996) 3948.

[2] M. G. Kozlov, *Opt. Spectrosc.* **95** (2003) 6.

[3] M. S. Safronova, M. G. Kozlov, W. R. Johnson, and D. Jiang, *Phys. Rev. A* **80** (2009) 012516.

Измерение изотопического сдвига водород-дейтерий на переходе $1S - 2S$

Н.Н. Колачевский,^{a,b} А.В. Матвеев,^b К.Г. Партей,^b Я. Алнис,^b Р. Поль,^b
У. Ентшура,^c Т. Удем,^b Т.В. Хэнш^b

^a Учреждение Российской академии наук Физический институт
им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский проспект 53, 119991 Москва, Россия

^b Институт общества Макса Планка по квантовой оптике, 85748 Гархинг,
Германия

^c Физический факультет Университета Миссури, Ролла, 65409 Миссури, США

Прецизионная атомная спектроскопия является одним из наиболее мощных средств для определения среднеквадратичных зарядовых радиусов ядер простых атомов. Дейтрон, будучи простейшим составным ядром, является важным объектом исследования в ряде задач ядерной физики, где рассматривается структура ядер, состоящих из нескольких частиц. Первоначально зарядовый радиус определялся из экспериментов по рассеянию электронов [1], позже были развиты прецизионные спектроскопические методы измерения изотопического сдвига перехода $1S - 2S$ в атомах водорода и дейтерия. Используя результаты спектроскопических измерений и расчеты квантовой электродинамики удалось достичь точности определения зарядовых радиусов, которая превышает точность классических методов рассеяния (например, [2, 3]). Хотя вклад конечного размера ядра составляет всего 10^{-9} от энергии электронных уровней, именно эти поправки вносят наиболее значительную погрешность в теоретическое предсказание энергий. Следовательно, зарядовые радиусы (или их разность) может быть вычислена из измерений абсолютной частоты переходов в атомах (или изотопических сдвигов) с использованием аппарата КЭД.

С помощью двухфотонной спектроскопии во встречных световых полях одинаковой частоты нами был измерен изотопический сдвиг водород-дейтерий на переходе $1S - 2S$, равный $670\,994\,334\,606(15)$ Гц [4]. По сравнению с результатом предыдущего измерения этой величины [2] точность повышена в 10 раз, при этом значения согласуются в пределах погрешности. Вычисление разности среднеквадратичных зарядовых радиусов дейтрона и протона дает значение $\langle r_d^2 \rangle - \langle r_p^2 \rangle = 3.820\,07(65)$ фм², что более чем вдвое уточняет предыдущий результат [2].

[1] I. Sick *et al.*, *Nucl. Phys.* **A637**, 559 (1998).

[2] A. Huber *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **80**, 468 (1998).

[3] R. Pohl *et al.*, *Nature*, **466**, 213 (2010).

[4] C.G. Parthey *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 233001 (2010).

Вклад рассеяния света на свете в лэмбовский сдвиг в мюонном водороде

Е. Ю. Корзинин^a, В. Г. Иванов^b, В. А. Шелюто^a, С. Г. Каршенбойм^{a,c}

^a ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, С-Петербург, Россия

^b Главная (Пулковская) Астрономическая Обсерватория РАН,
С-Петербург, Россия

^c Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching, Germany

Поправки к уровням энергии легких мюонных атомов и, в частности, к лэмбовскому сдвигу, можно разбить на несколько хорошо определенных классов. Диаграммы соответствующие различным типам вычисляются с использованием различных приближений. В частности, существует целый класс нерелятивистских поправок.

В докладе будут рассмотрены такие вклады в лэмбовский сдвиг мюонного водорода порядка $\alpha^5 m_\mu$. Они включают поправки на поляризацию вакуума, а также различные эффекты виртуального рассеяния света на свете. Будет рассмотрен вклад электронных петель, что позволяет использовать для мюона нерелятивистское приближение. Все эти диаграммы известны довольно давно, однако до недавнего времени результат был получен только частично.

Получен полный вклад в лэмбовский сдвиг порядка $\alpha^5 m_\mu$ для мюонного водорода, а также мюонного дейтерия и гелия.

-
- [1] С. Г. Каршенбойм, Е. Ю. Корзинин, В. Г. Иванов, В. А. Шелюто, Письма в ЖЭТФ, **92**, вып. 1, 9-15 (2010)
- [2] S. G. Karshenboim, V. G. Ivanov, E. Yu. Korzinin, and V. A. Shelyuto, Phys. Rev A **81**, 060501(R) (2010)

Прецизионная спектроскопия легких ядер и молекул

В.И. Коробов

*Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова,
Объединенный институт ядерных исследований, 141980, Дубна, Россия*

В докладе представлен обзор данных экспериментов этого года по прецизионной спектроскопии ро-вибрационных переходов в легких атомах и молекулах.

Так в эксперименте ASACUSA (ЦЕРН) точность измерений этого года улучшена в 4-5 раз по сравнению с результатами 2006 года [1], которые вошли в корректировку фундаментальных констант 2006 года — "CODATA-06"[2]. Таким образом новые данные соответствуют точности в определении атомной массы электрона из спектроскопии антипротонного гелия на уровне $6-8 \cdot 10^{-10}$.

Новый эксперимент по измерению частот ро-вибрационных переходов в молекуле HD^+ стартовал в Амстердаме, предварительный анализ спектра показывает хорошее разрешение сверхтонкой структуры в линии $(v, L) = (0, 2) \rightarrow (8, 3)$ перехода и ожидаемая относительная погрешность измерений — 10^{-10} [3]. Окончательные результаты предполагается получить уже весной 2011 года.

Главным теоретическим достижением этого года является вычисление однопетлевой радиационной поправки для связанного электрона в порядке $m\alpha^7$, что позволяет делать теоретические предсказания для интервалов ро-вибрационных переходов с относительной погрешностью 10^{-10} . Таким образом, мы надеемся, что уже в следующем году из сравнения теории и эксперимента можно будет получить массу электрона с рекордной точностью ~ 0.2 ppb.

-
- [1] M. Hori, *et al.* Phys. Rev. Lett. **96**, 243401 (2006); and references therein.
[2] P.J. Mohr, B.N. Taylor, and D.B. Newell, Rev. Mod. Phys. **80**, 633 (2008).
[3] J.C.J. Koelemeij, private communication.

Теория поляризации высокозарядных ионов в накопительных кольцах: получение, сохранение, измерение и применение к поиску нарушений фундаментальных симметрий

А. Бондаревская¹, А. Прозоров¹, Л. Лабзовский^{1,2}, Г. Плюниен³,
Д. Лисен^{4,5}, и Ф. Бош⁴

¹ *Институт Физики им. В. А. Фока, Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия, Санкт-Петербург, Петродворец, Ульяновская д. 1, 198504*

² *Петербургский Институт Ядерной Физики, Россия, Гатчина, 188300*

³ *Институт теоретической физики, Дрезденский Технический Университет, Дрезден, Германия*

⁴ *Центр Гельмгольца по изучению тяжёлых ионов, Дармштадт, Германия*

⁵ *Факультет физики и астрономии, Гейдельбергский Университет, Гейдельберг, Германия*

Рассматриваются теоретические аспекты получения, сохранения и контроля поляризации пучков высокозарядных ионов в накопительных кольцах. Утверждается, что водородоподобные ионы могут быть эффективно поляризованы путём оптической накачки зеемановских подуровней сверхтонких уровней основного состояния и что максимально достижимая поляризация ядер превосходит при этом 90%. Контролирование поляризации пучка может быть достигнуто различными методами: путём измерения параметров Стокса испускаемого излучения или путём наблюдения угловой зависимости вероятностей переходов поляризованных ионов. Важнейшей мотивацией для получения пучков поляризованных ионов является возможность наблюдения эффектов несохранения пространственной чётности при сверхтонком тушении переходов в гелиеподобных высокозарядных ионах, где величина этих эффектов может быть беспрецедентно высокой для атомной физики. Также обсуждается возможность наблюдения эффектов несохранения чётности, связанных с наличием анапольных моментов у ядер. Предлагается метод наблюдения электрического дипольного момента электрона в накопительных кольцах с поляризованными пучками ионов. Этот метод позволяет, в принципе, уточнить существующие ограничения на электрический дипольный момент электрона. Требования к такому эксперименту являются, однако, весьма жёсткими.

Прецизионная спектроскопия межзвездных молекул и поиск m_e/m_p вариаций

А.В. Лапинов

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Благодаря возросшей чувствительности аппаратуры и высокому спектральному разрешению современные радиоастрономические наблюдения позволяют измерять доплеровские движения в областях звездообразования с точностью ~ 1 м/с. Относительная ошибка в $3 \cdot 10^{-9}$ приближается к лучшей лабораторной точности измерений частот молекул в микроволновом - субмиллиметровом диапазоне. Это позволяет ставить задачи по поиску вариаций фундаментальных констант исходя из сравнений относительных сдвигов частот для разного типа спектров молекул, измеренных в космосе и в лабораторных условиях. В докладе обсуждаются возможные причины систематических доплеровских сдвигов инверсионного перехода $\text{NH}_3(1,1)$ относительно чисто вращательных линий $\text{HC}_3\text{N } J=2-1$, наблюдаемых в темных облаках Галактики [1, 2]. Показано, что недавние лабораторные измерения спектров аммиака и HC_3N с точностью ~ 0.2 кГц не устранили радиоастрономических расхождений частот. Приводятся результаты субдоплеровской спектроскопии инверсионно-вращательного спектра дейтерированного аммиака, обладающего разной чувствительностью к сдвигам частот от вариаций m_e/m_p для близко расположенных линий [3].

-
- [1] S. A. Levshakov, P. Molaro, A. V. Lapinov *et al.*, *Astron. & Astrophys.* **512** (2010), A44.
- [2] S. A. Levshakov, A. V. Lapinov, C. Henkel *et al.*, *Astron. & Astrophys.*, in press (2010), astro-ph/1008.1160.
- [3] M. G. Kozlov, A. V. Lapinov, S. A. Levshakov. *J. Phys. B*, **43** (2010), 4003.

Магнитный момент отрицательного мюона на 1s-уровне различных атомов

Т.Н. Мамедов

Объединенный институт ядерных исследований

Брейтом [1] в 1928 году было показано, что магнитный момент электрона, находящегося в атоме в 1s-состоянии, должен отличаться от магнитного момента свободного электрона из-за возникновения дополнительной релятивистской поправки. В приближении точечного ядра им была получена аналитическая зависимость релятивистской поправки к магнитному моменту электрона от заряда ядра [1]:

$$g = \frac{2}{3} [1 + 2\sqrt{1 - (Z\alpha)^2}].$$

Расчеты поправок к магнитному моменту отрицательного мюона на 1s-уровне различных атомов при наличии $Z-1$ электронов в атоме были выполнены позднее Фордом и др. [2]. Из этих расчетов следует, что релятивистская поправка к магнитному моменту мюона, так же как для электрона, сильно зависит от Z атома. Релятивистская поправка к магнитному моменту мюона при $Z = 8$ сравнима с радиационными поправками для свободного мюона и на порядок превосходит их при $Z = 30$.

В настоящем докладе обсуждаются результаты теоретических и экспериментальных исследований поправок к магнитному моменту отрицательного мюона на 1s-уровне различных атомов, а также перспективы улучшения точности измерений этих поправок.

[1] G.Breit, Nature **122** (1928) 649.

[2] K.W.Ford *et al.*, Phys. Rev. **129** (1963) 194.

Динамические поляризуемости многозарядных ионов

С. А. Запрыгаев, Н. Л. Манаков, С. И. Мармо, И. С. Ненашев

Воронежский государственный университет

Расчет поляризуемостей многозарядных водородоподобных ионов в состоянии $|n_0 k_0 m_0\rangle$ требует вычисления матричных элементов второго порядка (т.е. содержащих одну функцию Грина) между этими состояниями. Очевидно, что определяющее условие эффективности таких вычислений состоит в выборе представления функции Грина. Известно, что одну из наиболее удобных форм релятивистской кулоновской функции Грина (РКФГ) дает ее штурмовское разложение, представляющее собой ряд по полиномам Лагерра. При использовании дипольного (или квадрупольного и т.д.) приближения для оператора электромагнитного взаимодействия штурмовское разложение позволяет аналитически выполнить интегрирование по радиальным переменным и свести вычисление матричных элементов к суммированию рядов из гипергеометрических функций. Эти ряды быстро сходятся при энергиях фотона $\hbar\omega$, не превышающих энергию отрыва электрона от многозарядного иона $|E_0|$ (подпороговых энергиях), $\hbar\omega < |E_0|$, однако расходятся при надпороговых энергиях $\hbar\omega > |E_0|$. Оказывается возможным так преобразовать штурмовское разложение РКФГ, чтобы сделать возможным его использование для расчета надпороговых процессов. Основная идея этого преобразования состоит во введении в штурмовское разложение свободного параметра, выбором которого удастся достичь сходимости штурмовских рядов для амплитуд электромагнитных переходов между связанными состояниями при $\hbar\omega > |E_0|$ (ср. аналогичное преобразование в [1] для нерелятивистской КФГ). Получены две формы обобщенного штурмовского разложения: первая — непосредственным преобразованием РКФГ линейного уравнения Дирака; вторая — преобразованием РКФГ квадрированного уравнения Дирака и последующим действием на нее оператора квадрирования. Рассчитана дипольная поляризуемость α_s основного состояния многозарядных ионов с зарядом ядра $Z \leq 100$ в надпороговой области (см. данные в табл. 1 для $Z = 50$) в широком диапазоне частот, полученные результаты полностью согласуются с известными из литературы [2].

$\hbar\omega/ E_0 $	$Z^4 \alpha_s$, in a.u.
1.5	$-1.9350950449(0) + i9.0855444521(-1)$
3.0	$-4.3923034070(-1) + i5.3249887999(-2)$
3.3	$-3.5781951564(-1) + i3.5475112112(-2)$

Таблица 1: Релятивистская дипольная поляризуемость основного состояния водородоподобного иона с зарядом ядра $Z = 50$ в надпороговой области

[1] А. А. Крыловецкий, Н. Л. Манаков, С. И. Мармо, *ЖЭТФ* **119** (2001) 45.

[2] V. Yakhontov, *Phys. Rev. Lett.* **91** (2003) 093001.

Сверхтонкая структура основного состояния мюонного гелия

А.А. Крутов^a, А.П. Мартыненко^{a,b}

^a Самарский государственный университет,
443011, Россия, г. Самара, ул. Академика Павлова, 1.

^b Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева,
443086, Россия, г. Самара, ул. Лукачева, 34.

Атом мюонного гелия (μe^3He) представляет собой простейшую трехчастичную систему, состоящую из электрона, отрицательно заряженного мюона и положительно заряженного гелиона (3He). Этот атом имеет более сложную сверхтонкую структуру по сравнению с мюонным гелием (μe^4He) [1-2]. Сверхтонкое расщепление основного состояния атома (μe^3He) было измерено с достаточно хорошей точностью в [3]: $\Delta\nu_{exp}^{hfs} = 4166.3(2)$ МГц. В отличие от уровней энергии двухчастичных атомов, которые изучены в КЭД с очень высокой точностью, теоретические расчеты сверхтонкого расщепления основного состояния мюонного гелия (μe^3He) были выполнены как в рамках теории возмущений, так и вариационным методом [1-2] с меньшей точностью. Взаимодействие магнитных моментов частиц дает вклад в спектр энергии и наименьший интервал сверхтонкой структуры основного состояния:

$$\delta E = -a \mathbf{I}_N \mathbf{s}_\mu - b \mathbf{s}_\mu \mathbf{s}_e - c \mathbf{s}_e \mathbf{I}_N, \quad \Delta\nu^{hfs} = \frac{3}{4}(b + c) + O\left(\frac{b}{a}, \frac{c}{a}\right). \quad (2)$$

В рамках теории возмущений по постоянной тонкой структуре α и отношению масс электрона и мюона [1, 4], мы вычисляем ряд поправок в b и c , которые важны для получения более точной теоретической величины (1): однопетлевые поправки поляризации вакуума порядка $\alpha^5 M_e/M_\mu$; однопетлевые вершинные поправки порядка α^5 , $\alpha^5 M_e/M_\mu$; поправки на структуру ядра порядка α^5, α^6 . Полученная нами величина сверхтонкого расщепления основного состояния $\Delta\nu^{hfs} = 4166.52$ МГц улучшает результат [1] за счет учета новых вкладов. Остающееся различие между данным теоретическим результатом и экспериментальной величиной, находится в пределах теоретической ошибки ± 0.7 МГц и экспериментальной погрешности. Работа выполнена при финансовой поддержке ФП "Научные и педагогические кадры инновационной России" (грант НК-20П/1).

[1] S. D. Lakdawala and P. Mohr, Phys. Rev. A **24** (1981) 2224.

[2] K.-N. Huang and V. W. Hughes, Phys. Rev. A **26** (1982) 2330; R. L. Drachman, J. Phys. B **16** (1983) L749; M.-K. Chen, J. Phys. B **26** (1993) 2263; A. M. Frolov, Phys. Rev. A **61** (2000) 022508.

[3] M. Gladish et al., Proc. 8th Int. Conf. on Atom. Phys., ed. I. Lindgren, A. Rosen and S. Svanberg (NY, Plenum).

[4] A. A. Krutov, A. P. Martynenko, Phys. Rev. A **78** (2008) 032513; arXiv:1007.1419.

Развитие проекта LEPТА

Есеев М.К.^a, Кобец А.Г.^b, Мешков И.Н.^b, Рудаков Ю.А.^b, Соболева Л.В.^b,
Яковенко С.Л.^b

^a *Поморский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г.Архангельск*

^b *Объединенный институт ядерных исследований, Дубна*

В Объединенном институте ядерных исследований сооружен накопитель позитронов с электронным охлаждением LEPТА (Low Energy Particle Toroidal Accumulator). Накопитель является генератором направленных потоков ортопозитрония (o- P_s), который генерируется при рекомбинации пучка позитронов, циркулирующих в накопителе, с однопролётным электронным пучком. Основным преимуществом такого метода является генерация позитрония в чистых вакуумных условиях. Среди других достоинств метода – малый угловой (~ 1 мрад) и энергетический ($\leq 10^{-3}$) разбросы потока атомов и возможность прецизионной перестройки энергии (скорости) атомов в диапазоне $4 \div 10$ кэВ/частицу.

Все это позволяет осуществить широкую программу экспериментальных исследований, включая поиск легкого аксиона (один из кандидатов частиц «темной материи») и прецизионные измерения времени жизни o- P_s с целью проверки гипотезы «Зеркальной Вселенной».

Программа исследований была представлена на совещании ФФК'08.

В докладе сообщается о состоянии работ по вводу накопителя LEPТА в действие и прогресс, достигнутый за прошедшие 2 года.

Ньютоновская гравитационная постоянная: современный статус и проблемы экспериментального определения

В.К. Миллюков^a, Джун Луо^b

^a *Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, МГУ (Россия)*

^b *Huazhong University of Science and Technology (China)*

Ньютоновская гравитационная постоянная G , вместе с постоянной Планка \hbar и скоростью света c , относится к универсальным константам природы, представляющих фундаментальные предельные величины: c - максимальная скорость света, \hbar - минимальный момент количества движения, G - гравитационный радиус единичной массы (максимальный радиус сферы внутри которой происходит релятивистский гравитационный коллапс). В силу слабости гравитационного взаимодействия точность экспериментального определения G существенно ниже точности других фундаментальных констант. Современное значение ньютоновской гравитационной постоянной, рекомендованное CODATA в 2007 году, основано на данных, доступных на конец 2006 года, и равно $G = (6.67428 \pm 0.00067) \times 10^{-11} \text{ м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2}$. Точность лучших экспериментальных результатов достигает 15-40 ppm, хотя разброс между ними достаточно большой. Поэтому относительная ошибка значения CODATA равна 100 ppm. В данной работе дается обзор лучших современных экспериментов по определению ньютоновской гравитационной постоянной.

В настоящее время имеется несколько мировых центров, обладающими хорошими традициями и опытом в проведении фундаментальных гравитационных экспериментов, в том числе, экспериментальном измерении гравитационной постоянной. Одним из таких центров является Huazhong University of Science and Technology (China), сотрудниками которого выполнен целый ряд успешных гравитационных экспериментов с использованием крутильных весов. В 2009 г. китайские ученые закончили эксперимент и опубликовали новое экспериментальное значение гравитационной постоянной, которое является новым мировым достижением $G = (6.67349 \pm 0.00018) \times 10^{-11} \text{ м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2}$ [1]. Научное сотрудничество между ГАИШ МГУ и HUST имеет более, чем 20-летнюю историю. В течение последних нескольких лет это сотрудничество базируется на совместных проектах РФФИ и National Basic Research Program of China (NSFC). Многолетний опыт показал плодотворность такого сотрудничества.

Работа поддержана грантом РФФИ № 08-02-92217 и грантом NSFC № 10927505.

[1] Jun Luo *et al.*, Phys. Rev. Lett., **102**, 240801 (2009).

Эксперименты по прецизионному определению магнитных моментов легчайших ядер

Ю. И. Неронов

ВНИИМ им. Д. И. Менделеева

Оптимальными молекулярными соединениями для определению магнитных моментов ядер дейтерия, трития и гелия-3 являются образцы с изотопическими аналогами водорода HD, HT, DT и их газообразные смеси с гелием-3.

В случае, если образец содержит газообразный водород, в котором протон замещен тритием, HT, и на ЯМР спектрометре одновременно зарегистрированы частоты двух сигналов от протонов и трития (с погрешностью порядка 10^{-9}), то отношение этих частот будет равно соответствующему отношению гиромагнитных отношений связанных ядер. Однако если требуется определить отношение самих ядер, то потребуется небольшая расчетная поправка, обусловленная разностью экранирования разноименных ядер. Для протона и трития эта поправка ранее была вычислена и опубликована в работе Ю.И. Неронова и А.Е. Барзаха, она равна $2 \cdot 10^8$ [ЖЭТФ, т.72, с. 1659-1669, 1977].

Для других изотопических аналогов водорода эта расчетная поправка будет иметь множитель, который достаточно тривиально зависит от разности масс ядер водородоподобной молекулы: $(M1-M2)/(M1 \cdot M2)$, где M1 и M2 – масса тяжелого и более легкого ядра. Следовательно, поправка для молекул HD оказывается меньше и равна $1.5 \cdot 10^{-8}$. Для молекул DT поправка оказывается еще меньше: $5 \cdot 10^{-9}$. Следовательно, для трех этих вариантов фактически мы имеем дело с одной общей поправочной константой, которую можно определить не только расчетным путем, но и экспериментально.

Экспериментальная возможность определения такой поправки открывается в том случае, когда выполнены три эксперимента по прецизионному определению отношения частот резонанса разноименных ядер: $F(HD)/F(DH)$; $F(TH)/F(HT)$ и $F(TD)/F(DT)$.

Поскольку требуется определить магнитные моменты ядер дейтерия и ядер трития в единицах магнитного момента протона, то для трех экспериментальных отношений частот можно составить три уравнения для определения трех неизвестных. Причем, третьей неизвестной, определяемой при решении системы из трех уравнений, оказывается поправка на разность экранирования разноименных ядер.

Для реализации такой возможности в настоящее время проводятся экспериментальные работы. В докладе сообщаются предварительные данные, полученные по данной теме.

Мазерное излучение H_2O активных ядер галактик и прецизионная космология

Нестеренок А.В.^a

^a *Физико-Технический институт им. А.Ф.Иоффе, С.-Петербург*

Исследование мазерного излучения, возникающего в аккреционных дисках центральных областей галактик, открывает уникальную возможность прямого измерения постоянной Хаббла. Высокая интенсивность мазерного излучения позволяет методами радиоинтерферометрии исследовать пространственную структуру системы источников. Узость спектральных компонент дает возможность измерять частоты линий излучения с высокой точностью. Это позволяет смоделировать геометрию и кинематику аккреционного диска и определить «геометрическое» расстояние до системы. Обнаружение подобных систем на больших космологических расстояниях делает возможным прямое измерение постоянной Хаббла, так как в этом случае поправки к космологической скорости удаления галактик, обусловленные гравитационным красным смещением и наличием пекулярной скорости, малы. К настоящему моменту известна и детально исследована одна такая система UGC 3789.

Численное моделирование процесса накачки H_2O -мазеров позволяет наложить ограничения на физические параметры в аккреционных дисках, что имеет большое значение для моделирования кинематики подобных систем. Сверхтонкое расщепление сигнальных уровней мазерной линии $H_2^{16}O$ на частоте 22.2 ГГц приводит к эффективному уширению спектрального профиля коэффициента усиления, а также к его асимметрии. В работе [1] показано, что асимметрия профиля может быть одной из причин наблюдаемой в системах UGC 3789, NGC 3079 и других повышенной яркости «голубых» высокоскоростных компонент излучения по отношению к «красным». Кроме того, асимметрия спектрального профиля относительно частоты максимума профиля приводит к дополнительному сдвигу частот линий, сравнимому с релятивистскими поправками к классическому эффекту Доплера в рассматриваемых задачах.

[1] А. В. Нестеренок, Д. А. Варшалович, Письма в астрономический журнал **36** (2010) 3.

Ридберговские атомы в оптических решетках для прецизионных измерений температуры теплового излучения

В.Д. Овсянников^a, А. Деревянко^b, К. Гиббл^c

^a Воронежский государственный университет, 394006, Воронеж, Россия

^b Университет Невада, Рено, 89557, США

^c Университет Пеннсилванья, Университетский парк, 16802, США

Прецизионная спектроскопия атомов в оптических решетках требует детального учета влияния внешних факторов, воздействующих на спектральные характеристики атомов. Наряду с излучением оптической решетки, основным возмущающим фактором, изменяющим положение и ширину атомных уровней, является тепловое излучение окружающей среды. Для того, чтобы контролировать влияние теплового излучения, необходимо знать не только зависимость от его параметров атомных свойств, но и с большой точностью определять эти параметры. Основной характеристикой излучения черного тела является температура. Поэтому прецизионное определение температуры чернотельного излучения является актуальным, в частности, при создании стандарта частоты и времени на атомах в оптических решетках.

Для создания “чернотельного термометра” можно использовать высокую чувствительность к тепловому излучению ридберговских состояний атомов, тепловые сдвиги которых квадратично зависят от температуры, $\Delta E_n^{BBR}(T) \propto T^2$, достигая 2.4 кГц при $T = 300\text{ K}$. Эти сдвиги можно контролировать сканированием частоты излучения, резонансно возбуждающего ридберговский уровень из заданного состояния.

При этом необходимо устранить воздействие других (помимо теплового излучения) полей на частоту перехода. В первую очередь для этого необходимо уравнивать действие поля оптической решетки на нижний и верхний уровни резонансного перехода, используемого для измерения температуры. Такое уравнивание возможно в решетке с магической длиной волны. Поскольку оптические сдвиги положительны и практически одинаковы для всех ридберговских уровней, необходимо использовать решетку с частотой в синем крыле линии резонансного поглощения, а глубина потенциала решетки должна быть достаточной для захвата и удержания ридберговского атома. Этим условиям могут удовлетворять метастабильные состояния с положительным штарковским сдвигом на достаточно низких частотах.

Численные расчеты магических частот решетки и соответствующих глубин штарковских потенциалов для метастабильных $nsnp(^3P_0)$ и ридберговских $nsn'p(^3P_0)$ состояний показывают, что для атомов стронция ($n = 5$) магическая решетка для “ридберговского термометра” должна иметь длину волны от 2340 нм ($n' = 50$) до 2390 нм ($n' = 20$). Для атомов иттербия ($n = 6$) магическая длина волны локализуется в более коротковолновой области от 1140 нм ($n' = 45$) до 1208 нм ($n' = 20$). При этом высота штарковского потенциала, удерживающего атомы в решетке, принимает значения от 400 до 520 кГц/(кВт/см²) для стронция и от 75 до 132 кГц/(кВт/см²) для иттербия. При этом собственная частота осцилляций атома в потенциале решетки практически не зависит от n' . Высокая электростатическая восприимчивость (поляризуемость) ридберговского уровня, позволяет контролировать изменение теплового сдвига при изменении температуры с помощью постоянного электрического поля.

Новые ограничения на изменение фундаментальных констант из анализа продуктов выгорания топлива в реакторе Окло

Онегин М.С.

Петербургский институт ядерной физики им.Б.П.Константинова РАН

Был проведен анализ выгорания образца SC56-1472 зоны 3 реактора Окло [1]. Нейтронный спектр в образце во время работы реактора был восстановлен с использованием изотопных соотношений: $^{147}\text{Sm}/^{148}\text{Sm}$ и $^{176}\text{Lu}/^{175}\text{Lu}$. Эти соотношения позволяют определить спектральный индекс и температуру, при которой протекала реакция деления в образце. Теоретическое сечения поглощения нейтрона ядром ^{149}Sm , вычисленное с использованием полученного нейтронного спектра, сравнивалось с экспериментальным сечением, определенным из концентрации изотопа ^{149}Sm в образце. Величина различия указанных сечений позволяет наложить жесткие ограничения на величину сдвига низколежащего резонанса в ядре ^{149}Sm , что, в свою очередь, приводит к жестким ограничениям на изменение постоянной тонкой структуры за прошедшие 2 миллиарда лет, прошедших с момента функционирования реактора Окло. Для скорости изменения постоянной тонкой структуры α было получено следующее ограничение: $|\delta\dot{\alpha}/\alpha| \leq 5 \cdot 10^{-18}$, что на порядок сильнее, чем предыдущее ограничение [2].

[1] М. С. Онегин. ArXiv:1010.6299.

[2] Yu. V. Petrov, A. I. Nazarov, M. S. Onegin, V. Yu. Petrov, and E. G. Sakhnovsky. Phys. Rev. C **74**, 064610 (2006); ArXiv: hep-ph/0506186.

Accurate theory of the hydrogen molecule

Krzysztof Pachucki^a

^a *Institute of Theoretical Physics, University of Warsaw, 00-681 Warsaw Poland*

The dissociation energy of the molecular hydrogen and isotopomers have recently been accurately calculated by including nonadiabatic, relativistic and quantum electrodynamics corrections. Theoretical result for H₂ [1] of 36118.0695(10) cm⁻¹ is in excellent agreement with the experimental value [2] 36118.0696(4) cm⁻¹. A similarly good agreement is observed for the vibrational and rotational energy differences, and also for D₂ and HD molecules. This confirms good understanding of all important physical effects and a high precision of numerical computation. In solving the Schrödinger equation we use exponential functions with explicitly correlated polynomial factors and obtain Born-Oppenheimer energies with about 10⁻¹⁵ accuracy [3]. The finite nuclear mass corrections are included perturbatively using the newly developed nonadiabatic perturbation theory [4]. The good analytic properties of exponential basis functions from one side and inclusion of finite nuclear mass effects from the other side, make possible the accurate calculations of various physical properties, like the shielding constant or the spin-spin coupling. Challenges toward high precision results for arbitrary diatomic molecules will be described.

[1] K. Piszczatowski, *J. Chem. Theo. Comp.* **5**, 3039 (2009),

[2] J. Liu *et al.*, *J. Chem. Phys.* **130**, 174306 (2009).

[3] K. Pachucki. *Phys. Rev. A* **82**, 032509 (2010).

[4] K. Pachucki and J. Komasa, *J. Chem. Phys.* **130**, 164113 (2009)

Оценки возможных изменений массы Солнца, гравитационной постоянной и астрономической единицы

Е. В. Питьева^a, Н. П. Питьев^b

^a *Институт Прикладной Астрономии РАН*

^b *Санкт-Петербургский Государственный Университет*

Накопление высокоточных наблюдений планет и развитие планетных теорий создают условия для нахождения очень тонких эффектов и, в частности, определения изменения во времени гравитационной постоянной и массы Солнца. Около 620 тысяч позиционных наблюдений планет и КА разных типов, в основном, радиотехнических (1961-2009 гг.), были использованы для оценок этих параметров. Анализ наблюдений проводился на основе эфемерид ЕРМ2010 ИПА РАН в постньютоновском приближении, построенных совместным численным интегрированием уравнений движения девяти больших планет, Солнца, Луны, астероидов и транс-нептуновых объектов.

Возможное изменение по времени гравитационной постоянной $G(t)$ или массы одного из тел ведет к изменению взаимных сил притяжения и ускорений между телами. Можно показать, что изменение гелиоцентрической постоянной (GM_{\odot}) ведет к изменению больших полуосей орбит рассматриваемых тел обратно пропорциональному GM_{\odot} .

К сожалению, в настоящее время по имеющимся наблюдательным данным не удается разделить изменение гравитационной постоянной G от изменения гелиоцентрической гравитационной постоянной GM_{\odot} , для которых были получены близкие значения: $\dot{G}/G = (-2.29 \pm 1.44) \cdot 10^{-14}$, $(\dot{GM}_{\odot})/GM_{\odot} = (-2.37 \pm 1.44) \cdot 10^{-14}$ в год. Для всех внутренних планет (от Меркурия до Марса), обеспеченных высокоточными рядами наблюдений, были найдены положительные вековые изменения больших полуосей планет, что подтверждает полученные значения \dot{G}/G и $\dot{GM}_{\odot}/GM_{\odot}$. Из результатов можно сделать вывод, что возможное относительное изменение G не превосходит $5 \cdot 10^{-14}$ в год ($|\dot{G}/G| < 5 \cdot 10^{-14}$ год⁻¹).

Астрономическая Единица (AU), хотя примерно совпадает по величине со средним расстоянием Земли от Солнца, однако, по своему определению связана только с гелиоцентрической постоянной GM_{\odot} : $GM_{\odot}[\text{м}^3\text{с}^{-2}] = k^2 \cdot AU[\text{м}]^3/86400[\text{с}]^2$, где $k = 0.01720209895$ постоянная гравитации Гаусса. Положительное изменение AU должно соответствовать увеличению массы Солнца (GM_{\odot}), и следовательно, уменьшению больших полуосей орбит планет, а не наоборот, как утверждается в некоторых теоретических работах. Однако современный уровень точности наблюдений не позволяет одновременно определять два параметра: величину астрономической единицы и ее изменение. В этом случае корреляция между ними достигает 98%, и получаются неверные значения обоих этих параметров, в частности, $\dot{AU} > 15$ м. Если не определять AU , величина изменения \dot{AU} составляет около 1 м в столетие и не превосходит формальной ошибки, т.е. не определяется.

Измерения слабых гравитационных возмущений на большебазовых лазерных интерферометрах

В. Н. Руденко

ГАИШ МГУ, Москва

В последнее десятилетие создано несколько лазерных интерферометров на подвесных зеркалах километрового масштаба с целью детектирования гравитационного излучения внеземного происхождения.

Как физические приборы эти инструменты представляют собой гравитационные градиентометры, измеряющие специфическую тензорную структуру гравитационного поля (т.н. «приливное возмущение»), переносимого плоской гравитационной волной в соответствии с предсказаниями ОТО. Ввиду слабости гравитационного взаимодействия такой волны с детектором, его реакция крайне мала, что делает задачу регистрации крайне сложной, относящейся к классу «пределных измерений» в современной экспериментальной физике.

Максимальная чувствительность гравитационно-волновых интерферометров достигается в частотном диапазоне ($10^2 \sim 10^3$) где спектральная плотность их «геометрического деформационного» шума ограничивается только квантовыми флуктуациями оптической накачки и составляет $10^{-22-1/2}$ по деформациям или «вариациям пространственной метрики». Этот уровень, однако, представляет потенциальную чувствительность этих инструментов. На практике он возмущается различными техническими помехами и шумами окружения. В итоге, реальный уровень регистрации гравитационного сигнала оказывается хуже в $5 \sim 10$ раз. Практическая интегральная чувствительность интерферометров в лучшем случае близка к значению 10^{-21} при полосе приема в несколько сотен герц. Именно на этом уровне осуществляется поиск совпадающих всплесков деформационных возмущений, которые могут рассматриваться как реакция на действие гравитационной волны. Отбор таких кандидатов сопровождается весьма сложной процедурой селекции, которая кратко обсуждается в данном докладе.

Недавно в течение одной из наиболее успешных научных серий наблюдения (*S5 LIGO*, *VSR – 1 VIRGO*) эти инструменты показали способность к регистрации очень медленных приливных вариаций наземного гравитационного потенциала. Соответствующий квазистатический сигнал появляется как амплитудная модуляция гармонической составляющей на частоте межмодового интервала Фабри-Перо эталонов, размещенных в плечах майкельсоновской геометрии инструмента. Механизм возбуждения такой модуляции в настоящее время не имеет ясной интерпретации, поскольку зеркала интерферометра удерживаются позиционно с большой точностью $10^{-12}m$ следящими системами для обеспечения условий интерференции. В данном докладе рассматривается несколько интерпретаций данного феномена, включая возможность релятивистского эффекта опто-гравитационного взаимодействия.

В заключительной части представлено современное состояние национального проекта ОГРАН,- конструкция и уровень чувствительности оригинальной опто-акустической гравитационной антенны, подготовленной для установки в подземной лаборатории БНО ИЯИ РАН.

Новое среднемировое значение времени жизни нейтрона и Стандартная Модель

А.П. Серебров, А.К. Фомин

Петербургский институт ядерной физики РАН, Гатчина

Представлен анализ экспериментов по измерению времени жизни нейтрона. Новый наиболее точный результат измерения времени жизни нейтрона 878.5 ± 0.8 с [1] отличается от среднемирового значения 885.7 ± 0.8 с [2] на 6.5 стандартных отклонений. В связи с этим был произведен анализ и Монте Карло моделирование экспериментов [3] и [4]. Найдены систематические ошибки около -6 с в обоих экспериментах. Новое среднемировое значение для времени жизни нейтрона составляет 879.9 ± 0.9 с [5, 6]. Распределение экспериментальных данных после внесения поправок и дополнений новых экспериментальных результатов представлено на Рис. 1. Анализ нейтронного β -распада с новым среднемировым временем жизни нейтрона (879.9 ± 0.9 с) демонстрирует согласие со Стандартной Моделью (Рис. 2).

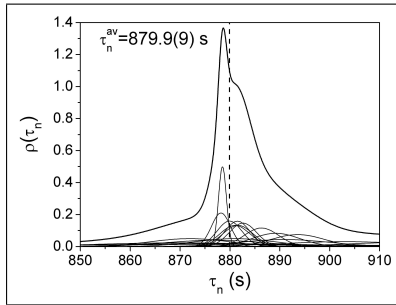


Рис. 1: Распределение результатов измерения времени жизни нейтрона после внесения поправок и дополнений новых экспериментальных результатов. Новое среднемировое значение для времени жизни нейтрона составляет 879.9 ± 0.9 с.

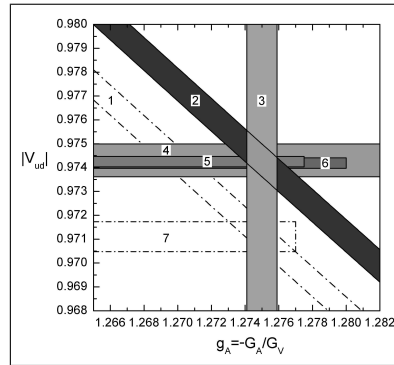


Рис. 2: СКМ (Cabibbo-Kobayashi-Maskawa) элемент $|V_{ud}|$ в зависимости от аксиальной константы g_A для времени жизни нейтрона из PDG (2008) (область 1) и для нового среднемирового времени жизни нейтрона (область 2). Пересечение этих зависимостей со значением g_A (область 3) дает значение $|V_{ud}|$ (области 4 и 7 соответственно), 5 и 6 – области определения $|V_{ud}|$ из унитарности СКМ и $0^+ \rightarrow 0^+$ ядерных переходов, соответственно.

-
- [1] A. Serebrov et al., Phys. Lett. B **605** 72 (2005); Phys. Rev. C **78**, 035505 (2008).
 - [2] C. Amsler et al. (Particle Data Group), Phys. Lett. B **667**, 1 (2008).
 - [3] W. Mampe et al., Phys. Rev. Lett. **63**, 593 (1989).
 - [4] S. Arzumanov et al., Phys. Lett. B **483**, 15 (2000).
 - [5] A.P. Serebrov, A.K. Fomin, JETP Lett. **92**, 271 (2010).
 - [6] A.P. Serebrov, A.K. Fomin, Phys. Rev. C **82**, 035501 (2010).

Многофотонные процессы излучения при наличии каскадов в космологической рекомбинации для атома водорода

Д. А. Соловьев^a, Л. Н. Лабзовский^{a,b}, В. К. Дубрович^c

^a *Институт Физики им. В. А. Фока, Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия, Санкт-Петербург, Петродворец, Ульяновская д. 1, 198504*

^b *Петербургский Институт Ядерной Физики, Россия, Санкт-Петербург, Гатчина, 188300*

^c *Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории РАН, Россия, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе 65, 196140*

Изучается проблема вычисления ширины двухфотонного распада возбужденных состояний в атоме водорода. Применяется два различных метода вычисления переходов с наличием в них каскадного излучения: суммирование вероятностей переходов различных каналов распада и расчет мнимой части лэмбовского сдвига [1]. В качестве примера рассмотрен двухфотонный распад $3s$ -уровня атома водорода, в котором присутствует каскадный $3s - 2p - 1s$ канал распада. В работе отмечена существенная роль двухфотонных переходов в задачах астрофизики [2], [3]. В [1] была показана невозможность выделения каскадного и "чистого" (нерезонансного) двухфотонного излучения из полной вероятности распада.

Следующим вопросом является проблема двухфотонных распадов сильно возбужденных состояний атома водорода, должны учитываться двухфотонные распады всех возбужденных состояний [3]. В этом случае становится актуальным вопрос о правомерности применения дипольного приближения. Для решения данной задачи мы использовали два подхода: нерелятивистский (дипольное приближение) и релятивистский. Рассматривались двухфотонные $E1E1$, $E2E2$, $M1M1$ и $E1M2$ распады ns , nd состояний (вплоть до $n = 100$), а также $E1E2$ и $E1M1$ двухфотонные переходы np состояний в атоме водорода [4].

Продолжением астрофизических исследований процессов многофотонного излучения в ранней Вселенной является квантовоэлектродинамическое описание многофотонных распадов возбужденных состояний. Нами было сформулировано "двухфотонное приближение" для описания каскадных переходов с числом фотонов больше двух [5]

[1] L. Labzowsky, D. Solovyev and G. Plunien, Phys. Rev. A **80** (2009) 062514

[2] Я. Б. Зельдович, В. Г. Курт и Р. А. Сюняев, ЖЭТФ **55** (1968) 278

[3] V. K. Dubrovich and S. I. Grachev, Astronomy Letters **31** (2006) 359

[4] D. Solovyev, V. Dubrovich, A. Volotka, L. Labzowsky and G. Plunien, J. Phys. B **43** (2010) 175001

[5] D. Solovyev and L. Labzowsky, Phys. Rev. A **81** (2010) 062509

Молекулы с тяжелыми атомами как ключевые объекты для поиска эффектов несохранения временной инвариантности

Титов А.В., Петров А.Н., Скрипников Л.В., Мосягин Н.С.

Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова, г. Гатчина

Поиск “новой физики” вне Стандартной модели электрослабых взаимодействий (см. [1] и ссылки), в особенности P,T-нечетных эффектов (т.е. таких, которые нарушают и пространственную четность P и временную инвариантность T), в последние годы становится очень популярным направлением как теоретических, так и экспериментальных исследований из-за его значимости для современной теории фундаментальных взаимодействий и симметрий. В первую очередь это касается поиска перманентного электрического дипольного момента электрона ($e\text{ЭДМ}$). Точность планируемых в настоящее время молекулярных экспериментов такова, что их результаты драматически повлияют практически на все популярные расширения Стандартной модели.

Чувствительность молекулярных систем к поиску $e\text{ЭДМ}$ обусловлена сильным эффективным электрическим полем, действующим на электрон в полярных молекулах, которое растет в кубической степени от зарядом ядра. Оно может быть на пять и более порядков величины более того поля, что достижимо в лаборатории. Такие эксперименты уже выполнены на молекулярном пучке YbF и подготавливаются на HfF⁺, PbO, ThO и PbF. Для подготовки же таких экспериментов и интерпретации их результатов необходим прецизионный расчет электронной структуры и электронной плотности вблизи тяжелых ядер, а также нужно вычислять и другие свойства молекул, нужные для эксперимента, но для которых нет данных.

Прецизионные расчеты основных свойств (таких, как сверхтонкая структура, P,T-нечетные эффекты) молекул с тяжелыми атомами, которые описываются операторами “сконцентрированными” вблизи ядра требуют очень высокого уровня учета как корреляционных, так и релятивистских эффектов. Однако, полностью релятивистские (четырёхкомпонентные) расчеты таких систем еще достаточно трудоемки. В докладе обсуждается альтернативный подход, основанный на теории релятивистского псевдопотенциала и технике одноцентрового восстановления, развитой нашей группой [1] для таких расчетов. Его эффективность иллюстрируется в наиболее прецизионных на сегодняшний день расчетах сверхтонкой структуры и P,T-нечетных эффектов в молекулах YbF [1, 2], PbO* [1], Hf⁺ [3], HfF⁺ [4] и других системах.

Настоящая работа поддержана грантом РФФИ N 09-03-01034-а.

[1] A.V.Titov, et al. Progr. Theor. Chem. Phys., 15B, 253 (2006).

[2] A.V. Titov, N.S. Mosyagin, V.F. Ezhov, Phys. Rev. Lett., 77, 5346 (1996).

[3] T.A.Isaev, N.S.Mosyagin, A.N. Petrov, A.V. Titov, Phys.Rev.Lett., 95, 163004 (2005).

[4] A.N. Petrov, N.S. Mosyagin, A.V. Titov, Phys. Rev. A, 79, 012505 (2009).

Релятивистские расчеты вероятностей и сечений перезарядки при столкновении водородоподобных ионов с голым ядром

Тупицын И.И. ^a

^a *Санкт-Петербургский государственный университет*

При медленных столкновениях тяжелых ионов (A и B) с суммарным зарядом ($Z = Z_A + Z_B$) большим критического заряда ($Z_{cr} = 173$) при малых значениях прицельного параметра нижний одноэлектронный уровень квазимолекулы $1\sigma_g$ “погружается” в отрицательный континуум Дирака. Погружение этого уровня должно происходить при расстояниях между ионами, меньших значения критического расстояния R_c . Этот процесс должен сопровождаться рождением электрон-позитронных пар [1, 2], что, по крайней мере, в принципе может быть обнаружено экспериментально.

В настоящей работе мы представляем разработанный нами релятивистский метод решения двухцентровых стационарного и временного уравнения Дирака, а также результаты расчетов критических расстояний R_c , вероятностей и сечений перезарядки ряда одноэлектронных ионов с голыми ядрами. В частности, были рассчитаны адиабатические потенциалы квазимолекул H_2 , Th_2^{179+} and U_2^{183+} , критические расстояния ряда гомоядерных квазимолекул $A^{+(2Z-1)}$ ($Z=88, 90, 92, 94, 96, 98$), а также вероятности и сечения перезарядки и сечения ионизации для медленных столкновений $H(1s)-H^+$, $Ne^{9+}(1s)-Ne^{10+}$, $Xe^{53+}(1s)-Xe^{54+}$, and $U^{91+}(1s)-U^{92+}$. Была исследована роль релятивистских эффектов путем сравнения полученных данных с результатами нерелятивистских расчетов, полученных при стремлении скорости света к бесконечности ($c \rightarrow \infty$). Мы продемонстрировали, что релятивистские и нерелятивистские вероятности перезарядки как функции прицельного параметра при малых энергиях имеют осциллирующий характер, однако, релятивистские кривые сдвинуты в область меньших энергий по сравнению с нерелятивистскими. Показано, что в случае столкновений $U^{91+}(1s)-U^{92+}$ релятивистский эффект уменьшает сечение перезарядки на 30%.

[1] Y.B. Zeldovich and V.S. Popov, *Usp. Fiz. Nauk* **105** (1971) 403 [*Sov. Phys. Usp.* (1972) **14** 673].

[2] W. Greiner, B. Müller, J. Rafelski, *Quantum Electrodynamics of Strong Fields*, (Springer-Verlag, Berlin, 1985).

Дифракция нейтронов в нецентросимметричных кристаллах. Новый метод поиска электрического дипольного момента нейтрона

В. В. Федоров

ПИЯФ им. Б.П. Константинова РАН, Гатчина, РФ

Обсуждаются новые эффекты, связанные с наличием предсказанных и обнаруженных нами [1] сильных внутрикристаллических электрических полей (вплоть до 10^9 В/см), которые действуют на нейтрон, движущийся в нецентросимметричном кристалле. Величина и направление такого поля зависят от величины и направления импульса нейтрона в кристалле, что приводит к ряду новых наблюдаемых явлений в дифракции и оптике поляризованных нейтронов [2]. Это открывает, например, новый путь поиска электрического дипольного момента нейтрона (ЭДМ) с чувствительностью, сопоставимой или превышающей чувствительность наиболее точного в настоящее время магниторезонансного метода, использующего ультрахолодные нейтроны (лучшее ограничение на ЭДМ, полученное этим методом $D < 3 \times 10^{-26}$ (90% С.Л.) на реакторе ИЛЛ в Гренобле [3], явилось результатом многолетних усилий групп ПИЯФ и ИЛЛ). Обнаружение ЭДМ или получение более жестких ограничений на его величину являются очень важными с точки зрения как выяснения природы CP-нарушения, так и барионной асимметрии Вселенной.

Ряд экспериментов по обнаружению и изучению новых нейтронооптических явлений был выполнен на реакторе ВВР-М ПИЯФ в Гатчине. Результаты проведенных исследований дают реальные перспективы поиска ЭДМ нейтрона кристалл-дифракционным методом с сопоставимой с другими или лучшей точностью. Недавний тестовый эксперимент [4] по поиску ЭДМ нейтрона дифракционным методом, выполненный на высокопоточном реакторе ИЛЛ, подтвердил это заключение.

Одновременно получено прямое ограничение на параметры короткодействующего псевдомагнитного взаимодействия свободного нейтрона с веществом [5]. Показано что это ограничение на произведение скалярной и псевдоскалярной констант $g_s g_p$ является лучшим в диапазоне расстояний $\lambda < 10^{-5}$ см.

[1] V. L. Alexeev *et al.*, NIM **A 284** (1989) 181.

[2] V. V. Fedorov, V. V. Voronin., NIM **B 201** (2003) 2301.

[3] C. A. Baker *et al.*, Phys. Rev. Lett. **97** (2006) 131801.

[4] V. V. Fedorov *et al.*, Nucl. Phys. **A 827** (2009) 538; Phys. Lett. **B 694** (2010) 22.

[5] В. В. Воронин и др., Письма в ЖЭТФ **90** (2009) 7.

Измерение адронных сечений на ВЭПП-2000 и (g-2) мюона

Г. В. Федотович

Представлен краткий обзор результатов измерения адронных сечений с детектором КМД-2 на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2М в области энергий до 1.4 ГэВ в системе центра масс. Точность измерения этих сечений дает на сегодня доминирующий вклад в ошибку при вычислении адронного вклада в аномальный магнитный момент мюона (g-2). Физическая программа экспериментов с детектором КМД-3 на e^+e^- коллайдере ВЭПП-2000 предполагает улучшение точности измерений основных адронных сечений по крайней мере в два раза, что необходимо в свете нового эксперимента по измерению (g-2) мюона (FNAL) с точностью 0.15 ppm.

Можно ли наблюдать CP -нарушение в столкновениях тяжелых ионов?

А.С. Руденко^а, И.Б. Хриплович^а

^а *Институт ядерной физики*

Показано, что, по крайней мере, в настоящее время не существует реального способа обнаружить CP - нарушение в столкновениях тяжелых ионов.

Радиационные поправки к отдаче к сверхтонкому расщеплению в мюонии, связанные с рассеянием света на свете

В. А. Шелюто^a, М. И. Эйдес^{b,c}

^a ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, Санкт-Петербург

^b Петербургский институт ядерной физики РАН, Гатчина

^c Department of Physics and Astronomy, University of Kentucky, USA

Обсуждаются трехпетлевые радиационные поправки к отдаче к сверхтонкому расщеплению основного состояния мюония. Ведущие вклады, содержащие куб и квадрат логарифма отношения масс мюона и электрона, хорошо известны (см., например, обзор в [1]). Позднее были вычислены линейные логарифмы и константы для ряда калибровочно-инвариантных наборов диаграмм (подробно в [2]). В данной работе найден вклад диаграмм, содержащих блок рассеяния света на свете. На Рис. 1 изображен калибровочно-инвариантный набор диаграмм, соответствующий блоку рассеяния света на свете с электронной петлей. Кроме него вычислен ана-

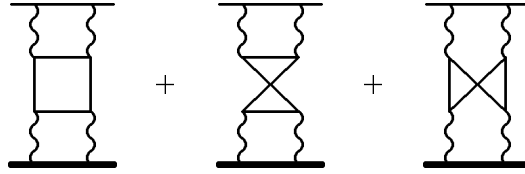


Рис. 1: Трехпетлевые диаграммы с блоком рассеяния света на свете

логичный вклад калибровочно-инвариантного набора диаграмм с мюонной петлей. Сумма двух указанных калибровочно-инвариантных наборов диаграмм равна

$$\delta E = \frac{\alpha^3}{\pi^3} \frac{m}{M} E_F \left[C_1 \cdot \ln \frac{M}{m} + C_{0e} + C_{0\mu} \right],$$

где m и M – электронная и мюонная массы, E_F – энергия Ферми, α – постоянная тонкой структуры, C_{0e} и $C_{0\mu}$ – численные коэффициенты, найденные в данной работе.

[1] M. I. Eides, H. Grotch and V. A. Shelyuto, Theory of Light Hydrogenic Bound States, Springer, 2007.

[2] M. I. Eides, H. Grotch and V. A. Shelyuto, Phys. Rev. Lett., **103** (2009) 133003.

Прецизионные измерения массы τ -лептона

С.И. Эйдельман^a

^a *Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН*

Масса τ -лептона – один из фундаментальных параметров Стандартной Модели. В соотношения для проверки лептонной универсальности масса τ входит в пятой степени, что требует высокой точности ее измерения. До недавнего времени ее среднемировое значение [1] определялось единственным измерением группы BES [2], выполненным вблизи порога рождения пары τ -лептонов. Группа КЕДР выполнила аналогичное измерение и достигла несколько лучшей точности, используя прецизионное определение энергии [3]. Группа Belle применила для измерения метод псевдомассы [4]. Результаты BES, КЕДР и Belle находятся в хорошем согласии, причем метод псевдомассы требует на несколько порядков большей статистики, чем пороговый, и уступает в систематической погрешности. Новые измерения улучшили среднемировую точность массы τ в полтора раза [5]. В 2008 г. группа BABAR также измерила массу τ методом псевдомассы [6] с точностью, близкой к точности Belle, что привело к дальнейшему улучшению среднемировой точности [7]. Наконец, группа КЕДР увеличила статистику в 2 раза и работает над уменьшением систематической погрешности, планируя добиться полной погрешности около 150 кэВ [8].

Группа	m_τ , МэВ
BES, 1996	$1776.96^{+0.18+0.25}_{-0.21-0.17}$
PDG, 2006	$1776.99^{+0.29}_{-0.26}$
КЕДР, 2007	$1776.81^{+0.25}_{-0.23} \pm 0.15$
Belle, 2007	$1776.61 \pm 0.13 \pm 0.35$
PDG, 2008	1776.84 ± 0.17
BaBar, 2008	$1776.68 \pm 0.12 \pm 0.41$
PDG, 2010	1776.82 ± 0.16
КЕДР, 2009	$1776.69^{+0.17}_{-0.19} \pm 0.15$

-
- [1] W.-M. Yao *et al.* (Particle Data Group), J. Phys. G **33** (2006) 1.
[2] J.Z. Bai *et al.* (BES Collab.), Phys. Rev. D **53** (1996) 20.
[3] В.В. Анашин *и др.* (Коллаб. КЕДР), Письма в ЖЭТФ **85** (2007) 429.
[4] K. Belous *et al.* (Belle Collab.), Phys. Rev. Lett. **99** (2007) 011801.
[5] C. Amsler *et al.* (Particle Data Group), Phys. Lett. B **667** (2008) 1.
[6] B. Aubert *et al.* (BABAR Collab.), Phys. Rev. D **80** (2009) 092005.
[7] K. Nakamura *et al.* (Particle Data Group), J. Phys. G **37** (2010) 075021.
[8] A.G. Shamov *et al.* (KEDR Collab.), Nucl. Phys. Proc. Suppl. **189** (2009) 21.

Универсальные ведущие релятивистские поправки к g факторам связанных состояний

Михаил И. Эйдес

*Петербургский институт ядерной физики, Гатчина, 188300,
и Кентаккский университет, КУ 40506, США*

Вычислены ведущие релятивистские поправки к g факторам связанных частиц с произвольным спином [1]. Показано, что эти поправки универсальны для частиц с любым спином, и зависят лишь от гиромагнитных отношений свободных частиц. Для доказательства этой универсальности мы построили нерелятивистскую квантовую электродинамику (НРКЭД) заряженных частиц с произвольным спином. Коэффициенты НРКЭД гамильтониана для частиц с произвольным спином полностью определяются из условий релятивистской инвариантности и локального сохранения заряда в соответствующей релятивистской теории. В случае заряженных частиц со спином один полученный нами НРКЭД гамильтониан следует также из ренормируемой КЭД заряженных векторных бозонов. Универсальность ведущих релятивистских поправок может быть объяснена с помощью уравнения Баргмана-Мишеля-Телегди.

[1] M. I. Eides and T. J. S. Martin, Phys. Rev. Lett. **105** (2010) 100402.

Прецизионная спектроскопия водорода для $n=2$ с использованием спинфилтра

R.Engels^a, M.Westig^b, К.Григорьев^{a,c}, М.Микиртычьянц^{a,c}, F.Rathmann^a,
Н.Паetz gen. Schieck^d, G.Schug^a, А.Васильев^c, Н.Stroehler^a

^a *Институт ядерной физики, Юлих, Германия*

^b *Институт атомной физики, Кельнский университет, Германия*

^c *Петербургский институт ядерной физики, Гатчина, Россия*

^d *Институт ядерной физики, Кельнский университет, Германия*

Спинфилтр, важнейший компонент поляриметра, работающего на эффекте лэмбовского сдвига, позволяет провести чрезвычайно важные новейшие измерения в фундаментальном атоме водорода, поскольку он дает возможность получать интенсивный пучок атомарного водорода с энергией от тепловой до нескольких кэВ в одном сверхтонком состоянии [1]. Полная диаграмма Брайта-Раби для всех сверхтонких состояний $n=2$ может быть измерена при помощи индуцированных одиночных переходов в различных магнитных полях между сверхтонкими состояниями $2S_{1/2}$, а также в состоянии $2P_{1/2}$ или $2P_{3/2}$. Таким образом, можно рассчитать классический лэмбовский сдвиг, энергии сверхтонких расщеплений и g -факторы Ландэ с точностью, сопоставимой с достижимой в двухфотонной лазерной спектроскопии [2].

Если этот метод подтвердится для водорода, то он также будет применим для антиводорода в проекте FAIR в GSI. Таким образом, пучок метастабильного антиводорода может быть исследован на той же установке, которая подразумевает, что не будет нужды в накоплении антиматерии в ловушке. Кроме того, такие же измерения возможны для дейтерия, что, после сравнения с результатами для водорода по теории D_{21} (QED), позволит получить новую информацию о протонной и нейтронной структуре, например, распределении заряда в протоне.

Наконец, в этом эксперименте возможно обнаружение нарушения четности при добавлении слабого взаимодействия к электромагнитному взаимодействию, что позволит измерить угол слабого смешивания $\sin^2\Theta_w$ при передаче очень малого импульса с высокой точностью [3].

[1] R. Engels *et al.*, Rev. Sci. Instr. **74** (2003) 4607.

[2] M.P. Westig *et al.*, Eur. Phys. J. D **57** (2010) 27.

[3] R.W. Dunford and R.J. Holt, J. Phys. G **34** (2007) 2099.

Стендовые доклады

Расчет поправок на поляризацию вакуума к сверхтонкой структуре многозарядных ионов

О. В. Андреев^{1,2}, А. В. Володка^{1,2}, Д. А. Глазов^{1,2}, В. М. Шабаев¹, G. Plunien²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

² Технический университет г. Дрездена, Германия

Исследования сверхтонкой структуры многозарядных ионов мотивируется возможностью проверки квантовой электродинамики (КЭД) в самых сильных электрическом и магнитном полях, доступных экспериментально (см. [1]). В то время как одноэлектронные КЭД-поправки к сверхтонкой структуре уже были вычислены с достаточной точностью, эффекты экранировки считались только в приближении эффективного потенциала.

Целью настоящей работы является проведение точного КЭД-расчета экранирующих эффектов порядка $1/Z$ к вакуумной поляризации к сверхтонкой структуре многозарядных ионов.

Значительный успех уже был достигнут в этом исследовании. Были вычислены вклады Вичманн-Кролла для электрической и магнитной петель вакуумной поляризации. Это позволяет уже сейчас компилировать наиболее точные теоретические значения для поправки на экранированную поляризацию вакуума к сверхтонкой структуре, и улучшить точность теоретического предсказания специфической разницы сверхтонкого расщепления для литие- и водородоподобного ионов, в которой сокращается эффект Бора-Вайскопфа.

Для завершения расчета предстоит учесть вклад Вичманн-Кролла от еще двух диаграмм (D, F, см. Рис. 1).

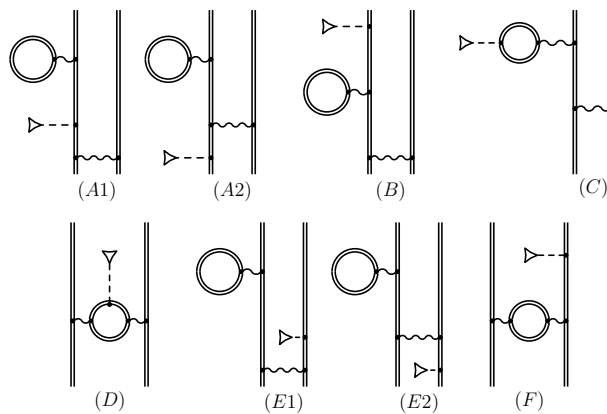


Рис. 1: Диаграммы, дающие вклад в поправку на экранированную поляризацию вакуума к сверхтонкой структуре.

[1] V. M. Shabaev *et al.*, Phys. Rev. Lett. 86, 3959 (2001)

К поиску электрического дипольного момента электрона. Теоретическое изучение молекулы RbF

Бакланов К.И.^a, Петров А.Н.^b, Титов А.В.^b и Козлов М.Г.^b

^a Санкт-Петербургский государственный университет

^b Петербургский институт ядерной физики

Состояние	Работа	A_{\perp} (MHz)	A_{\parallel} (MHz)	W_d (10^{25} Hz/e cm)	W_P (KHz)
$^2\Pi_{1/2}$	Дмитриев и др. ^(T)	-8990	10990	1.4	-0.72
	Шафер-Рей и др. ^(E) (2008)	7200 ± 150	10300 ± 800		
	Шафер-Рей и др. ^(E) (2010)	-7264	10147		
	Майер и др. ^(T)			1.5	
	Козлов и др. ^(T) (a)	-7460	8690	1.0	-0.65
	Козлов и др. ^(T) (b)	-8240	9550	1.8	-1.25
	Данная работа	-6860	9727	1.6	-0.99
$A^2\Sigma_{1/2}^+$	Шафер-Рей и др. ^(E) (2008)	-1200 ± 300	3000 ± 2500		
	МкРавен и др. ^(T) (2010)	1460	2800		
	Данная работа	1721	3073	2.5	-1.59

Таблица 2: Параметры спин-вращательного гамильтониана H_{sr} . В работе М.Г. Козлова и др. расчеты были сделаны для большого (a) и малого спин-орбитального смешивания(b). ^(T),^(E) - теоретическая, экспериментальная работа.

Новый эксперимент по поиску электрического дипольного момента (eEDM) на молекуле RbF планируется группой Шафер-Рея (Университет Оклахома, США). Экспериментально измеренные eEDM сдвиги частоты спектра молекулы определяются эффективным электрическим полем E_{eff} . Молекула RbF имеет одно из самых сильных значений E_{eff} , что позволяет экспериментально протестировать существование ‘новой физики’ за пределами Стандартной модели, в том числе различные суперсимметричные модели. Многие из таких моделей прогнозируют eEDM в диапазоне от $10^{-28}e \cdot cm$ до $10^{-29}e \cdot cm$, что находится в пределах досягаемости нового поколения молекулярных экспериментов по поиску eEDM.

В данной работе рассчитаны спектроскопические константы и параметры H_{sr} . В частности, мы фокусируем внимание на расчете E_{eff} и постоянных сверхтонкой структуры на ядре свинца. Наши новые результаты находятся в согласии с предыдущими расчетами и новейшими экспериментальными данными. Акцент в работе также делается на устранение первоначальных расхождений между теорией и экспериментом для сверхтонкой структуры RbF, и нами показано, что они были вызваны неправильным фиксированием фазового множителя в спин-вращательной волновой функции.

Работа поддержана грантом РФФИ 09-03-01034-а и Минобрнауки РФ (Программа Развитие научного потенциала высшей школы, грант 2.1.1/1136)

Эффект кулоновской глории в столкновениях антипротонов с тяжёлыми ядрами

А. В. Майорова ^a, Д. А. Тельнов ^a, В. М. Шабает ^a, В. А. Зайцев ^a, G. Plunien ^b и Th. Stöhlker ^{c,d}

^a Физический факультет, Санкт-Петербургский государственный Университет, Ульяновская 1, Петродворец, Санкт-Петербург, 198504, Россия

^b Institut für Theoretische Physik, TU Dresden, Mommsenstrasse 13, Dresden, D-01062, Germany

^c Gesellschaft für Schwerionenforschung, Planckstrasse 1, Darmstadt, D-64291, Germany

^d Physikalisches Institut, Philosophenweg 12, Heidelberg, D-69120, Germany

Новые возможности в области исследования антипротонов в ГСИ (Дармштадт) позволяют наблюдать эффект кулоновской глории, предсказанный в работах Демкова и соавторов [1, 2]. Эффект состоит в возникновении ярко выраженного максимума дифференциального сечения (ДС) при обратном рассеянии частиц с определенной энергией, при условии, что взаимодействие с мишенью задается экранированным кулоновским потенциалом притяжения. В наших предыдущих работах [3, 4] обратное рассеяние антипротонов многозарядным и нейтральным ураном ($Z = 92$) изучалось в рамках нерелятивистской квантовой механики. В настоящей работе исследуется процесс столкновения антипротонов с энергиями от 100 эВ до 2.5 кэВ с голым ядром урана в рамках релятивистской квантовой теории. Кроме конечных размеров ядра, учтено влияние аномального магнитного момента антипротона и вклад от точного однопетлевого потенциала вакуумной поляризации. Экранировочные свойства последнего приводят к возникновению значительного максимума ДС при рассеянии назад, что предсказывает как нерелятивистский, так и релятивистский расчет. Также получены оценки влияния неупругих процессов, таких как радиационная рекомбинация и аннигиляция антипротонов, данные эффекты не препятствуют наблюдению кулоновской глории.

[1] Yu. N. Demkov, V. N. Ostrovsky and D. A. Telnov, *Zh. Exp. Teor. Fiz.* **86** (1984) 442 (*Sov. Phys. – JETP* **59**(1984) 257).

[2] Yu. N. Demkov. and V. N. Ostrovsky, *J. Phys. B* **34** (2001) L595.

[3] A. V. Maiorova, D. A. Telnov, V. M. Shabaev, I. I. Tupitsyn, G. Plunien and Th. Stöhlker, *Phys. Rev. A* **76** (2007) 032709.

[4] A. V. Maiorova, D. A. Telnov, V. M. Shabaev, G. Plunien and Th. Stöhlker, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **41** (2008) 245203.

Генерация и распределение эталонной частоты для прецизионных измерений на основе водородного лазера и приемника GPS

А.Н. Матвеев^a, Н.Н. Колачевский^b, С.G. Parthey^a, J. Alnis^a, A. Beyer^a, Th. Udem^a,
R. Holzwarth^a, D. Rovera^c, M. Abgrall^c, Ph. Laurent^c, T.W. Hänsch^a

^a *MPQ, Max Planck Institute of Quantum Optics, 85748 Garching, Germany*

^b *Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Ленинский Проспект 31, 119991 Москва, Россия*

^c *BNM-SYRTE, Observatoire de Paris, 61 Avenue de l'Observatoire, 75014 Paris, France*

Значительный прогресс, достигнутый в последние годы в прецизионной спектроскопии благодаря использованию фемтосекундной гребенки частот, перевел измерение с частоты излучения ультрастабильной лазерной системы в разряд рутинных операций, выполняемых во многих лабораториях мира. Вместе с тем, использование гребенки требует наличия в лаборатории эталона радиочастоты, точность которого не ограничивала бы точность основного эксперимента. В настоящее время отсутствуют коммерческие стандарты радиочастоты, обеспечивающие относительную точность порядка 10^{-15} . Практически лучшим коммерческим радиочастотным стандартом является активный водородный мазер, который обладает высокой стабильностью в масштабе времени порядка суток, но выходной сигнал которого обладает непредсказуемым долговременным дрейфом частоты. Вместе с тем, использование глобальных спутниковых систем позиционирования позволяет откалибровать сигнал водородного лазера, что открывает возможность построения локального эталона на основе подобной калибровки.

В институте Квантовой оптики общества Макса Планка, для эксперимента по прецизионному измерению перехода $1s-2s$ в атомарном водороде [1], нами была создана установка на основе активного водородного лазера, калибруемого по сигналам системы GPS. Для обработки данных, получаемых от GPS-приемника, была использована программа, разработанная в центре Природных ресурсов Канады. Стабильность получаемых данных достигает нескольких единиц в пятнадцатом знаке на временах порядка суток.

Уникальной возможностью проверки точности калибровки через GPS стало сравнение получаемых результатов с результатами калибровки относительно мобильного цезиевого фонтана FOM, находившегося в Квантовой оптики общества Макса Планка в течение двух недель. Сравнение калибровки частоты с первичным стандартом показало совпадение результатов калибровки на уровне $5 * 10^{-15}$.

[1] M. Fischer, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **92** (2004) 230802.

Поляризация вакуума ядром конечных размеров: численная аппроксимация плотности и потенциала

Н.Л. Манаков, А.А. Некипелов

Воронежский государственный университет

Теоретическому исследованию КЭД – эффектов в многозарядных ионах, расчету фейнмановских диаграмм различных порядков, в т.ч. включающих в себя вклад поляризации вакуума кулоновским полем, посвящены работы ряда авторов (ссылки см. в обзоре [1]). Одной из технических трудностей таких расчетов является вычисление плотности заряда и соответствующего ему потенциала, индуцированного в вакууме атомным ядром. Для точечного ядра такая задача была решена нами в [2], там же приведены и численные аппроксимации потенциала. Однако в настоящее время во многих случаях актуальным является учет конечных размеров ядра в КЭД – поправках различных порядков.

В настоящем сообщении мы приводим полученную нами численную аппроксимацию поляризационной плотности и потенциала как функции расстояния от ядра, заряда и радиуса ядра.

[1] Шабает В.М., УФН **178**, 1220 (2008)

[2] A.G. Fainstein, N.L. Manakov and A.A. Nekipelov, J. Phys. B.: At. Mol. Opt. Phys. **23**, 559 (1990)

Поиск электрического дипольного момента в молекулярных системах

Петров А.Н.^{a,b}, Скрипников Л.В.^a, Мосягин Н.С.^a, Титов А.В.^a

^a *Петербургский институт ядерной физики*

^b *Санкт-Петербургский государственный университет*

Одной из самых актуальных фундаментальных проблем современной физики является поиск перманентного электрического дипольного момента (ЭДМ) электрона. Подготавливаемые в настоящее время новые высокоточные эксперименты на полярных молекулах с тяжелыми атомами позволят измерять ЭДМ электрона на уровне $10^{-28} - 10^{-30}e \cdot \text{cm}$, где e – заряд электрона. Такой уровень как раз предсказывают различные популярные расширения Стандартной модели. Поэтому с такой чувствительностью, даже получение совместимого с нулем результата для ЭДМ электрона будет иметь драматические последствия для современной теории фундаментальных взаимодействий. Ненулевой же результат будет впервые прямо свидетельствовать о наличии "новой физики" за пределами Стандартной модели электрослабых взаимодействий. В последние годы наиболее успешно подготавливаются эксперименты на молекулярном пучке ThO [1] объединенной группой из трех университетов США (Yale, Harvard, Maryland), на молекуле PbO [2]. Группой Э.Корнелла (JILA, Боулдер, США) активно исследуются новые способы поиска ЭДМ на холодных молекулярных ионах в ловушке. Одним из кандидатов является катион HfF^+ [3].

Нами впервые проведены расчеты целого ряда свойств (спектроскопические постоянные, постоянные сверхтонкого расщепления, g-факторы, радиационные времена жизни возбужденных уровней и др.) для данных молекул, знание которых необходимо для проведения экспериментов. Однако одной из наиболее важных величин рассчитанных в данной работе является внутреннее электрическое поле (E_{eff}) полярных двухатомных молекул, которое на несколько порядков выше достижимого в лабораторных условиях. Чем больше E_{eff} , тем меньшее значение ЭДМ может быть обнаружено при изучении спектра молекулы, поэтому величина E_{eff} является одной из наиболее важных при определении перспективности молекулы для поиска ЭДМ. Важно, что значение E_{eff} не может быть получено экспериментально, а может быть найдено только в результате расчета. Расчеты выполнялись методом обобщенного релятивистского эффективного потенциала остова с последующим восстановлением правильного поведения спинов в остове тяжелого атома. Работа поддержана грантом РФФИ 09-03-01034-а. АП благодарит Минобрнауки РФ (Программа Развитие научного потенциала высшей школы, грант 2.1.1/1136)

[1] A.C.Vutha *et al.*, J. Phys. B **43** (2010) 074007.

[2] S.Bickman *et al.*, Phys. Rev. A **80** (2009) 023418.

[3] R.Stutz and E.Cornell, Bull.Amer.Phys.Soc. **49** (2004) 76.

Прогресс в создании национального эталона ома на основе фундаментальных физических констант

А. В. Плошинский, Ю. П. Семенов

ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, С-Петербург

После открытия квантового эффекта Холла (КЭХ) в 1980 г. и исследования в ведущих метрологических лабораториях мира возможности его использования для воспроизведения расчетного значения сопротивления, МКМВ на 18 сессии принял рекомендацию о переходе с 01.01.90 года на новый способ представления единицы электрического сопротивления на основе согласованного значения константы Клитцинга.

В 1991 г. во ВНИИМ был утвержден национальный эталон ома ГЭТ 14-91, воспроизводящий единицу электрического сопротивления на основе КЭХ. При этом Россия оказалась единственной страной, у которой изменение размера национальной единицы, хранимой групповым эталоном, на 01.01.90 лежало в пределах погрешности эталона и составило $2 \cdot 10^{-8}$.

В настоящее время во ВНИИМ проводится комплекс исследовательских работ по подготовке к утверждению нового национального эталона ома, имеющем в своем составе как криогенно-магнитную систему для воспроизведения значения сопротивления на основе КЭХ при температуре 1,1К, так и криогенный компаратор токов.

По заданию ВНИИМ для высокоточного воспроизведения значения КСХ в Национальном Исследовательском Центре (NRC) Канады были изготовлены и исследованы холловские гетероструктуры на основе арсенида галлия с плотностью носителей порядка $3,6 \times 10^{15} \text{ м}^{-2}$. Это обеспечило устойчивое квантование холловского сопротивления на плато $i=2$ при индукции магнитного поля около 7 Тл.

При этом значение КСХ, снимаемое на аппаратуре нового эталона с четырех возможных комбинаций потенциальных контактов (1-2, 3-4, 1-4, 3-2) структуры, передавалось термостатированной мере 1 кОм. Проведенные измерения показали, что воспроизводимость результатов в каждом из компарирований не превышает $2^{-3} \times 10^{-8}$. Продольное сопротивление структуры в режиме квантования не превышало 1 мОм.

Основное направление текущих работ по созданию нового эталона ома предусматривает завершение изготовления криогенного компаратора токов, позволяющего осуществить передачу значения КСХ эталонным мерам сопротивления с погрешностью $5 \cdot 10^{-9}$.

-
- [1] Курочкин Ф.Е., Плошинский А.В., Семенов Ю.П., Хахамов И.В., Шигорин В.П. *Государственный эталон единицы электрического сопротивления и новое представление ома на основе квантового эффекта Холла*, Измерительная техника, 1990, **12**, 3-4.

Эффекты несохранения четности на запрещенных магнитодипольных переходах в атоме водорода и легких водородоподобных ионах

А. М. Пучков^а,

^а НИИ физики имени В. А. Фока, Санкт-Петербургский Государственный Университет, 198504 Санкт-Петербург, Старый Петергоф, Ульяновская 1.

Предложен метод вычисления матричных элементов для уравнения Дирака в кулоновском поле, основанный на вириальных соотношениях [1, 2]. Установлена связь вириальных соотношений с матрицами. Найден явный вид матриц для прямой и обратной рекурсии, что позволило решить проблему отрицательных степеней. На примере вычисления вероятностей запрещенных $M1$ - переходов показано как надо применять этот метод к конкретным задачам. Получены общие выражения для вероятности всех сильно запрещенных магнитодипольных переходов между состояниями njl и $n'jl$ в атоме водорода и легких водородоподобных ионах в старшем порядке по параметру (αZ) в виде $W_{n'jl; njl}^{(M1)} = D_{n'n}^{lj} \alpha m_e (\alpha Z)^{10}$ (в релятивистских единицах), где m_e — масса электрона, α — постоянная тонкой структуры, Z — заряд ядра. На основе этих выражений проведен систематический анализ зависимости степени несохранения четности от главных квантовых чисел нижнего и верхнего состояния n и n' в $ns_{1/2} - n's_{1/2}$ и $np_{1/2} - n'p_{1/2}$ запрещенных $M1$ -переходах [3]. Полученные результаты могут быть использованы для планирования экспериментов по несохранению четности на атоме водорода.

В докладе затрагиваются ранее не обсуждавшиеся вопросы обобщения метода вириальных соотношений на случай произвольного атома и некоторые проблемы суммирования рядов.

[1] V. M. Shabaev, J.Phys. B **24**, (1991) 4479.

[2] V. M. Shabaev, *Precision Physics of Simple Atomic Systems* (Springer, Berlin) (2003) 97; E-print/physics/0211087 (2002)

[3] А. М. Пучков, Л. Н. Лабзовский, *Оптика и спектроскопия*. **108** (2010), 713.

К поиску Р,Т-нечётных свойств на $\text{Eu}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{TiO}_3$: расчёт коэффициента усиления электрического дипольного момента электрона в Eu^{++}

Скрипников Л.В.^a, Титов А.В.^a, Петров А.Н.^{a b}, Мосягин Н.С.^a

^a *Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова, г. Гатчина, Ленинградская обл.*

^b *Санкт-Петербургский Государственный Университет, Петродворец, С.-Петербург*

На настоящий момент очень актуальны эксперименты по поиску “новой физики” (т.е. выходящей за рамки Стандартной модели электрослабых взаимодействий, см. [1] и ссылки) - перманентного электрического дипольного момента электрона ($e\text{ЭДМ}$). Даже если будут получены совместимые с нулем ограничения на величины Р,Т-нечетных эффектов, результаты данных экспериментов драматически повлияют практически на все популярные расширения Стандартной модели. В 60-70е годы было показано, что эксперименты по измерению $e\text{ЭДМ}$ на молекулах или твердых телах, содержащих атомы тяжелых элементов, очень перспективны. В таких соединениях достижимы чрезвычайно сильные эффективные электрические поля E_{eff} , действующие на $e\text{ЭДМ}$, в результате чего энергия взаимодействия E_{eff} с $e\text{ЭДМ}$ может быть достаточно большой, чтобы ее можно было измерить. Однако величина самого E_{eff} , необходимая для “извлечения” величины $e\text{ЭДМ}$ из экспериментальных данных может быть получена только на основе теоретических расчетов.

Недавно был предложен и подготавливается эксперимент на кристалле $\text{Eu}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{TiO}_3$ (ЕВТО) со структурой перовскита [2]. Для интерпретации этого эксперимента (фактического вычисления величины $e\text{ЭДМ}$) необходимо разработать и применить методику надежного расчета величины E_{eff} в ЕВТО, т.к. традиционные методы расчета кристаллов (такие как функционал плотности) не позволяют применять их для расчета подобных свойств, по крайней мере без соответствующей калибровки.

В настоящей работе рассмотрена первая важная модель для расчета E_{eff} в кристалле ЕВТО – катион Eu^{++} во внешнем однородном электрическом поле. Для этой системы выполнены прецизионные расчеты коэффициента усиления электрического дипольного момента электрона, а также вклады в эту величину от различных оболочек этого катиона, в частности, показана роль спиновой поляризации внешних основных 4s,4p и 4d - орбиталей.

Работа поддержана грантом РФФИ 09-03-01034-а. ЛС благодарит Региональный общественный Фонд содействия отечественной науке. АП благодарит Минобрнауки РФ (Программа Развитие научного потенциала высшей школы, грант № 2.1.1/1136).

[1] J.S.M.Ginges and V.V.Flambaum, Phys. Rep. 397, 63 (2004)

[2] A. O. Sushkov, S. Eckel, S. K. Lamoreaux, Phys. Rev. A 81, 022104 (2010)

О предстоящем переопределении ампера

Г.М. Трунов

Пермский государственный технический университет, Пермь, Россия,

Показано, что предложенное новое определение ампера [1]: «Ампер есть сила электрического тока в направлении потока, содержащего точно $1/(1,60217653 \cdot 10^{19})$ элементарных зарядов в секунду» является некорректным.

При определении единицы силы электрического тока была одновременно определена единица электрического заряда $[e] = (1 \text{ A}) \cdot (1 \text{ c}) = (1 \text{ A} \cdot \text{c}) = 1 \text{ Кл}$ (кулон) и размерность электрического заряда $\dim Q = (\dim I) \times (\dim t) = \text{IT}$.

Такие действия противоречат основному правилу построения систем единиц: «Из одного уравнения связи между величинами должна определяться только одна единица физической величины и ее размерность».

Предложено вернуться к рассмотрению возможности замены четвертой основной единицы СИ ампера кулоном с размерностью $\dim Q = Q$. Учитывая дискретность электрического заряда $Q = N e$, где $N = 1, 2, 3, \dots$, единица электрического заряда определяется из закона Кулона для точечных зарядов следующим образом: «Кулон — электрический точечный заряд, равный точному числу $1/(1,60217653 \cdot 10^{19})$ элементарных зарядов и взаимодействующий в вакууме с равным ему точечным зарядом, расположенным на расстоянии 1 метра, с силой $(299792458)^2 \times 10^{-7}$ ньютонов».

Замена ампера кулоном позволит восстановить естественный порядок определения электрических величин (сначала определятся электрический заряд Q , затем сила электрического тока) $I = Q/t$. Необходимо использовать этот исторический шанс, позволяющий «исправить» СИ в области электромагнетизма!

Кроме того, особо отметим, что замена ампера на кулон на фоне предстоящих переопределений остальных основных единиц СИ не вызовет «глобальной реструктуризации СИ», а приведет только к изменению размерностей электромагнитных величин, в которых символ «I» будет заменен символами «QT⁻¹».

Замена ампера на кулон сделает СИ более гармоничной системой единиц, т.к. в этом случае СИ будет основываться на системе величин LMTQ, в которой основные величины длина L и время T отражают фундаментальные свойства пространства-времени, а масса M и электрический заряд Q определяют, соответственно, фундаментальные гравитационное и электрическое взаимодействия.

[1] I. M. Mills et al., Metrologia **43** (2006) 227.

Возможно ли одновременно фиксировать значения постоянной Планка h и элементарного заряда e

Г.М. Трунов

Пермский государственный технический университет, Пермь, Россия,

В работе [1] представлены новые определения килограмма и ампера с использованием, соответственно, фиксированных значений постоянной Планка h , постоянной Авогадро N_A и элементарного заряда e .

Не подвергая сомнению необходимость переопределения основных единиц СИ с использованием точных значений ФФК, в работе [2] было высказано предположение, что “фиксация сразу трёх констант c , h , e на современном уровне точности может вскоре привести к противоречию с независимыми измерениями постоянной тонкой структуры?”.

По мнению авторов [1], одновременная фиксация числовых значений констант h и возможна, если магнитная постоянная μ_0 не будет иметь фиксированного значения.

В связи с тем, что величины ϵ_0 и μ_0 , появляющиеся в законе Кулона и в законе Ампера для двух проводников с токами при переходе от трёхразмерной системы СГС к четырёхразмерным в области электромагнетизма единицам СИ, являются лишь производными от размерного, имеющего точное значение коэффициента $k_0 = 10^{-7} \cdot \{c\}^2 \text{Н} \cdot \text{м}^2 / (\text{А}^2 \cdot \text{с}^2)$, где $\{c\}^2 = 299\,792\,458$ – числовое значение скорости света в вакууме [3]. Поэтому попытка считать имеющие точные значения размерные коэффициенты ϵ_0 и μ_0 “величиной, которую нужно определять экспериментально”, не имеет никакого основания.

Следовательно, одновременное переопределение килограмма с фиксацией числового значения постоянной Планка h и ампера с фиксацией числового значения элементарного заряда e является некорректным, т.к. в этом случае все величины α , h , c , ϵ_0 будут иметь точные значения. Поэтому необходимо переопределить килограмм с использованием точного значения постоянной Авогадро. При этом относительная погрешность измерения значения постоянной Планка h , будет такой же, что и у постоянной тонкой структуры α .

[1] I. M. Mills et al, Metrologia **43** (2006) 227.

[2] С. А. Кононогов, Метрология **1** (2007) 3.

[3] Г. М. Трунов, Законодательная и прикладная метрология **2** (2007) 48.

Реликтовое излучение как источник информации о возможном изменении фундаментальных констант

Холупенко Е.Е.^a, Иванчик А.В.^{a,b}, Варшалович Д.А.^{a,b}

^a *Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН*

^b *Кафедра "Космические исследования", СПбГПУ*

В последнее десятилетие особенное внимание уделяется изучению анизотропии реликтового излучения (РИ), поскольку, с одной стороны, она была теоретически предсказана и рассчитана в рамках принятых космологических моделей, а с другой стороны, в конце 80-х - начале 90-х годов прошлого века появилось оборудование, с помощью которого анизотропия была измерена в ряде экспериментов (Реликт-1, COBE, BOOMERANG, MAXIMA и др.). Качество уже полученных данных по анизотропии РИ (эксперименты WMAP и Planck) и наблюдению LSS таково, что позволяет говорить о вступлении космологии в стадию "прецизионной точности" (т.н. стадию precision cosmology, т.е. точность определения значений космологических параметров составляет сегодня несколько процентов). В докладе дан краткий обзор современных и планируемых экспериментальных методов изучения РИ. Рассмотрено применение этих методов для анализа возможного отличия значений фундаментальных констант в эпоху космологической рекомбинации от их современных значений.

Прецизионная спектроскопия водорода для $n=2$ с использованием спинфилтра

R.Engels^a, M.Westig^b, К.Григорьев^{a,c}, М.Микиртычьянц^{a,c}, F.Rathmann^a,
Н.Паetz gen. Schieck^d, G.Schug^a, А.Васильев^c, Н.Stroehel^a

^a *Институт ядерной физики, Юлих, Германия*

^b *Институт атомной физики, Кельнский университет, Германия*

^c *Петербургский институт ядерной физики, Гатчина, Россия*

^d *Институт ядерной физики, Кельнский университет, Германия*

Спинфилтр, важнейший компонент поляриметра, работающего на эффекте лэмбовского сдвига, позволяет провести чрезвычайно важные новейшие измерения в фундаментальном атоме водорода, поскольку он дает возможность получать интенсивный пучок атомарного водорода с энергией от тепловой до нескольких кэВ в одном сверхтонком состоянии [1]. Полная диаграмма Брайта-Раби для всех сверхтонких состояний $n=2$ может быть измерена при помощи индуцированных одиночных переходов в различных магнитных полях между сверхтонкими состояниями $2S_{1/2}$, а также в состоянии $2P_{1/2}$ или $2P_{3/2}$. Таким образом, можно рассчитать классический лэмбовский сдвиг, энергии сверхтонких расщеплений и g -факторы Ландэ с точностью, сопоставимой с достижимой в двухфотонной лазерной спектроскопии [2].

Если этот метод подтвердится для водорода, то он также будет применим для антиводорода в проекте FAIR в GSI. Таким образом, пучок метастабильного антиводорода может быть исследован на той же установке, которая подразумевает, что не будет нужды в накоплении антиматерии в ловушке. Кроме того, такие же измерения возможны для дейтерия, что, после сравнения с результатами для водорода по теории D_{21} (QED), позволит получить новую информацию о протонной и нейтронной структуре, например, распределении заряда в протоне.

Наконец, в этом эксперименте возможно обнаружение нарушения четности при добавлении слабого взаимодействия к электромагнитному взаимодействию, что позволит измерить угол слабого смешивания $\sin^2\Theta_w$ при передаче очень малого импульса с высокой точностью [3].

[1] R. Engels *et al.*, Rev. Sci. Instr. **74** (2003) 4607.

[2] M.P. Westig *et al.*, Eur. Phys. J. D **57** (2010) 27.

[3] R.W. Dunford and R.J. Holt, J. Phys. G **34** (2007) 2099.

Spherical Neutral Detector for experiments at VEPP-2000 e^+e^- collider?

M.N. Achasov, P.M. Astigeevich, V.M. Aulchenko, A.Yu. Barnyakov, K.I. Beloborodov, A.V. Berdyugin, V.E. Blinov, A.G. Bogdanchikov, A.A. Botov, D.A. Bukin, V.B. Golubev, K.A. Grevtsov, T.V. Dimova, V.P. Druzhinin, L.V. Kardapoltsev, A.G. Kharlamov, D.P. Kovrizhin, A.A. Korol, S.V. Koshuba, E.A. Kravchenko, K.A. Martin, A.E.Obrazovsky, A.P. Onuchin, E.V. Pakhtusova, S.I. Serednyakov, Z.K. Silagadze, K.Yu. Skovpen, A.N. Skrinsky, I.K. Surin, Yu.A. Tikhonov, Yu. V. Usov, Yu.M. Shatunov, D.A.Shtol, A.N. Shukaev, A.V.Vasiljev, E.A. Vlasenko

Budker Institute of Nuclear Physics, 630090, Novosibirsk, Russia
Novosibirsk State University, 630090, Novosibirsk, Russia

Spherical Neutral Detector (SND) is a general purpose non-magnetic detector for experiments at VEPP-2000 e^+e^- collider in Novosibirsk in the energy range $2E = 0.4 - 2.0$ GeV. Charged particle track coordinates are measured using drift and proportional chambers placed in common gas volume. Particle identification is performed using energy deposition in drift chamber at low particle momenta $p \leq 300$ MeV and aerogel threshold counters at high particle momenta $p \geq 300$ MeV. Photon energies are measured using 3-layer spherical electromagnetic calorimeter. Muons penetrating the detector and cosmic background muons are detected by the muon system based on proportional tubes and plastic scintillator counters. At present the detector is operating at VEPP-2000.

Детектор КМД-3

Р. Р. Ахметшин⁺, В. М. Аульченко⁺, В. Ш. Банзаров⁺, Л. М. Барков⁺,
Н. С. Баштовой⁺, А. Е. Бондарь⁺, А. В. Брагин⁺, Д. А. Епифанов⁺, Н. И. Габышев⁺,
А. А. Гребенюк⁺, Д. Н. Григорьев⁺, А. С. Зайцев⁺, С. Г. Зверев⁺, Ф. В. Игнатов⁺,
С. В. Карпов⁺, В. Ф. Казанин⁺, А. С. Кузмин⁺, И. Б. Логашенко⁺[△], П. А. Лукин⁺,
К. Ю. Михайлов⁺, М. А. Никулин⁺, В. С. Охалкин⁺, А. С. Попов⁺, С. И. Редин⁺,
А. А. Рубан⁺, А. Е. Рыжененков⁺, Н. М. Рыскулов⁺, А. Л. Сибиданов⁺,
А. Н. Скринский⁺, В. П. Смахтин[◇], Е. П. Солодов⁺, Ю. А. Тихонов⁺,
Г. В. Федотович⁺, Б. И. Хазин⁺, Б. А. Шварц⁺, Д. Н. Шемякин⁺,
С. И. Эйдельман⁺, Ю. В. Юдин⁺,

⁺*Budker Institute of Nuclear Physics, 630090, Novosibirsk, Russia*

^{*}*Novosibirsk State University, 630090, Novosibirsk, Russia*

[△]*Boston University, Boston, MA 02215, USA*

[◇]*Weizmann Institute of Science, 76100, Rehovot, Israel*

Детектор КМД-3 - универсальный магнитный детектор, предназначенный для регистрации как заряженных, так и нейтральных частиц в экспериментах на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000. Детектор состоит из трех основных подсистем: трековая система, сверх проводящий соленоид и электромагнитный калориметр. Трековая система, в свою очередь, состоит из цилиндрической дрейфовой камеры и Z-камеры. Координаты трека частиц R- ϕ плоскости измеряются по времени дрейфа ($\sim 100\mu$), а продольные координаты - методом деления заряда ($\sim 2mm$). Сверх проводящий соленоид рассчитан на магнитное поле 1.5 Тл и имеет полную толщину для нормально падающих частиц $\sim 0.1X_0$. Электромагнитный калориметр детектора состоит трех частей: цилиндрический жидкоксерононовый калориметр (LXe) предназначен для регистрации точки конверсии фотонов и имеет радиационную толщину $\sim 7X_0$. Калориметр на основе кристаллов CsI ($\sim 8X_0$) совместно с LXe калориметром позволяют измерить энергию электронов и фотонов с точностью $\sim 2 - 3\%$. Физическая программа экспериментов с детектором КМД-3 на e^+e^- коллайдере ВЭПП-2000 предполагает измерение основных адронных сечений и улучшение точности этих измерений по крайней мере в два раза.