

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ,
Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова

**Всероссийское совещание
по прецизионной физике
и фундаментальным физическим
константам**

Тезисы докладов

Дубна, 5-9 декабря, 2011 г.

**Workshop on Precision Physics
and Fundamental Physical
Constants**

Book of Abstracts

Dubna, December 5-9, 2011

Дубна • 2011

Организационный комитет

Сопредседатели:

С.Г. Каршенбойм (ГАО РАН)
В.И. Коробов (ОИЯИ)

Члены Организационного комитета:

И.А. Егорова (ОИЯИ), уч. секретарь
А.Б. Арбузов (ОИЯИ)
С.Н. Багаев (ИЛФ СО РАН)
Д.А. Варшалович (ФТИ РАН)
И.Н. Мешков (ОИЯИ)
С.Н. Неделько (ОИЯИ)
К. Пахуцки (ун-т Варшавы)
Р.Н. Фаустов (ВЦ РАН)
И.Б. Хриплович (ИЯФ СО РАН)
С.И. Эйдельман (ИЯФ СО РАН)

Всероссийское совещание по прецизионной физике и фундаментальным физическим константам (Workshop on Precision Physics and Fundamental Physical Constants) проводится Лабораторией теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова ОИЯИ совместно с Рабочей группой РНК КОДАТА по фундаментальным физическим константам.

Совещание организуется при поддержке Международной рабочей группы КОДАТА (CODATA) по фундаментальным физическим константам, Научного совета РАН по метрологическому обеспечению и стандартизации и Главной (Пулковской) астрономической обсерваторией РАН.

Совещание проводится при финансовой поддержке фонда «Династия» и Российского фонда фундаментальных исследований (грант 11-02-06156-г).

Workshop on Precision Physics and Fundamental Physical Constants is organized by Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics (BLTP) of the Joint Institute for Nuclear Research and Russian National Task Group on fundamental physical constants of Russian National CODATA Committee.

The workshop is endorsed by the CODATA Task group on fundamental constants, Russian National CODATA, Pulkovo Observatory and RAS Board for metrology and standartization.

The organization of the workshop is supported in part by the Dynasty Foundation and the Russian Foundation for Basic Research under grant No. 11-02-06198.

Содержание

Satellite

<u>L. Hilico, V-Q. Tran, A. Douillet, J-Ph. Karr, Two-photon precision spectroscopy of H_2^+</u>	5
<u>J.C.J Koelemeij, Laser spectroscopy of atoms and molecules for tests of QED and improved knowledge of fundamental particles and constants</u>	7
<u>N. Kolachevsky, 1S – 2S transition frequency measurements in atomic hydrogen</u>	8
<u>R. Pohl, Muonic hydrogen and the proton size puzzle</u>	9
<u>E. Widmann, Hyperfine structure of antiprotonic helium and the antiproton magnetic moment</u>	10

Основное совещание

<u>Л.Г. Афанасьев, Последние результаты коллаборации DIRAC в CERN по изучению $\pi^+\pi^-$ и πK атомов</u>	11
<u>О.Ю. Андреев, Л.Н. Лабзовский, Захват электрона водородоподобными многозарядными ионами</u>	12
<u>А.Б. Арбузов, Д.Ю. Бардин, С.Г. Бондаренко, Л.В. Калиновская, Р.Р. Садыков, П.Х. Христова, Прецизионное определение параметров Стандартной Модели на БАК</u>	13
<u>Д. Бакалов, В.И. Коробов, С. Шиллер, Прецизионная спектроскопия HD^+ в слабых внешних полях</u>	14
<u>Е.В. Берсенева, Нелокальный одночастичный потенциал для учета квантовоэлектродинамических поправок</u>	15
<u>Е.А. Черновская, О.Ю. Андреев, Л.Н. Лабзовский, Захват двух электронов голым ядром</u>	16
<u>A.E. Dorokhov, A.E. Radzhabov, A.S. Zhevlakov, On calculation of hadron contributions to the muon anomalous magnetic moment $g-2$</u>	17
<u>В.М. Дубовик, Е.Н. Дубовик, Интенсивные и экстенсивные поляризации в электрогромагнетизме</u>	18
<u>Ю.В. Думин, Лямбда-член как вторая фундаментальная константа в гравитационной физике</u>	19
<u>С.И. Эйдельман, Адронная поляризация вакуума и $\alpha(M_Z^2)$</u>	20
<u>G.V. Fedotov, CMD-3 detector and preliminary results of the luminosity measurement at e^+e^- collider VEPP-2000</u>	21
<u>Н.Р. Ихсанов, Вращение пульсаров</u>	22
<u>С.Г. Каршенбойм, Лэмбовский сдвиг в мюонном водороде и зарядовый радиус протона</u>	23
<u>А.Л. Катаев, О различных определениях понятия массы τ-лептона</u>	24

V.I. Korobov, <i>Bethe Logarithm Calculations</i>	25
Е.Ю. Корзинин, В.Г. Иванов, С.Г. Каршенбойм, <i>Точное по отношению масс вычисление вклада поляризации вакуума порядка $\alpha(Z\alpha)^4 m c^2$ в мюонном водороде</i>	26
Л.Н. Лабзовский, <i>КЭД теория многофотонных каскадных переходов в атомах</i>	27
Ю.А. Климова, С.И. Мармо, А.В. Меремьянин, <i>Эффекты асимметрии в угловых распределениях электронов при многофотонной ионизации поляризованных атомов</i>	28
А.А. Крутов, А.П. Мартыненко, Р.Н. Фаустов, Р.Н. Шамсутдинов, <i>Лэмбовский сдвиг в атоме мюонного дейтерия</i>	29
В.К. Милуков, <i>Ньютоновская гравитационная постоянная: современные эксперименты и новое значение CODATA</i>	30
W. Nawrocki, Yu. Shukrinov, <i>Role of fundamental physical constants in the new system of units — the quantum SI</i>	31
Н.Л. Манаков, А.А. Некипелов, <i>Прецизионный расчет и численная аппроксимация плотности и потенциала, обусловленных поляризацией вакуума ядром конечных размеров</i>	32
Е.А. Некипелов, В.Д. Овсянников, <i>Сечение ионизации и вклад континуума в оптические характеристики ридберговского атома</i>	33
V.A. Yerokhin, K. Pachucki, <i>Charge radius of helium nuclei from the atomic spectroscopy</i>	34
Д.В. Кошцов, Л.Г. Прохоров, <i>Измерение флуктуаций сил взаимодействия пробных тел из плавленого кварца с полем электростатического актюатора</i>	35
А.М. Пучков, <i>Суммирование рядов теории возмущений для многозарядных ионов с помощью метода гипервиральных соотношений</i>	36
V.N. Rudenko, <i>Tests of the Newtonian gravity law at short distances</i>	37
В.М. Шахпаронов, В.П. Измайлов, О.В. Карагиоз, <i>Измерения гравитационной постоянной при наличии неравновесных потоков разреженного газа</i>	39
P.P. Fiziev, D.V. Shirkov, <i>The time-evolution of FPC; is it possible?</i>	40
Y. Shukrinov, P. Seidel, W. Nawrocki, <i>The perspective of intrinsic Josephson junctions for quantum metrology</i>	41
Ю.Н. Обухов, А.Я. Силенко, О.В. Теряев, <i>Возможность проверки сохранения СРТ-симметрии в гравитационном взаимодействии с помощью электрон-позитронных пучков в накопительных кольцах</i>	42
Л.Н. Лабзовский, Д.А. Соловьев, Т.А. Залялютдинов, <i>Квантовоэлектродинамические аспекты теории космологической рекомбинации</i>	43
О.В. Теряев, <i>Случайна ли величина массы протона?</i>	44
К.А. Томилин, <i>Исторические аспекты современной реформы метрологии</i>	45
Л.Н. Лабзовский, Д.А. Соловьёв, Т.А. Залялютдинов, <i>Квантовоэлектродинамический вывод естественной формы спектральной линии для перехода между двумя произвольными состояниями в атоме</i>	46

Two-photon Precision Spectroscopy of H_2^+

L. Hilico, V-Q. Tran, A. Douillet, J-Ph. Karr

*Laboratoire Kastler Brossel, UMR 8552, UPMC-Paris 6, ENS, UEVE, CNRS;
Case 74, 4 place Jussieu, 75005 Paris, France*

The H_2^+ metrology project aims at observing and measuring a Doppler-free two-photon vibrational transition in order to provide a direct optical measurement of the electron to proton mass ratio with a relative accuracy at the 0.1 ppb [1] level by resonance enhanced multiphoton dissociation (REMPD). As shown in figure 1a, two infrared photons at $9.2 \mu\text{m}$ drive the vibrational transition while 248 nm photons photodissociate the ions.

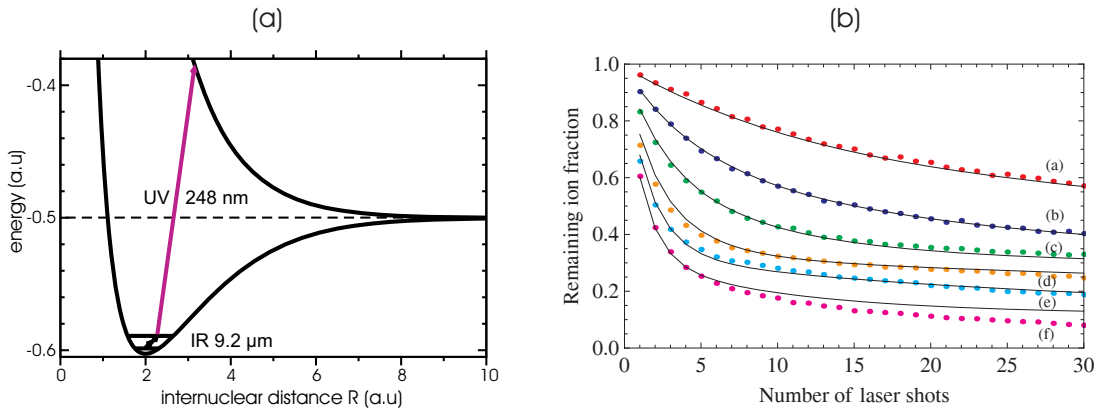


Figure 1: (a) H_2^+ electronic energy curves at the Born-Oppenheimer approximation. (b): Remaining H_2^+ ion fraction after a 1 s creation and 0.3 s photodissociation process versus the number of UV laser pulses. The pulse energies are indicated in the figure. Full lines (a) to (e) are obtained by a global fit of the data by a simple model taking into account the UV beam and ion cloud geometry. Full line (f) is an extrapolation of that model at high energy.

Several experimental challenges have to be overcome. The first one is the realization of a kHz width cw infrared laser [2,3]. The second one is the preparation of a trapped H_2^+ ion cloud in the vibrational ground state $v = 0$ and in a given rotational level L , and the analysis of the ro-vibrational populations.

We will present the present status of the experiment and our recent achievements:

- Narrow line CW quantum cascade laser source and Faraday optical isolator [4],
- Vibrational population analysis by v -selective REMPD (see figure 1b) showing that a H_2^+ ion cloud with 93% in the $v=0$ level and 7% in the $v=1$ level was obtained [5],
- Expected two-photon spectroscopy signal to noise ratio,
- Theoretical progress.

We will also present the developments of the project aiming at improving the two-photon signal.

- (v, L) state selected H_2^+ ion production by REMPI from H_2 molecules [6],
- H_2^+ Sympathetic cooling by laser cooled Be^+ ions

-
- [1] The CODATA recommended value has a relative uncertainty of $4.3 \cdot 10^{-10}$.
see <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>
- [2] F. Bielsa, A. Douillet, T. Valenzuela, J.-Ph. Karr, L. Hilico, *Opt. Lett.* **32**, 1641-1643 (2007)
- [3] F. Bielsa, K. Djerroud, A. Goncharov, A. Douillet, T. Valenzuela, C. Daussy, L. Hilico, A. Amy-Klein, *J. Molec. Spectrosc.* **247**, 41-46 (2008)
- [4] L. Hilico, A. Douillet, J.-Ph. Karr, E. Tournié, *Review of Scientific Instruments* **82**, 096106 (2011).
- [5] J.-Ph. Karr, A. Douillet, L. Hilico, *Applied Physics B*, DOI 10.1007/s00340-011-4757-z (2011).
- [6] M.A. O'Halloran, S.T. Pratt, P.M. Dehmer, J.L. Dehmer, *J. Chem. Phys.* **87**, 3288 (1987). A.D. Buckingham, B.J. Orr, J.M. Sichel, *Phil. Trans. Roy. Soc; Lond. A.* **268**, 147 (1970).

Laser spectroscopy of atoms and molecules for tests of QED and improved knowledge of fundamental particles and constants

Jeroen Koelemeij

LaserLaB VU University, De Boelelaan 1081, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands

The LaserLaB facility at VU University Amsterdam hosts several experimental setups for high-precision laser spectroscopy of light atoms and molecules. I will give an overview of recent results obtained at LaserLaB which have been used for tests of QED at improved accuracy, and to retrieve properties of fundamental particles and constants. These results include high-resolution spectroscopy of quantum degenerate ^3He and ^4He in metastable states and a determination of the ^3He nuclear charge radius [1], precise determination of the ionization energy of the ^4He ground state via Ramsey spectroscopy with extreme ultraviolet laser pulses [2], and the measurement of ionization, dissociation and rotational energies of H_2 [3,4]. Furthermore, high-precision spectroscopy of atoms and molecules at LaserLaB has been used [5,6] and proposed [7-10] for searches for time variation of the proton-electron mass ratio, m_p/m_e , whereas work towards a determination of m_p/m_e via high-precision laser spectroscopy of trapped HD^+ molecular ions is currently in progress [11,12].

-
- [1] R. van Rooij, J.S. Borbely, J. Simonet, M.D. Hoogerland, K.S.E. Eikema, R.A. Rozendaal, W. Vassen, *Science* **333**, 196 (2011).
 - [2] D.Z. Kandula, C. Gohle, T.J. Pinkert, W. Ubachs, K.S.E. Eikema, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 063001 (2010).
 - [3] J. Liu, E.J. Salumbides, U. Hollenstein, J.C.J. Koelemeij, K.S.E. Eikema, W. Ubachs, F. Merkt, *J. Chem. Phys.* **130**, 174306 (2009).
 - [4] E.J. Salumbides, G.D. Dickenson, T.I. Ivanov, W. Ubachs, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 043005 (2011).
 - [5] F. van Weerdenburg, M.T. Murphy, A.L. Malec, L. Kaper, W. Ubachs, *Phys. Rev. Lett.* **106**, 180802 (2011).
 - [6] E.J. Salumbides, D. Bailly, A. Khramov, A.L. Wolf, K.S.E. Eikema, M. Vervloet, W. Ubachs, *Phys. Rev. Lett.* **101**, 223001 (2008).
 - [7] T.I. Ivanov, M. Roudjane, M.O. Vieitez, C.A. de Lange, W.U.L. Tchang-Brillet, W. Ubachs, *Phys. Rev. Lett.* **100**, 093007 (2008).
 - [8] P. Jansen, L.-H. Xu, I. Kleiner, W. Ubachs, H.L. Bethlem, *Phys. Rev. Lett.* **106**, 100801 (2011).
 - [9] H.L. Bethlem, W. Ubachs, *Faraday Disc.* **142**, 25 (2009).
 - [10] A.J. de Nijs, E.J. Salumbides, K.S.E. Eikema, W. Ubachs, H.L. Bethlem, submitted, arXiv:1109.4362v1.
 - [11] J.C.J. Koelemeij, *Phys. Chem. Chem. Phys.* DOI: 10.1039/c1cp21204d (2011).
 - [12] J.C.J. Koelemeij, D.W.E. Noom, D. de Jong, M.A. Haddad, W. Ubachs, to appear in *Appl. Phys. B*.

$1S - 2S$ transition frequency measurements in atomic hydrogen

N. Kolachevsky

*P.N. Lebedev Physical Institute RAS
119991 Moscow, Leninsky prospekt 53, Russia*

For the last decades precision spectroscopy in atomic hydrogen has been fuelling development and testing of quantum electrodynamics which allows to predict its atomic energy levels with extremely high accuracy. The $1S - 2S$ transition frequency, measured in hydrogen atom with unprecedented accuracy, has become a corner stone in the least squares adjustment of the fundamental constants. It is involved in determination of the Rydberg constant and proton charge radius. Studying of its stability is used for determination of the fine structure constant drift and testing the Lorentz invariance. In the future comparison of frequencies in hydrogen and antihydrogen will allow to perform a stringent test of the CPT theorem.

Here we review results of $1S - 2S$ transition frequency measurements during the past decade (Fig. 1). We discuss new methods and approaches of the 2010 experiment [1].

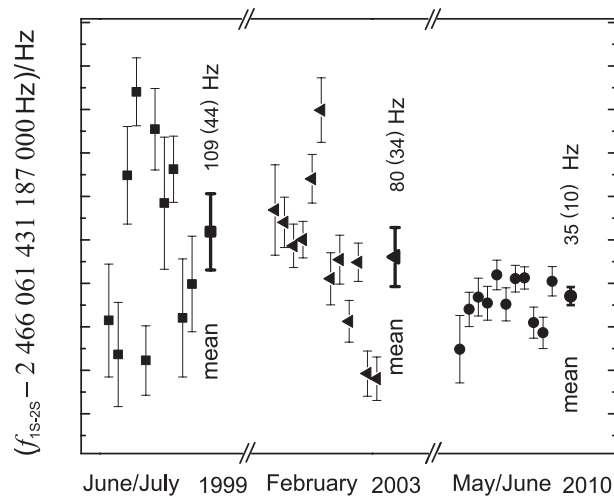


Figure 1: Absolute frequency measurements of the $1S - 2S$ transition in atomic hydrogen during 1999-2010 years.

[1] C.G. Parthey *et al.*, to be published in *Phys. Rev. Lett.* (2011), also arXiv:1107.3101

Muonic hydrogen and the proton size puzzle

Randolf Pohl

Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching, Germany

Our recent measurement of the Lamb shift ($2S$ - $2P$ energy splitting) in muonic hydrogen [1] has created a puzzle. The value of the proton rms charge radius we deduce, $R_p = 0.84184(67)$ fm, is ten times more accurate, but 4% smaller than the values deduced from both hydrogen spectroscopy and elastic electron scattering.

In addition, we have now determined the $2S$ hyperfine splitting in muonic hydrogen from which the Zemach radius of the proton is determined [2]. The Zemach radius is a measure for the magnetisation distribution inside the proton.

[1] R. Pohl, A. Antognini, F. Nez, *et al.* (CREMA collaboration), *Nature* **466**, 213 (2010).

[2] CREMA collaboration, in preparation.

Hyperfine Structure of Antiprotonic Helium and the Antiproton Magnetic Moment

Eberhard Widmann

*Stefan Meyer Institute for Subatomic Physics, Austrian Academy of Sciences
Boltzmannngasse 3, 1090 Vienna, Austria*

Antiprotonic helium [1] is an exotic three-body system consisting of a helium nucleus, an electron and an antiproton. The antiproton occupies highly excited metastable states, which allows it to be studied by laser and microwave spectroscopy techniques. By comparing the experimental results with state-of-the-art three-body QED calculations, the properties of the antiproton can be extracted. This way the most precise value of the antiproton mass has been obtained from the laser spectroscopy of antiprotonic helium [2]. The hyperfine structure (HFS) of antiprotonic helium arises from the interaction of the magnetic moments related to the electron spin and the antiproton angular momentum and its spin. Due to the high angular momentum of $l = 3335$ of metastable states, the dominant splitting arises from the interaction of electron spin and antiproton angular momentum, while the interaction of the antiproton spin with other moments leads to a smaller splitting. Using a laser-microwave-laser method [3] the most precise value of the magnetic moment of the antiproton was obtained [4] in antiprotonic 4He from the difference of the observed HFS transitions. Recently also the hyperfine structure of antiprotonic 3He was observed for the first time [5]. Its more complex hyperfine structure constitutes a more rigorous test of three-body bound-state QED theory.

-
- [1] R.S. Hayano, M. Hori, D. Horvath, and E. Widmann, Rep. Prog. Phys. **12**, 1995 (2007).
 - [2] M. Hori, *et al.*, Nature **475**, 484-488 (2011).
 - [3] E. Widmann, *et al.*, Phys. Rev. Lett, **89**, 243402 (2002).
 - [4] T. Pask, *et al.*, Physics Letters B **678**, 55 (2009).
 - [5] S. Friedreich *et al.*, Physics Letters B **700**, 1-6 (2011).

Последние результаты коллаборации DIRAC в CERN по изучению $\pi^+\pi^-$ и πK атомов

Л.Г.Афанасьев

ЛЯП ОИЯИ

В эксперименте DIRAC, проводимом на ускорителе PS в CERN, идентифицировано более 21000 событий развала $\pi^+\pi^-$ атомов [1]. Это позволило существенно улучшить точность измерения времени жизни этих атомов:

$$\tau = \left(3.15_{-0.19}^{+0.20} \Big|_{\text{stat}} \quad 0.20_{-0.18} \Big|_{\text{syst}} \right) \times 10^{-15} \text{ с},$$

а также получить с точностью 4% разность s-волновых длин $\pi\pi$ рассеяния

$$|a_0 - a_2| = \left(0.2533_{-0.0078}^{+0.0080} \Big|_{\text{stat}} \quad 0.0078_{-0.0073} \Big|_{\text{syst}} \right) M_{\pi^+}^{-1}.$$

Эти результаты являются важной проверкой предсказания киральной теории возмущения.

На основании предварительной обработки данных 2008–2010 годов получены первые результаты по наблюдению атомов состоящих из π^+K^- и $K^+\pi^-$ мезонов. На рисунке 1 показано экспериментальное распределение пар π^+K^- и $K^+\pi^-$ по относительному импульсу Q в СЦМ пары после вычитания всех пар, образованных в свободном состоянии, и моделированное распределение пар от развала πK атомов. В настоящее время идентифицировано 277 ± 52 πK атомов.

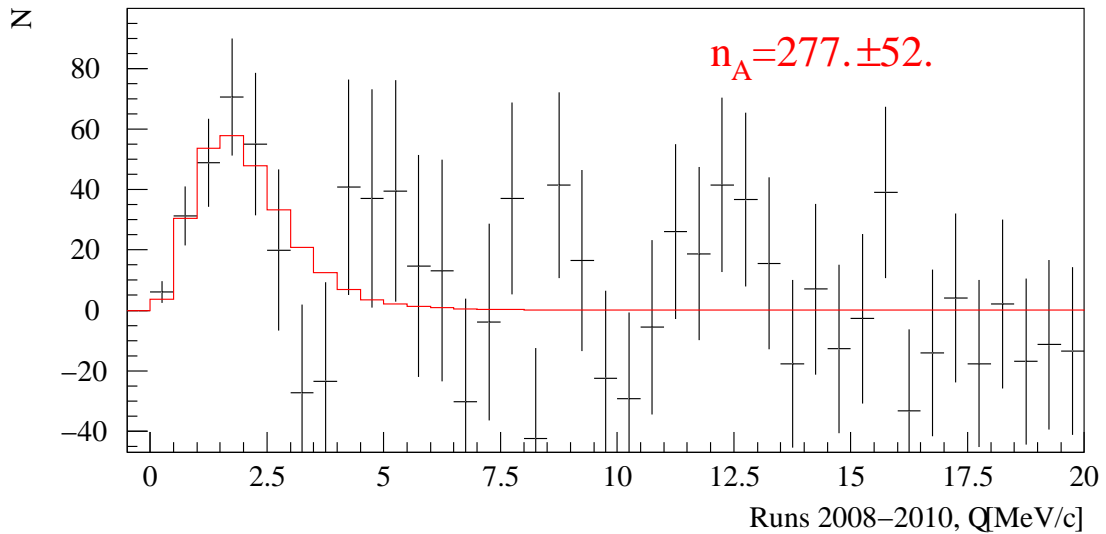


Рис. 1:

[1] B. Adeva *et al.*, Physics Letters **B 704** (2011) 24.

Захват электрона водородоподобными многозарядными ионами

О.Ю. Андреев^a, Л.Н. Лабзовский^{a,b}

^a *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*

^b *Петербургский институт ядерной физики, Санкт-Петербург*

Метод контура линии (МКЛ) [1] применён для КЭД расчёта рекомбинации электрона с многозарядным ионам. Рассмотрены процессы радиационной рекомбинации и диэлектронной рекомбинации. Межэлектронное взаимодействие учтено частично во всех порядках КЭД теории возмущений. Радиационные поправки в низшем порядке теории возмущения также учтены. Получены наиболее точные результаты для сечения электронной рекомбинации водородоподобных ионов урана и гадолиния.

Произведён КЭД расчёт полного сечения электронной рекомбинации для водородоподобных ионов урана [2] и гадолиния [3]. Сечение рекомбинации представлено в виде функции от энергии захватываемого электрона. Из-за присутствия эффекта диэлектронной рекомбинации сечение рекомбинации имеет резонансы, отвечающие дваждывозбуждённым $(2s, 2s)$, $(2s, 2p)$, $(2p, 2p)$ двухэлектронным конфигурациям. Эти резонансы детально исследованы. Межэлектронное взаимодействия для ns , np , nd -электронов (главное квантовое число $n \leq 3$) учтено во всех порядках теории возмущений. Межэлектронное взаимодействие для других электронов (включая отрицательно энергетические состояния) рассмотрено в первом порядке теории возмущений. Учтён главный вклад радиационных поправок (собственная энергия электрона и поляризация вакуума); вклад собственноэнергетической вершинной поправки, который является нерезонансным, не рассматривался.

Результаты расчёта для ионов урана сравниваются с экспериментальными [4, 5] и теоретическими данными [6, 7, 5]. В МКЛ межэлектронное взаимодействие учтено точнее чем в работах [6, 7]. Так как МКЛ является полностью КЭД методом, КЭД эффекты там рассматриваются более систематически, чем в работах [7, 5]. Основное различие между результатами расчётов наблюдается в форме линий резонансов.

-
- [1] O. Yu. Andreev, L. Labzowsky, G. Plunien, D. Solovyev, *Phys. Rep.* **455**, 135 (2008)
 - [2] O. Yu. Andreev, L. N. Labzowsky, A. V. Prigorovsky, *Phys. Rev. A* **80**, 042514 (2009)
 - [3] O. Yu. Andreev, L. N. Labzowsky, A. V. Prigorovsky, *Phys. Rev. A* **83**, 064501 (2011)
 - [4] C. Brandau, C. Kozhuharov, A. Müller *et al.* *J. Phys.: Conf. Ser.* **58**, 81 (2007)
 - [5] D. Bernhardt, C. Brandau, Z. Harman *et al.* *Phys. Rev. A* **83**, 020701(R) (2011)
 - [6] V. V. Karasiov, L. N. Labzowsky, A. V. Nefiodov *et al.*, *Phys. Lett. A* **161**, 453 (1992)
 - [7] S. Zakowicz, W. Scheid, N. Grün, *J. Phys. B* **37**, 131 (2004)

Прецизионное определение параметров Стандартной Модели на БАК

А.Б. Арбузов, Д.Ю. Бардин, С.Г. Бондаренко, Л.В. Калиновская
Р.Р. Садыков, П.Х. Христова

ОИЯИ, Жолио-Кюри 6, Дубна, 141980, Россия

Основным результатом физической программы электрон-позитронного e^+e^- LEP стало установление факта очень хорошего совпадения наблюдаемых данных с предсказаниями стандартной модели (СМ) и высокоточное определение значений ее параметров. В настоящее время проверка СМ и поиск новых физических явлений продолжаются при более высоких энергиях на Большом адронном коллайдере (БАК). На завершившем свою работу протон–анти-протонном коллайдере Tevatron масса и ширина электрослабого W -бозона были измерены с точностью, выше той, что была достигнута на LEP [1]. Это доказывает принципиальную возможность высокоточных исследований на БАК.

Группой SANC в ОИЯИ разработана компьютерная система [2], предназначенная для построения прецизионных теоретических предсказаний для экспериментов на коллайдерах в рамках СМ с полным учетом однопетлевых электрослабых и КХД радиационных поправок. Группа SANC активно участвует в осуществлении теоретической поддержки опытов по изучению процессов с участием электрослабых Z - и W -бозонов [3], бозона Хиггса и топ-кварка. Особое внимание уделяется процессам типа Дрелла-Яна, т.е. одиночного рождения Z - и W -бозонов. Точность описания этих процессов исключительно важна, поскольку они используются для мониторинга светимости ускорителя, извлечения плотностей партонных распределений, измерения масс и ширин этих бозонов, калибровки детекторов и др. Предсказания СМ для этих процессов нужны и в области переданных импульсов порядка 1 ТэВ и более, где ожидаются вклады новых взаимодействий. За последние годы точность теоретического описания этих процессов существенно улучшилась за счет комплексного учета вкладов радиационных поправок (в электрослабой теории, КЭД и КХД), эффектов масс кварков, партонных ливней и т.д., она оценивается на уровне 2% [4]. Обсуждаются проблемы, которые необходимо решить для повышения точности до той, что будет адекватна планируемой погрешности эксперимента в 1%.

Исследования по проекту SANC поддержаны грантом РФФИ 10-02-01295-а.

- [1] [Tevatron Electroweak Working Group and CDF and D0 Collaboration], arXiv:0908.1374 [hep-ex]; arXiv:1003.2826 [hep-ex].
- [2] A. Andonov *et al.*, Comput. Phys. Commun. **174** (2006) 481.
- [3] A. Arbuzov *et al.*, Eur. Phys. J. C **46** (2006) 407; *ibid.* **54** (2008) 451; A. Andonov *et al.*, Phys. Atom. Nucl. **73** (2010) 1810.
- [4] N. Adam, V. Halyo and S.A. Yost, JHEP **1011** (2010) 074.

Прецизионная спектроскопия HD^+ в слабых внешних полях

Д. Бакалов^a, В.И. Коробов^b, С. Шиллер^c

^a ИЯИЯЭ – БАН, София, Болгария

^b БЛТФ ОИЯИ, Дубна, РФ

^c Университет Х.Хейне, Дюссельдорф, Германия

Прецизионная спектроскопия молекулярного иона HD^+ ставит перед собой ряд амбициозных целей: (а) проверка предсказаний КЭД связанных состояний трех частиц с высокой точностью; (б) улучшение точности численных значений отношения массы протона и дейтрона к массе электрона, и (в) проверка постоянства во времени фундаментальных физических констант [1].

Для достижения требуемой точности измерения резонансных частот индуцируемых лазером переходов между уровнями HD^+ необходимо, наряду с эффектами КЭД высших порядков, принять во внимание и эффекты внешних магнитных и электрических полей, присутствующих из-за неполной экранировки или связанных с используемыми ловушками. В работе проведено исследование спектров $E1$ -переходов между нижними колебательно-вращательными возбужденными уровнями в присутствии ориентированных произвольным образом постоянных магнитного и электрического полей, с учетом сверхтонкой структуры уровней. Результаты, проиллюстрированные на Рис.1, являются обобщением результатов работ [2, 3].

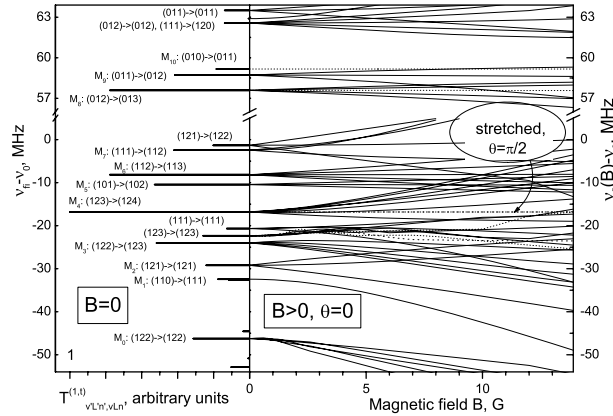


Рис. 1: Слева: Интенсивность $T_{v'L'n',vLn}^{(1,t)}$ нескольких ‘сильных’ компонент линии перехода $(v, L) = (0, 1) \rightarrow (4, 2)$. Справа: частоты линий M_1, \dots, M_{10} в переходах с $\Delta J_z = 0$ как функции напряженности B внешнего магнитного поля.

[1] T. Schneider, *et al.* Nature Physics 6, 275 (2010).

[2] D. Bakalov, V.I. Korobov, S. Schiller, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **44**, 025003 (2011).

[3] D. Bakalov, V.I. Korobov, S. Schiller, Phys. Rev. A **82**, 055401 (2010).

Нелокальный одночастичный потенциал для учета квантовоэлектродинамических поправок.

Е.В. Берсенева

*Санкт-Петербургский Государственный Университет
кафедра квантовой механики*

В данной работе предложен новый одночастичный нелокальный потенциал, который может быть использован в расчетах электронной структуры нейтральных атомов и многозарядных ионов одноконфигурационными и многоконфигурационными релятивистскими методами Дирака-Фока для учета квантовоэлектродинамических (КЭД) поправок. Нелокальный потенциал представлен в виде суммы локальной части, включающей в себя потенциал Юлинга, и сепарабельного (конечномерного) потенциала. В качестве локальной части может быть использован любой подходящий локальный потенциал, представленный в литературе (в частности [1,2]). Добавление сепарабельного потенциала позволяет в точности воспроизвести КЭД поправки для водородоподобных ионов, включая $1s-5s$, $2p-5p$ и $3d-5d$ состояния. С использованием предложенного потенциала проведен ряд расчетов методом Дирака-Фока многозарядных ионов и нейтральных атомов.

[1] V.V. Flambaum and J.S.M. Ginges, Phys. Rev., **72**, 052115 (2005).

[2] T.A. Welton, Phys. Rev. **74**, 1157 (1948).

Захват двух электронов голым ядром

Е.А. Черновская^a, О.Ю. Андреев^a, Л.Н. Лабзовский^{a,b}

^a Физический факультет, Санкт-Петербургский государственный университет

^b Петербургский институт ядерной физики

Процесс радиационного двойного захвата электронов (РДЗЭ) голым ядром довольно давно исследуется экспериментально [1, 2, 3] и теоретически [4, 5, 6, 8]. До сих пор имеется расхождение между экспериментом и теорией.

В процессе РДЗЭ начальное состояние характеризуется двумя электронами сплошного спектра e^- с одинаковой энергией (ε) и голым ядром $X^{(Z)+}$ (где Z — заряд ядра), конечное состояние — это двухэлектронный ион $X^{(Z-2)+}(1s1s)$ и испущенный фотон $\gamma(\omega)$ согласно схеме: $2e^-(\varepsilon) + X^{(Z)+} \rightarrow X^{(Z-2)+}(1s1s) + \gamma(\omega)$.

Для расчета процесса РДЗЭ был применен метод контура линии (МКЛ) [7]. При вычислении сечения [8] одна из плотностей электронов (отвечающих одному и второму электрону) сокращается с такой же плотностью при делении на электронный поток. Оставшаяся плотность (при определенной нормировке содержащая малость) сокращается при учете взаимодействия двухэлектронной конфигурации, описывающей начальное состояние, с двухэлектронной конфигурацией, содержащей $1s$ электрон и один свободный электрон \tilde{e} (его энергия определяется из: $\varepsilon_e + \varepsilon_e = \varepsilon_{1s} + \varepsilon_{\tilde{e}}$). Система рассматривалась заключенной в сферу большого радиуса R , это позволило аналитически выделить описанные неопределенности и взять предел $R \rightarrow \infty$, при этом мы учитывали поправки на обмен одним фотоном во всех порядках КЭД теории возмущений.

Проведен расчет сечения РДЗЭ для голых ядер кислорода, азота и урана. Полученные сечения РДЗЭ сравниваются с экспериментальными данными [1, 2, 3] и теоретическим расчетом [5].

-
- [1] A. Warczak *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B **98** (1995) 303.
 - [2] G. Bednarz *et al.*, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B **205** (2003) 573
 - [3] A. Simon, A. Warczak, T. ElKafrawy, J. A. Tanis, Phys. Rev. Lett. **104** (2010) 123001
 - [4] V. L. Yakhontov, M. Ya. Amusia, Phys. Rev. A **55**, (1997) 1925
 - [5] A. I. Mikchailov, I. A. Mikhailov, A. Nefiodov, G. Plunin, and G. Soff, Physics Letters A **328** (2004) 350
 - [6] A. B. Voitkiv, B. Najjari, N. Toshima, and J. Ullrich, J. Phys. B **39** (2006) 3403
 - [7] O. Yu. Andreev, L. N. Labzowsky, G. Plunien, and D. A. Solovyev, Phys. Rep. **455** (2008) 135
 - [8] E. A. Chernovskaya, O. Yu. Andreev, and L. N. Labzowsky, ArXiv 1110.4791v1 (2011)

On calculation of hadron contributions to the muon anomalous magnetic moment $g-2$

A.E. Dorokhov^a, A.E. Radzhabov^b, A.S. Zhevlakov^b

^a *Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, JINR, 141980 Dubna, Russia,*

^b *Institute for System Dynamics and Control Theory, 664033 Irkutsk, Russia*

The light-by-light contribution to the anomalous magnetic moment of muon $(g-2)_\mu$ from the hadronic exchanges in the neutral pseudoscalar meson channel is calculated in the nonlocal chiral quark model. The full kinematic dependence of the meson-two-photon vertices from the virtualities of the mesons and photons is taken into account. It is demonstrated that the effect of the full kinematic dependence in the meson-photon vertices is to reduce the contribution of pseudoscalar exchanges comparing with the most of previous estimates and the result is $a_\mu^{\text{PS,LbL}} = (5.85 \pm 0.87) \cdot 10^{-10}$. The status of various phenomenological and QCD short-distance constraints is discussed and the comparison with the predictions of other models is performed [1, 2].

- [1] A.E. Dorokhov, A.E. Radzhabov and A.S. Zhevlakov, *Eur. Phys. J. C* **71** (2011) 1702
- [2] A.C. Zhevlakov, A.E. Radzhabov and A.E. Dorokhov, *Russ. Phys. J.* **53** (2010) 625 [*Izv. Vuz. Fiz.* **6** (2010) 75].

Интенсивные и экстенсивные поляризации в электроторомагнетизме.

В.М. Дубовик, Е.Н. Дубовик

ЛТФ ОИЯИ

Известно, что в электромагнетизме применяются две основные системы единиц: МКС и система Хевисайда-Лоренца. Они могут быть рационализированы. В соответствии с четырёхмерностью базиса дипольных моментов [1] построен электроторомагнетизм (далее ЭТМ), в котором кроме \mathbf{P} и \mathbf{M} , возникают еще два вектора поляризации: тороидная поляризация магнитного типа (\mathbf{T}^m) и тороидная поляризация электрического типа (\mathbf{T}^e). В уравнениях ЭТМ в терминах потенциалов, напоминающих по форме уравнения с наличием магнитных зарядов, содержатся еще два (псевдо)скалярных поля и два (псевдо)скалярных источника. В ЭТМ дополнительно к размерным константам, связывающим электрическую и магнитную поляризации с соответствующими напряженностями полей, вводятся две аналогичные связи для тороидных поляризаций электрического и магнитного типов.

Первые попытки разобраться в "переплетении" четырех поляризаций были сделаны еще в работах В.Л. Гинзбурга [2].

В ЭТМ с переменными полями иерархия этих констант существенно усложняется, не говоря уже о нелинейных обобщениях ЭТМ [3]. Обсуждаются варианты введения этих констант, их размерность и необходимость унифицированного решения этих проблем, поднятых впервые в рамках ЭТМ.

Наглядным примером может служить недавно введенный "мультиферроик": комбинация поляризаций \mathbf{P} , \mathbf{M} , \mathbf{T}^m на гранях кристаллографической ячейки (с учетом существования \mathbf{T}^e подобных комбинаций ещё три!). Более простым примером является обычный (полосковый) магнит (стрелка компаса), который по соображениям устойчивости намагничивания образца обязан быть тороферромагнетиком, а не просто магнетиком. Мультиферроик обладает неориентированным объемом. Следовательно, элементарная ячейка мультиферроика обладает свойствами скалярной частицы (как, например, хиггс). Ячейка псевдомультиферроика, т.е. набор поляризаций \mathbf{M} , \mathbf{T}^e , \mathbf{T}^m , проявляет свойства нейтрального пиона или псевдоскалярного хиггса. Нетривиальными комбинациями симметрий обладают динамические системы типа анапольных.

[1] V.M. Dubovik, V.V. Tugushev, Phys. Rep., **187**, (1990) 146.

[2] В.Л. Гинзбург, Изв. ВУЗов, Радиофизика XXVII **7** (1984) 815; *ibid.*, XXVIII **10** (1985) 1211.

[3] V.M. Dubovik, M.A. Martsenyuk, B. Saha, Phys.Rev. E **61** (2000) 7087.

Лямбда-член как вторая фундаментальная константа в гравитационной физике

Ю.В. Думин

Max Planck Institute, Noethnitzer Str. 38, 01187 Dresden, Germany
ИЗМИРАН, г.Троицк, Московская обл., 142190 Россия

В последнее десятилетие стало общепризнанным, что для описания гравитационных явлений на больших (космологических) масштабах необходимо использовать уравнения общей теории относительности с учетом не только общеизвестной постоянной тяготения G , но и “космологической” постоянной Λ , ассоциируемой с так называемой “темной энергией”.

Следует отметить, что с формально теоретической точки зрения появление в законе гравитационного взаимодействия дополнительной фундаментальной константы вовсе не является чем-то экзотическим. Это – естественное следствие того факта, что в лагранжиане гравитационного поля наряду с линейным по кривизне R слагаемым нужно еще учитывать, вообще говоря, и свободный (не зависящий от R) член, входящий со своим собственным коэффициентом. Этим общая теория относительности существенно отличается от других физических теорий, формулируемых в плоском пространстве-времени, где вклад свободного члена в лагранжиан тривиален.

Далее, говоря об истории появления Λ -члена, следует упомянуть, что на его возможное существование впервые было указано, фактически, даже не Эйнштейном, а Ньютоном. А именно, исходя из замкнутости планетных орбит и того факта, что замкнутые орбиты возникают лишь при движении в потенциалах двух видов – $1/r$ и r^2 , Ньютон не исключал, что в законе всемирного тяготения может существовать поправка второго типа. Любопытно, что именно такое дополнительное слагаемое Λr^2 было получено в 1918 г. Коттлером в метрике, являющейся решением уравнений Эйнштейна для точечной тяготеющей массы с учетом Λ -члена.

История применения Λ -члена в наблюдательной космологии демонстрирует целую серию “взлетов и падений”. Непосредственно после создания общей теории относительности Λ -член рассматривался Эйнштейном, как совершенно необходимый компонент космологической модели, обеспечивающий ее стационарность. Однако позднее, после открытия Хабблом эффекта разбегания галактик, хорошо укладывающегося в рамки нестационарного фридмановского решения, этот аргумент перестал быть актуальным. Возрождение интереса к Λ -члену началось в 1970-е годы в связи с попытками интерпретации некоторых наблюдательных результатов по распределению квазаров в зависимости от красного смещения. Этот интерес медленно, но неуклонно усиливался на протяжении 80-х и 90-х годов в рамках работ по построению самосогласованной космологической модели. Наконец, в самом конце 1990-х и начале 2000-х годов были получены убедительные свидетельства об ускоренном расширении Вселенной, вытекающие как из непосредственного наблюдения распределения сверхновых типа Ia в зависимости от расстояния, так и из анализа эволюции крупномасштабных космологических возмущений, основанного на измерении флуктуаций анизотропии микроволнового космического фона. Именно после этого наличие Λ -члена стало рассматриваться как надежно установленный физический факт.

Адронная поляризация вакуума и $\alpha(M_Z^2)$

С.И. Эйдельман^{a,b}

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

^b *Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

Как можно более точное знание значения постоянной тонкой структуры при энергии, равной массе Z -бозона, $\alpha(M_Z^2)$, важно для прецизионных тестов Стандартной Модели. Основной вклад в неопределенность вносит адронная поляризация вакуума [1]. Для ее оценки приходится использовать экспериментальные данные по отношению полного сечения e^+e^- аннигиляции в адроны к сечению аннигиляции в пару мюонов R , причем основной вклад вносит область сравнительно невысоких энергий до ~ 5 ГэВ. Реально вычислению таким образом подлежит адронный вклад от 5 легких кварков $\Delta\alpha_{\text{had}}^{(5)}(M_Z^2)$ (вклад t -кварка пренебрежимо мал) в сдвиг значения постоянной тонкой структуры от Томсоновского предела до массы Z -бозона $\Delta\alpha = 1 - \alpha/\alpha(M_Z^2)$.

Заметный прогресс в точности измерения R , достигнутый в экспериментах по e^+e^- аннигиляции в адроны в Новосибирске [2], Пекине [3, 4] и Корнеле [5], позволил заметно уточнить величину $\Delta\alpha_{\text{had}}^{(5)}(M_Z^2)$ по сравнению с ситуацией в начале 90-ых годов, см. Табл. 1.

Группа	$\Delta\alpha_{\text{had}}^{(5)}(M_Z^2), 10^{-4}$	Ссылка
S.Eidelman and F.Jegerlehner	280 ± 7	[1]
M.Davier et al.	275.7 ± 1.0	[6]
H.Burkhardt and B.Pietrzyk	275.0 ± 3.3	[7]
K.Hagiwara et al.	276.26 ± 1.38	[8]

Таблица 1: Недавние вычисления $\Delta\alpha_{\text{had}}^{(5)}(M_Z^2)$

-
- [1] S. Eidelman and F. Jegerlehner, Z. Phys. C **67**, 585 (1995).
 - [2] I.B. Logashenko, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **162**, 13 (2006).
 - [3] J.Z. Bai *et al.*, Phys. Rev. Lett. **84**, 594 (2000).
 - [4] J.Z. Bai *et al.*, Phys. Rev. Lett. **88**, 101802 (2002).
 - [5] D. Cronin-Hennessey *et al.*, Phys. Rev. D **80**, 072001 (2009).
 - [6] M. Davier *et al.*, Eur. Phys. J. C **71**:1515 (2011).
 - [7] H. Burkhardt and B. Pietrzyk, Phys. Rev. D **84**, 037502 (2011).
 - [8] K. Hagiwara *et al.*, J. Phys. G **38**, 085003 (2011).

CMD-3 detector and preliminary results of the luminosity measurement at e^+e^- collider VEPP-2000

G.V. Fedotov

Budker Institute of Nuclear Physics, 630090, Novosibirsk, Russia

CMD-3 detector for experiments at e^+e^- collider VEPP-2000 is described in detail. One of the main physical task is to measure the hadronic cross sections in the energy region up to 2 GeV in cms. The integrated luminosity about 20 inverse picobarn was collected in the last physical run. The luminosity was measured using two processes: $e^+e^- \rightarrow e^+e^-, \gamma\gamma$ that allowed to push down the systematic error to the level $\sim 1\%$. The preliminary results for cross sections of some channels e^+e^- annihilation into hadrons are presented.

Вращение пульсаров

Н.Р. Ихсанов

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Пульсары представляют собой нейтронные звезды, обладающие сильным магнитным полем и значительной энергией осевого вращения. Генерируемое ими излучение обусловлено процессами нетеплового энерговыделения, происходящего в локальных областях магнитосферы. Пульсирующий характер испускаемого ими излучения объясняется особенностями геометрии системы “звезда–магнитное поле” и анизотропией диаграммы направленности. Высокая стабильность пульсаций является следствием большой величины момента вращения нейтронных звезд и их относительно малого размера, что позволяет этим звездам вращаться с исключительно коротким периодом.

Вместе с тем, устойчивость осевого вращения нейтронных звезд зависит от их возраста, уравнения состояния, химического состава и структуры магнитного поля. На ранних стадиях эволюции нейтронные звезды подвержены изменениям их внутренней структуры, которые приводят к значительным и многочисленным сбоям периода вращения и хаотическим вариациям периода вращения малой амплитуды. Наиболее стабильным вращением отличаются пульсары, возраст которых превосходит $10^5 - 10^6$ лет. В своем докладе я предлагаю обзор наблюдаемых параметров пульсаров, обсуждаю методы их классификации и теоретической интерпретации.

Лэмбовский сдвиг в мюонном водороде и зарядовый радиус протона

С. Г. Каршенбойм

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

Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching, Germany

Недавно в PSI был проведен эксперимент по измерению лэмбовского сдвига в мюонном водороде [1], в результате чего было получено значение зарядового радиуса протона с рекордной точностью.

К сожалению, результат [1] находится в противоречии с другими определениями этой величины, которые были проведены ранее при помощи измерений электрон-протонного рассеяния и при помощи спектроскопии атомов водорода. Более того, недавний эксперимент по рассеянию [2] подтвердил старую величину и несколько улучшил ее точность.

В докладе будут критически рассмотрены все три метода определения зарядового радиуса протона.

Работа была поддержана грантами РФФИ и DFG.

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

[2] J. C. Bernauer et al., Phys. Rev. Lett. **105**, 242001 (2010)

О различных определениях понятия массы τ -лептона

А.Л. Катаев

*Институт ядерных исследований РАН
117312, Москва, Проспект 60-летия Октября, д. 7а*

В связи с недавними наиболее точными измерениями коллаборацией КЕДР на электрон-позитронном ускорителе ВЭПП-4М (ИЯФ, Новосибирск) значения полюсной массы τ -лептона $m_\tau = (1776.69_{-0.19}^{+0.17} \pm 0.15)$ MeV [1]-[2] (см. также [3]) детально обсуждаются различные теоретические определения понятия массы τ -лептона, включая полюсную массу, соответствующую схеме перенормировок на массовой оболочке, и бегущую массу τ -лептона, соответствующую схеме \overline{MS} (см. также [4]). Рассматриваются различные способы фиксации масштабного параметра, от которого зависит определение бегущей массы как в пространственно-подобной, так и в свето-подобной областях энергий. Следуя работе по определению связи между полюсными и бегущими массами тяжелых кварков в КХД в рамках теории возмущений [5] проведены расчеты коэффициентов аналогичных соотношений между полюсной и бегущей массой τ -лептона с учетом высших приближений КЭД [6]. Ставится вопрос о целесообразности определения вклада в рассматриваемое теоретическое соотношение эффектов сильных взаимодействий и в первую очередь, эффектов адронной поляризации вакуума. Продемонстрирована необходимость последовательного учета найденных в работе [7] “кинематических” π^2 -членов в соотношениях между полюсной массой τ -лептона и бегущей массой τ -лептона и возможность их пересуммирования следуя рассмотрению работ [8], [9] в первую очередь в полной ширине распада ищущегося на коллайдере ЛНС (ЦЕРН, Женева) легкого нейтрального бозона Хиггса на пару $\tau^+ \tau^-$ -лептонов.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке Гранта РФФИ N 11-02-00112.

-
- [1] V.V. Anashin *et al.*, JETP Lett. **85** (2007) 347.
 - [2] A.G. Shamov *et al.*, Nucl. Phys. Proc. Suppl. **189** (2009) 21.
 - [3] S.I. Eidelman *et al.* [KEDR Collaboration], Nucl. Phys. Proc. Suppl. **218** (2011) 155.
 - [4] Z.Z. Xing, H. Zhang and S. Zhou, Phys. Rev. D **77** (2008) 113016.
 - [5] A.L. Kataev and V.T. Kim, Phys. Part. Nucl. **41** (2010) 946.
 - [6] A.L. Kataev, V.T. Kim and G. Parente, work in progress (2011)
 - [7] K.G. Chetyrkin, B.A. Kniehl and A. Sirlin, Phys. Lett. B **402** (1997) 359.
 - [8] S.G. Gorishny, A.L. Kataev and S.A. Larin, Sov. J. Nucl. Phys. **40** (1984) 329 [Yad. Fiz. **40** (1984) 517].
 - [9] D.J. Broadhurst, A.L. Kataev and C.J. Maxwell, Nucl. Phys. B **592** (2001) 247.

Bethe Logarithm Calculations

V.I. Korobov

*BLTP, Joint Institute for Nuclear Research
141980, Dubna, Russia*

In this contribution we would like to present a modified version of Schwartz's method [1] for the Bethe logarithm calculations. That means that we are using the standard velocity gauge formalism. Still full diagonalization is performed for a matrix of intermediate states with optimization, which provides the best value for an integral of $J(k)$ on the interval of $k \in [0, \Lambda]$. Here Λ is a cut-off parameter separating low and high energy photons.

Extrapolation procedure is improved by direct calculation of the coefficient C_3 in the asymptotic expansion

$$J(k) = \frac{1}{k} \langle \mathbf{J}^2 \rangle - \frac{2\pi}{k^2} \sum_{i>j} z_i z_j \left(\frac{z_i}{m_i} - \frac{z_j}{m_j} \right)^2 \langle \delta(\mathbf{r}_{ij}) \rangle \\ - \frac{4\pi}{k^3} \sum_{i>j} z_i^2 z_j^2 \left(\frac{z_i}{m_i} - \frac{z_j}{m_j} \right)^2 \left(\sqrt{2m_{ij}k} + z_i z_j m_{ij} \ln k + C_3 \right) \langle \delta(\mathbf{r}_{ij}) \rangle + \dots$$

which may be expressed in term of expectation values of some singular operators, such as a distribution $\langle 1/r^4 \rangle$.

The results obtained in this way for the helium ground state

$$\beta_{\text{He}} = 4.37016022306(2)$$

and for the ground state of H_2^+ molecular ion

$$\beta_{\text{H}_2^+} = 3.012230334(1)$$

are the best by now. We show that one of the limitations in getting better precision is the initial state accuracy, and convergence over the basis size of the initial state has to be studied as well.

The major aim of this study is to use the ideas of this approach to improve the accuracy of calculations for the relativistic Bethe logarithms in case of the two-center problem.

[1] C. Schwartz, Phys. Rev. **123** 1700 (1961).

Точное по отношению масс вычисление вклада поляризации вакуума порядка $\alpha(Z\alpha)^4 mc^2$ в мюонном водороде

Е.Ю. Корзинин^a, В.Г. Иванов^b, С.Г. Каршенбойм^{b,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

В связи с успешным завершением экспериментов по измерению лэмбовского сдвига в мюонном водороде и дейтерии возникла необходимость надежной проверки соответствующих теоретических расчетов. Эта работа является частью планомерной проверки. Мы анализируем релятивистские поправки к отдаче с учетом однопетлевой поляризации вакуума, которые недавно рассматривались разными авторами. В работах Е. Бори [3, 2, 4] и К. Пахутского [1] использовались разные подходы к данному вычислению.

Нами вычислен полный вклад эффектов поляризации вакуума порядка $\alpha(Z\alpha)^4 mc^2$ точно по m_μ/M в обоих подходах (Е. Бори и К. Пахутского). Показаны их принципиальные различия. В результате проверки были получены результаты, совпадающие точно аналитически, для обоих методов учета поляризации вакуума. Подробности будут представлены на Совещании.

Работа была поддержана грантами РФФИ 11-02-91343-ННИО_а, DFG и фонда “Династия” (Е.Ю. Корзинин)

[1] A. Veitia and K. Pachucki, Phys. Rev. A. **69**, (2004) 042501

[2] E. Borie, Rev. Mod. Phys **54**, (1982) 67

[3] E. Borie, Phys. Rev. A **71**, (2005) 032508

[4] E. Borie, arXiv:1103.1772v3, (2011)

КЭД теория многофотонных каскадных переходов в атомах.

Л.Н. Лабзовский^{a,b}

^a Физический факультет, Санкт-Петербургский Государственный Университет
198504 Петергоф, Санкт-Петербург, Россия

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

В рамках КЭД получены точные выражения для вероятностей многофотонных каскадных переходов в атоме водорода. Эти выражения получены для свободных атомов, однако они могут представлять интерес для точного описания процесса космологической рекомбинации водорода во Вселенной. Теория проиллюстрирована на примерах двухфотонных $3s-1s$, $4s-1s$ переходов и трехфотонного перехода $3p-1s$. Проанализированы существующие в литературе расхождения в описании многофотонных каскадных переходов и показана необходимость использования КЭД для получения результатов на уровне точности требуемом современными астрофизическими измерениями.

Эффекты асимметрии в угловых распределениях электронов при многофотонной ионизации поляризованных атомов

Ю.А. Климова, С.И. Мармо, А.В. Меремьянин

Воронежский государственный университет

Угловые распределения фотоэлектронов, возникающих при ионизации поляризованных атомов, зависят от знака атомной поляризации даже в случае линейно поляризованной ионизирующей волны. Указанный эффект *линейного магнитного дихроизма* (ЛМД) имеет интерференционное происхождение и исчезает в полных сечениях. Очевидно, что изучение ЛМД дает дополнительную информацию о динамике ионизации атомов.

Ранее эффект ЛМД неоднократно исследовался экспериментально и теоретически для случая однофотонной ионизации щелочных металлов (см., например, [1] и ссылки в ней). В настоящей работе мы рассматриваем угловые распределения при многофотонной ионизации поляризованных щелочных атомов, имея в виду возможную модификацию недавнего эксперимента [2] по ионизации Li, а также эксперимента [3] по ионизации Rb. Поскольку тонкое расщепление в спектре Li пренебрежимо мало, можно характеризовать состояния валентного электрона в Li орбитальным моментом l и его проекцией m . Мы рассматриваем, как и в [1], полностью поляризованное начальное p -состояние: $l_i = 1$, $m_i = \pm 1$. Для наглядной демонстрации эффекта ЛМД дифференциальное сечение одно- и двухфотонной ионизации представлено в явном виде как сумма регулярного слагаемого A_{reg} , которое не меняется при замене $m_i \rightarrow -m_i$ и дихроичного слагаемого A_{dich} , меняющего знак при такой замене:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = A_{reg} + A_{dich},$$

причем $A_{dich} \sim \sin[m_i(\varphi_p - \varphi_e)]$, где φ_p и φ_e — полярные углы импульса фотоэлектрона и вектора (линейной) поляризации волны в выбранной системе координат. Для случая многофотонной ионизации явные формулы становятся слишком громоздкими, и оказывается более удобным проводить численные расчеты, основываясь на общей формуле, выражающей амплитуду ионизации через m_i компоненту тензорного произведения векторов задачи ранга l_i . Радиальные матричные элементы и фазы рассеяния, определяющие динамические параметры в амплитуде, вычислялись с использованием одноэлектронного приближения. Проведенные вычисления для двух- и трехфотонной ионизации Li, а также для двухфотонной ионизации Rb (с учетом релятивистских эффектов), показывают значительную величину ЛМД-эффекта.

[1] J. Niskanen *et al.*, Phys. Rev. A **81** (2010) 013406.

[2] M. Schuricke *et al.*, Phys. Rev. A **83** (2011) 023413.

[3] Zheng-Min Wang *et al.*, Phys. Rev. Lett **84** (2000) 3795.

Лэмбовский сдвиг в атоме мюонного дейтерия

А.А. Крутов^a, А.П. Мартыненко^{a,b}, Р.Н. Фаустов^c, Р.Н. Шамсутдинов^b

^aСамарский государственный университет,

^bСамарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королёва,

^cВычислительный центр РАН им. А.А. Дородницына.

Измерение лэмбовского сдвига в мюонном водороде (μd), которое рассматривалось как один из фундаментальных экспериментов в спектроскопии простейших атомов, недавно было выполнено в [1]. Мюонные атомы представляют собой уникальную лабораторию по изучению свойств ядер. Измерение частот перехода ($2P - 2S$) в (μd), ионах мюонного гелия с точностью 50 ppm позволит получить значения зарядовых радиусов дейтрона, гелиона и α -частицы с точностью 0.0005 фм [1, 2, 3, 4].

В данной работе мы вычисляем поправки порядка α^3 , α^4 , α^5 и α^6 в лэмбовском сдвиге ($2P_{1/2} - 2S_{1/2}$) и тонкой структуре ($2P_{3/2} - 2P_{1/2}$) в атоме мюонного дейтерия. Учитываются поправки, которые можно разделить на две группы. В первую группу входят специфические для мюонного дейтерия вклады, связанные с поляризацией вакуума [5], структурой ядра [3], релятивистскими поправками и эффектами отдачи [6] в первом и втором порядках теории возмущений. Как правило поправки этой группы получены в интегральном виде и вычисляются численно. Вторую группу образуют поправки, полученные в аналитическом виде для лэмбовского сдвига в атоме водорода. Поскольку численная величина параметра $m_e/\mu Z\alpha = 0.7$ в мюонном дейтерии, то эффекты поляризации вакуума имеют важнейшее значение [5]. Изучены однопетлевые, двухпетлевые и трехпетлевые вклады в сдвиг ($2P_{1/2} - 2S_{1/2}$). Эффекты структуры ядра выражены в лэмбовском сдвиге в терминах зарядового радиуса дейтрона r_d . Мы учитываем сложные амплитуды взаимодействия частиц, содержащие как поправки на структуру ядра, так и вакуумную поляризацию в первом и втором порядках теории возмущений. Поправки на структуру ядра в двухфотонных обменных диаграммах сокращаются с частью вклада на поляризуемость дейтрона [3]. Величина лэмбовского сдвига имеет вид: $\Delta E^{Ls}(2P - 2S) = (230.4511 - 6.108485 \cdot r_d^2)$ мэВ, что дает значение (202.4139 ± 0.0573) мэВ при $r_d = 2.1424(21)$ фм.

Список литературы

- [1] R. Pohl, A. Antognini, F. Nez et al., Nature **466**, 213 (2010).
- [2] E. Borie, Phys. Rev. A **72**, 052511 (2005).
- [3] K. Pachucki, Phys. Rev. A **53** (1996) 2092; PRL **106**, 193007 (2011).
- [4] A.P. Martynenko, JETP **101**, 1021 (2005).
- [5] S.G. Karshenboim, V.G. Ivanov, E.Yu. Korzinin and V.A. Shelyuto, Phys. Rev. A **81**, 060501 (2010).
- [6] U.D. Jentschura, Phys. Rev. A **84**, 012505 (2011).

Ньютоновская гравитационная постоянная: современные эксперименты и новое значение CODATA.

В.К. Миллюков^a

^a *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга*

Определение гравитационной постоянной в лабораторном эксперименте имеет более чем 200-летнюю историю. Прогресс в знании абсолютного значения гравитационной постоянной происходит достаточно медленно, величина ошибки уменьшается приблизительно в 10 раз за столетие, и на настоящее время G – все еще наименее точно известная константа природы. Значение гравитационной постоянной, которое рекомендуется к использованию в науке и технике комиссией CODATA (Committee on Data for Science and Technology) публикуется один раз в 4 года. Новое CODATA значение Ньютоновской гравитационной постоянной, $G = (6.67384 \pm 0.00080) \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$, стало доступным 2 июня 2011 г. и заменило значение CODATA 2006 года. Новое значение основано на данных, доступных к 31 декабря 2010 г.

Современная история экспериментального определения G , насчитывает около десятка экспериментов, выполненных в разных лабораториях мира в течение последних десяти лет. Это эксперименты Gundlach & Merkovich (США) с относительной ошибкой 14 ppm (2000), Quinn, Speake и др. (Великобритания) с относительной ошибкой 41 ppm (2001), Shlamminger и др. (Швейцария) с относительной ошибкой 33 ppm (2002). В 2003 г. публикуется результат эксперимента Armstrong and Fitzgerald (Новая Зеландия) с относительной ошибкой 41 ppm, а затем, в 2006 г. результат нового эксперимента Shlamminger с относительной ошибкой 16 ppm.

Казалась бы, ситуация с абсолютным значением гравитационной постоянной наконец стабилизировалась. Но в 2009 году публикуется новое значение гравитационной постоянной с относительной ошибкой 26 ppm (Luo Jun и др, Китай) [1], которое формально не укладывается в доверительный интервал CODATA-2006. Наконец, в 2010 году становится известным еще одно значение гравитационной постоянной, полученное в эксперименте с использованием лазерного интерферометра с относительной ошибкой 21 ppm (Parks and Faller, США) [2].

Хотя формальная среднеквадратическая ошибка лучших экспериментов по определению G составляет 15–40 ppm, тем не менее, разброс абсолютных значений G достаточно велик. Разброс результатов, превосходящий ожидаемую в обычных экспериментах величину в 2–3 стандартных отклонения, трудно объяснить. Скорее всего, он связан с систематическими ошибками, поэтому очень важно измерять G в экспериментах, использующих различные методики.

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

[2] H. Parks & J. Faller, arXiv: 1008.3203v3 [physics.class-ph], 7 Sep 2010.

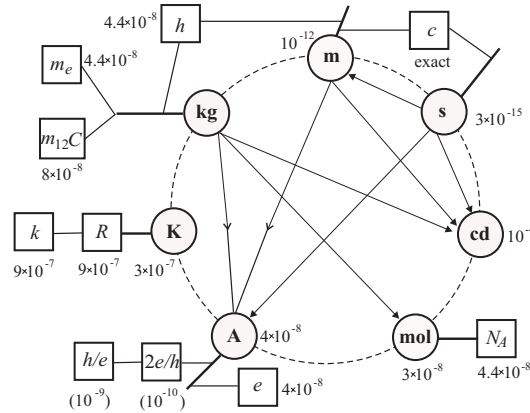
Role of fundamental physical constants in the new system of units — the quantum SI

Waldemar Nawrocki^a, Yury Shukrinov^b

^a *Poznan University of Technology, Poznan, Poland*

^c *BLTP, JINR, Dubna, Moscow Region, 141980, Russia*

Fundamental physical constants are universal and invariant. Therefore they are good references for units of system of measure. 150 years ago C. Gauss and J. C. Maxwell proposed a measurement system of units using physical constants. Now we come back to these ideas [1]. The International System of Units (SI) contains 7 base units and two supplementary units [2]. In its 12th Resolution "On the possible redefinition of certain base units of the International System of Units" the last, 23th General Conference (CGPM) recommended [2]: "pursue the relevant experiments ... to redefine the kilogram, the ampere, the kelvin, and the mole using fixed values of the fundamental constants at the time of the 24th General Conference (2011)...".



The proposed new definitions of the kilogram, the ampere, the kelvin and the mole [2, 3] are listed below.

1. The kilogram is the mass of a body whose de Broglie-Compton frequency is equal to exactly $[(299792458^2 / (6.6260693) \times 10^{-34})]$ hertz.
2. The ampere is the electrical current equivalent to the flow of exactly $1 / (1.60217653 \times 10^{-19})$ elementary charges per second.
3. The kelvin is the change of thermodynamic temperature T that results in a change of thermal energy kT by exactly $1.3806488 \times 10^{-23}$ joule, where k is the Boltzmann constant.
4. The mole is the unit of amount of substance. It is equal to $6.0221415 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ specified identical entities. The entities may be atoms, ions, molecules or other particles.

[1] Ch.J. Borde, Transactions Royal Society A **361**, 2177 (2005).

[2] <http://www1.bipm.org/en/>

[3] W. Nawrocki, Metrology and Measurement Systems **17**, 139 (2010).

Прецизионный расчет и численная аппроксимация плотности и потенциала, обусловленных поляризацией вакуума ядром конечных размеров

Н.Л. Манаков, А.А. Некипелов

Воронежский государственный университет

Поляризация вакуума кулоновским полем является составной частью фейнмановских диаграмм различных порядков, возникающих при теоретическом исследовании поправок в спектры и других КЭД – эффектов в многозарядных ионах (см. например обзор [1]). Расчет плотности заряда, индуцированного в вакууме атомным ядром, и соответствующего ему потенциала представляет собой технически сложную задачу, поэтому здесь полезны достаточно точные численные аппроксимации. Для точечного ядра такая задача была решена нами в [2], там же приведены и численные аппроксимации потенциала, использованные в дальнейшем в ряде работ, в частности [3], [4]. 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. Указаны также оценки точности аппроксимаций в различных диапазонах параметров.

- [1] В.М. Шабаетв, 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)
- [3] V.A. Yerokhin, Phys. Rev. A **83**, 012507 (2011)
- [4] D.A. Glazov, A.V. Volotka, V.M. Shabaev, I.I. Tupitsyn, and G. Plunien, Phys. Rev. A **81**, 062112 (2010)

Сечение ионизации и вклад континуума в оптические характеристики ридберговского атома

Е.А. Некипелов, В.Д. Овсянников

*Воронежский госуниверситет, физический факультет
394006, Воронеж, Университетская пл. 1*

Прецизионные оценки численных значений интегралов по состояниям континуума можно существенно упростить, используя связь матричных элементов радиационных переходов с зависящим от частоты сечением фотоионизации $\sigma_{nl}(\omega)$. В частности, для сил осцилляторов ($q = 0$) и их моментов ($q = \pm 1, \dots$):

$$S_{nl}^c(q) = \int_0^\infty 2\omega^{q+1} |\langle \epsilon | z | nl \rangle|^2 d\epsilon = \frac{c}{4\pi^2} \int_{|E_{nl}|}^\infty \omega^q \sigma_{nl}(\omega) d\omega. \quad (1)$$

Прецизионная оценка штарковского сдвига энергетических уровней под действием теплового излучения требует корректного учета вклада непрерывного спектра, который также можно выразить через сечение фотоионизации:

$$\epsilon_{nl}^c = -\frac{(kT)^3}{2\pi^3 c^2} \int_{|E_{nl}|}^\infty \frac{\sigma_{nl}(\omega)}{\omega} \mathcal{F}\left(\frac{\omega}{kT}\right) d\omega, \quad (2)$$

где функция Фарлея-Винга $\mathcal{F}(y)$ учитывает интеграл от распределения Планка для плотности энергии теплового излучения [1]. Для оценки сечения ионизации ридберговских состояний в области частот, дающей основной вклад в интеграл (1), можно использовать ашпроксимационные формулы вида [2, 3]:

$$\sigma_{nl}(\omega) = \sigma_{nl}^{thr} \left(\frac{|E_{nl}|}{\omega} \right)^{\beta_{nl}}, \quad \sigma_{nl}^{thr} = s_0 n^p \left(1 + \frac{s_1}{n} + \frac{s_2}{n^2} \right), \quad \beta_{nl} = b_0 + \frac{b_1}{n} + \frac{b_2}{n^2} \quad (3)$$

в которых $p \approx 5/3$, а сечение пороговой ионизации σ_n^{thr} и показатель степени β_n являются независимыми от частоты $\omega = |E_{nl}| + \epsilon$ величинами. Аналитические выражения (1) – (3) позволяют показать, что относительный вклад континуума в рассматриваемых величинах с ростом главного квантового числа убывает. В частности, вклад $S_{nl}^c(q)$ для $q = 0, 1$ при $n > 20$ убывает по закону $n^{-1/3}$. Вклад величин (2) в термоиндуцированный сдвиг S -, P -, D -, и F -состояний атомов водорода при $n < 100$ может испытывать значительные зависящие от температуры флуктуации, меняясь в пределах от нуля до 20-30% и более. Но при $n > 100$ он также убывает по закону $n^{-1/3}$.

[1] J.W. Farley, W.H. Wing, Phys.Rev.A, **23** (1981) 2397

[2] V.D. Ovsiannikov, I.L. Glukhov, E.A. Nekipelov, J. Phys. B **44** (2011) 195010.

[3] В.Д. Овсянников, И.Л. Глухов, Е.А. Некипелов, Опт. и Спектр. **111** (2011) 28.

Charge radius of helium nuclei from the atomic spectroscopy

Vladimir Yerokhin^a, Krzysztof Pachucki^b

^a *Center for Advanced Studies, St. Petersburg State Polytechnical University,
Polytekhnicheskaya 29, St. Petersburg 195251, Russia*

^b *Faculty of Physics, University of Warsaw, Hoza 69, 00681 Warsaw, Poland*

The striking discrepancy for the proton charge radius as determined from the electronic and muonic hydrogen has not yet found the explanation. The best verification of this discrepancy is by comparison of helium nuclei charge radii. The muonic helium experiment is in the preparation stage. The electron scattering determination is quite accurate 0.5 %, but not necessarily very reliable. We have therefore undertaken the project to determine the nuclear charge radius from the atomic transition frequencies, namely from 2^3S_1 to arbitrary excited triplet state of helium and light heliumlike ions, with the precision of about 1%

As a first step, we have verified 4σ discrepancy in the $^4\text{He} - ^3\text{He}$ mean square charge radius difference between that obtained from isotope shift measurements of $2^3S_1 - 2^1S_0$ transition by Wim Vassen, and that from $2^3S_1 - 2^3P$ (centroid) by David Shiner, and independently by Pablo Cancio. This means, that one of these transitions was not measured correctly.

In the next step we plan to calculate the complete hyperfine structure of $2^3P_J^F$ level with about 1 kHz accuracy, to verify the measurements of hyperfine transition frequencies and to explore another possibility of the fine structure determination.

[1] R. van Rooji, *at al*, Science **333**, 196 (2011).

[2] D. Shiner, R. Dixon, and V. Vedantham, Phys. Rev. Lett. **74**, 3553 (1995).

[3] P. Cancio, *in preparation*

Измерение флуктуаций сил взаимодействия пробных тел из плавленого кварца с полем электростатического актюатора

Д.В. Копцов, Л.Г. Прохоров

МГУ им. М.В. Ломоносова

В настоящее время одними из наиболее чувствительных инструментов является интерферометрические детекторы гравитационных волн [1]. Так, детекторы LIGO (USA) измеряют смещение пробных масс с точностью $S_x = 10^{-18} \text{ м} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$ в полосе частот от 30 до 1000 Гц. Измерение столь малых смещений пробных тел требует учета разнообразных эффектов, в том числе и связанных с наличием на этих телах электрических зарядов. Для коррекции положения пробных масс в таких детекторах предполагается использовать электростатический актюатор, т.е. систему гребенчатых электродов, создающую неоднородное электрическое поле, в которое втягивается диэлектрическая пробная масса. Целью настоящего исследования является измерение флуктуаций электрических сил, действующих на пробную массу из-за помещения ее в поле электростатического актюатора.

Ключевым элементом экспериментальной установки является высокочастотный крутильный маятник из плавленого кварца. Резонансная частота этого маятника лежит в диапазоне 30-100 Гц, наиболее интересном для гравитационно-волнового детектора. Измерение углового положения маятника производится интерферометрическим методом. Для приложения к маятнику неоднородного электрического поля рядом с ним расположена модель электростатического актюатора. Предполагается, что созданная экспериментальная установка позволит измерить величину флуктуаций сил взаимодействия маятника с прикладываемым к нему электрическим полем на уровне тепловых шумов.

[1] B.P. Abbott *et al.*, LIGO: The Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, Rep. Prog. Phys. **72**, (2009) 076901

Суммирование рядов теории возмущений для многозарядных ионов с помощью метода гипервириальных соотношений

А.М. Пучков

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

При вычислении различных поправок к сверхтонкой структуре, к g -фактору и лэмбовскому сдвигу для многозарядных водородоподобных ионов возникают ряды типа

$$|i, s, \kappa', n\kappa\rangle \equiv \sum_{n'}^{(E_{n'\kappa'} \neq E_{n\kappa})} \frac{|n'\kappa'\rangle \langle n'\kappa' | R_i^s | n\kappa\rangle}{E_{n\kappa} - E_{n'\kappa'}}, \quad (1)$$

где $R_0^s = r^s$, $R_1^s = \sigma_x r^s$, $R_2^s = i\sigma_y r^s$, $R_3^s = \sigma_z r^s$. Идея использования гипервириальных соотношений для суммирования этих рядов впервые была высказана в работах [1, 2]. В дальнейшем, этот метод неоднократно и успешно применялся в численных расчетах. Однако, не смотря на достигнутые успехи, до сих пор остался нерешенным целый ряд вопросов, связанных с вычислением сумм в случае $\kappa \neq \kappa'$ и $s > 0$.

В настоящем докладе показано, что с помощью матричного представления гипервириальных соотношений [3], можно сформулировать общий подход к суммированию рядов (1). Это позволило получить рекуррентные формулы, из которых следуют правила суммирования рядов самого общего вида, в том числе при $\kappa \neq \kappa'$, как для $s < 0$, так и для $s > 0$. Показано, что в некоторых частных случаях, предлагаемый общий подход приводит к известным выражениям для сумм [1, 2, 4]. Обсуждаются возможные практические применения метода к решению конкретных физических задач.

- [1] V.M. Shabaev, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **24**, (1991) 4479.
- [2] V.M. Shabaev, *Precision Physics of Simple Atomic Systems* (Springer, Berlin) (2003) 97; E-print/physics/0211087 (2002)
- [3] A.M. Puchkov, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **44**, (2011) 045002.
- [4] E.Y. Korzinin, N.S. Oreshkina and V.M. Shabaev, Physica Scripta **71**, (2005) 464.

Tests of the Newtonian gravity law at short distances.

V.N. Rudenko

Sternberg Astronomical Institute of MSU

At early 70th of the past century a speculation of the possible spatial variations of the gravitational constant was provoked by results of some geophysical and laboratory measurements. Besides a re-examination of the old Eotvos experimental data was seemed supported an existence of the intermediate-range coupling to the test mass baryon number or hypercharge. It was reflected in the phenomenology where the conventional Newtonian inverse square law attraction was accompanied by the Yukawa type correction described by two parameters: relative amplitude and spatial range of the new interaction. This phenomenology also could be presented as the standard gravitational ISL but with a gravitational coupling constant depending on distance. Attempts to derive such dependence from astrophysical observations or through performing Cavendish type experiments in laboratory and nature was known as a "fifth force searching for". At the end of twenty century the very strong restriction on the fifth force existence were established for distances of astrophysical (solar system) scale as well as for the laboratory scale on the order of meters and centimeters [1].

New interest to a possible violation of the gravitational ISL at distances less the millimeter range was appeared in association with the hypothesis of extra dimensions space structure at small scales (sub millimeter and less). A short range interaction hidden in such microscopic wrapped extra dimensions could help to solve the so called "hierarchical problem" and to shift the energy "scale of strong gravity" from Planck mass to the Tev region [2].

Cavendish type measurement of gravitational attraction on such small scale is technically non trivial problem due to a necessity to join requirements of a using enough large homogeneous test mass with a microscopic space gap between them. It was solved due to an original idea to replace real solid test mass by holes ("negative mass") in test gold plates optically polished with surface irregularities on the order of hundred part of optical wave length [3]. In experiments cylindrical and disc forms of such multi-hole plates were assembled in a torsion pendulum as probe and attracting masses separated with a gap of several tenth micrometers.

For more small distances experimental design of the torsion pendulum was changed to a cantilever oscillator scheme manufactured from silicon materials covered by a gold film [4]. Optical FP cavity with external laser pump was used to measure very small oscillations of test mass (few milligram) attached to cantilever spring excited by the gravitational force produced by a sliding underneath gold film with periodical structure.

It was occurred that at the micrometer scale the Newtonian gravitational force became comparable and less the quantum electro dynamic Casimir force which must be taken into account in the processing of experimental data [5]. The recent precise measurements of the Casimir force factually provided new experimental limits to ISL violation at the micrometer distances [6].

The talk presents a brief review and critical analysis of laboratory tests of gravitational attraction on small distances. The main conclusion is that up to now no any violation of

the ISL was detected and that future tests at the distances less one micrometer will be dominated by electromagnetic type of interactions much more than the gravity.

-
- [1] E.Fischbach, C.L.Talmadze. The search for Non-Newtonian Gravity, edited by Spriger-gerlach. (2000)
 - [2] N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, G. Dvali, Phys. Rev. D **59** 086004 (1999)
 - [3] E.G.Adalberger, J.H. Gundlach , B.R. Heckel *et al*, PPNP **62**, 102 (2009).
 - [4] A.A. Geraci, *et al*, PRD, **78**, 022002 (2008)
 - [5] A. Lambrecht *et al*, in "Casimir physics" (2011) [arXiv:1006.2959]
 - [6] M. Masuda, M. Sasaki, Phys. Rev. Lett. **102**, 171101 (2009)

Измерения гравитационной постоянной при наличии неравновесных потоков разреженного газа

В.М. Шахпаронов^a, В.П. Измайлов^b, О.В. Карагиоз^b.

^aМГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра физики колебаний, 119991, ГСП-1, Москва, e-mail: shah@phys.msu.ru

^bНациональный институт авиационных технологий, 119285, Москва, ул. Пырьева, д.5, стр.12, e-mail: info@tribotech.ru

Измерения гравитационной постоянной G крутильными весами проводятся в присутствии дестабилизирующих факторов, что связано с малой величиной гравитационного взаимодействия. Отсутствие магнитных экранов в большинстве проведенных экспериментов ставит под сомнение достоверность полученных результатов. Магнитный демпфер качаний и высокий вакуум ослабляют воздействие остальных факторов, однако эти меры могут оказаться недостаточными.

Неудачный выбор формы и материала рабочего тела весов [1] снизили величину гравитационного взаимодействия, что при искусственно введённом в камеру источнике неравновесных потоков привело к систематической погрешности. Авторы попытались её скомпенсировать поправкой на наличие вязкости в нити подвеса [2], однако она противоречит природе внутреннего трения [3] и поэтому ошибочна. В итоге заявленное ими значение G необходимо увеличить на 212 ppm, что существенно при указанной авторами погрешности 26.33 ppm. По-видимому при учёте реальной толщины металлического покрытия на гранях кварцевого блока значение G ещё более возрастёт. Однако его параметры до сих пор неизвестны.

Рассматривалась трёхпозиционная схема измерений. В позиции 1 притягивающие шаровые стальные массы расположены у торцов кварцевого блока, в позиции 2 – отсутствуют, в позиции 3 – повернуты на угол $\pi/2$. Непрерывный дрейф периода колебаний привёл к систематической разности значений G в прямых циклах, начинающихся с позиции 1, и обратных, которая превысила 1000 ppm. Заметные отклонения G_{ij} при учёте позиции 2 от нормальных значений наиболее наглядно свидетельствуют о наличии в камере неравновесных потоков газа. Равенство всех комбинаций G_{ij} в первом эксперименте обеспечивал период колебаний во второй позиции, уменьшенный на 138 мс, а во втором – увеличенный на 47 мс. Не исключено и наличие магнитного взаимодействия. Его трудно выявить на фоне более мощного фактора. В первом эксперименте G в комбинациях второй позиции с третьей снизились по сравнению с нормальным значением на 183275 ppm, а в комбинациях с первой возросли на 57245 ppm. Напротив, во втором эксперименте комбинации с третьей позицией возросли на 59493 ppm, а комбинации с первой снизились на 19182 ppm. Такие эффекты обусловлены изменением угла между положением равновесия блока и направлением неравновесных потоков после очередной герметизации камеры.

[1] L.C. Tu *et al.* Phys.Rev. D., **82** (2010), 022001.

[2] K. Kuroda Phys. Rev. Lett., **75** (1995), 2796.

[3] A. Granato and K. Lucke. J. Appl. Phys. **27(6)** (1956), 583.

The time-evolution of FPC; is it possible?

Plamen P. Fiziev, D.V. Shirkov

*Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics
JINR, 141980 Dubna, Russia*

The overview of novel ideas to reveal some general mysteries of the Universe: alternatives to Higgs mechanism, quantum gravity, what was *before* the Big Bang, CPT properties of elementary particles, baryon – anti-baryon asymmetry, etc., by introducing new Physics on manifolds with variable topological dimension and, possibly, reduction of space dimensions.

This ideas — implemented in a few our recent publications — propose also some new (a bit fantastic) approach to the origin of the Fundamental Physical Constants and to the possibility of their evolution.

The perspective of intrinsic Josephson junctions for quantum metrology

Yury Shukrinov^a, Paul Seidel^b, Waldemar Nawrocki^c

^a *BLTP, JINR, Dubna, Moscow Region, 141980, Russia*

^b *Institut fuer Festkoerperphysik, Friedrich-Schiller-Universitaet Jena
D-07743 Jena, Germany*

^c *Poznan University of Technology, Poznan, Poland*

The Josephson junction demonstrates an interesting physics and variety of applications. From the point of view of practical applications, a great number of junctions is often needed. For example, in a quantum voltage standard, thousands of junctions in series are required to obtain Shapiro steps at sufficiently high voltages up to 10 V [1]. The intrinsic Josephson junctions (IJJ) within the high-TC superconductors offer a new way to realize a large number of junctions in a very compact way. Compared to the well-developed low-Tc dc voltage standards, a few advantages can be found using IJJs [2, 3]: (i) high operation temperatures, up to temperatures near 50 K; (ii) operation at higher frequencies up to some THz; and (iii) high density of junctions due to naturally compact atomic scale, which may simplify the instrumentation significantly. But it has to be investigated if the extremely thin electrodes of the IJJs and their strong interaction results in stability and noise effects disturbing the function of such voltage standards.

We present results on the phase dynamics of a stack of coupled Josephson junctions in layered superconductors. The current voltage characteristics (CVC) of intrinsic Josephson junctions (IJJ) are numerically calculated [4]. We discuss the features of the parametric resonance and its manifestation in the breakpoint region of CVC [5, 6]. Charge creation in superconducting layers and nucleation of longitudinal plasma wave (LPW) for stacks with different number of junctions are described [7]. The effects of the external microwave radiation on the charge dynamics of the coupled Josephson junctions are discussed in detailed. The ideas concerning the experimental observation of the breakpoint features are considered.

-
- [1] C.A. Hamilton, Rev. Sci. Instr. **71**, 3611 (2000).
 - [2] H. Wang, J. Chen, P. Wu, *et al.*, Supercond. Sci. Technol. **16**, 1375 (2003).
 - [3] H.B. Wang, P.H. Wu, T. Yamashita, Phys. Rev. Lett. **87**, 107002 (2001).
 - [4] Yu.M. Shukrinov, F. Mahfouzi, P. Seidel, Physica C **449**, 62 (2006).
 - [5] Yu.M. Shukrinov, F. Mahfouzi, Phys. Rev. Lett. **98**, 157001 (2007).
 - [6] Yu.M. Shukrinov, F. Mahfouzi, M. Suzuki, Phys. Rev. B **78**, 134521 (2008).
 - [7] Yu.M. Shukrinov, M. Hamdipour and M.R. Kolahchi. Phys. Rev. B **80** (2009) 014512.

Возможность проверки сохранения СРТ-симметрии в гравитационном взаимодействии с помощью электрон-позитронных пучков в накопительных кольцах

Ю.Н. Обухов^a, А.Я. Силенко^b, О.В. Теряев^c

^a *Институт теоретической физики, Кёльнский университет, Кёльн, Германия*

^b *НИУ Институт ядерных проблем Белгосуниверситета, Минск, Беларусь*

^c *БЛТФ, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия*

Сравнение частот прецессии спина электронов и позитронов в ловушке Пеннинга свидетельствует о сохранении СРТ-симметрии в электромагнитном взаимодействии. Весьма важно также решение аналогичной проблемы для гравитационного взаимодействия. Различие частот прецессии спина частиц и античастиц (электронов и позитронов) во вращающейся системе отсчета однозначно свидетельствовало бы о нарушении или СРТ-симметрии, или эквивалентности гравитационного поля и неинерциальных систем отсчета, которая недавно была подтверждена экспериментальным наблюдением эффекта Лензе-Тирринга.

Возможности экспериментального определения фундаментальных свойств взаимодействия спина с гравитационным полем были исследованы в работе [1]. Путем реинтерпретации результатов ранее проведенного эксперимента со спинами атомов ртути [2] в [1] было получено первое экспериментальное ограничение на величину аномального гравитоманнитного момента. Для проверки сохранения СРТ-симметрии в гравитационном взаимодействии в [1] было предложено измерять малую разность больших частот прецессии спина электронов и позитронов в магнитном поле. Использование методологии проведения ЭДМ-эксперимента («замораживание» спина при «магическом» импульсе $p = mc/\sqrt{(g-2)/2}$ и выборе радиального электрического поля в качестве основного [3]) позволяет существенно улучшить точность проверки. Метод «замораживания» спина позволяет устранить не только $(g-2)$ -прецессию для $p = p_0$, но также линейные и квадратичные члены в разложении частоты $(g-2)$ -прецессии по степеням $(p - p_0)/p_0$ [4]. Как и в ЭДМ-эксперименте, в предлагаемом эксперименте необходимо увеличение времени когерентности спина до ~ 1000 с вследствие малости частоты вращения Земли ($11.6 \mu\text{Гц}$).

[1] A.J. Silenko and O.V. Teryaev, Phys. Rev. D **76** (2007) 061101(R).

[2] B.J. Venema, P.K. Majumder, S.K. Lamoreaux, B.R. Heckel, and E.N. Fortson, Phys. Rev. Lett. **68** (1992) 135.

[3] Y.K. Semertzidis, AIP Conf. Proc. **1149** (2009) 48.

[4] D. Anastassopoulos, *et al.* (EDM Collaboration), “AGS Proposal: Search for a permanent electric dipole moment of the deuteron nucleus at the $10^{-29} e \cdot \text{cm}$ level”, http://www.bnl.gov/edm/deuteron_proposal_080423_final.pdf

Квантовоэлектродинамические аспекты теории космологической рекомбинации.

Л.Н. Лабзовский^{a,b}, Д.А. Соловьев^a, Т.А. Залялютдинов^a

^a *Физический факультет, Санкт-Петербургский Государственный Университет,
198504 Петергоф, Санкт-Петербург, Россия*

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

В рамках КЭД представлена простая модель, на основе которой удается оценить относительную роль вкладов многофотонных переходов в процесс отрыва излучения в эпоху космологической рекомбинации. В частности показано, что в дополнение к хорошо известным двухфотонным переходам некоторые трехфотонные процессы распада могут давать вклад порядка 0.1%, т.е. на уровне точности планируемых астрофизических экспериментов. Полученные оценки не могут в полной мере заменить точного решения астрофизических уравнений баланса, однако могут служить в качестве показателя того, какие процессы должны быть учтены в астрофизических исследованиях. Наши исследования основаны на "двухфотонном приближении" в рамках которого описываются каскадные многофотонные процессы излучения с наличием в них двухфотонных переходов [1], [2].

В рамках данной работы используется идея о вероятности переизлучения фотона, впервые введенная F. Low в [3]. Согласно этой идее, если атом излучает фотон, который имеет распределение по частоте как результат предыдущего поглощения, то полная вероятность переизлучения фотона может отличаться от 1. Отличие от единицы мы сопоставляем с отрывом излучения. Мы полагаем также, что использование одного процесса переизлучения достаточно для понимания роли определенного канала распада в процессе отрыва излучения.

Полный вклад возбужденных $ns(n > 2)$, $nl(l = 1, 2, 3, 4, n \leq 4)$ состояний в атоме водорода в процесс отрыва излучения по нашим оценкам достигает значения 0.21%, что не является пренебрежимо малым с точки зрения планируемой точности астрофизических экспериментов.

Список литературы

- [1] D. Solovyev and L. Labzowsky, Phys. Rev. A **81**, 062509 (2010)
- [2] D. Solovyev and L. Labzowsky, Can. J. Phys. **89**, 123 (2011)
- [3] F. Low, Phys. Rev. **88**, 53 (1952)

Случайна ли величина массы протона?

О.В. Теряев

БЛТФ ОИЯИ

Рассматривается "обратная" КХД эволюция среднего импульса кварков и глюонов в адронах и фотонах при переходе от больших импульсных масштабов к меньшим. Поскольку она имеет [1] "антикинетический" характер, то отклонение начальных условий от асимптотических (для прямой эволюции) значений в ультрафиолетовой области может приводить к нарушению положительной определенности матрицы плотности. В случае случайного выбора начальных условий (связанного, в свою очередь, со случайностью масштаба КХД и адронных масс) наиболее вероятными являются значения в низкоэнергетической области, близкие к асимптотическим, что не столь уж далеко от наблюдаемых. Обсуждается связь с равномерным распределением импульса и момента импульса между кварками и глюонами, означающим также справедливость принципа эквивалентности для них по отдельности.

-
- [1] X. Artru, M. Elchikh, J.M. Richard, J. Soffer and O.V. Teryaev, Phys. Rept. **470** (2009) 1 [arXiv:0802.0164 [hep-ph]].

Исторические аспекты современной реформы метрологии

К.А. Томилин

Институт истории естествознания и техники им. С.И.Вавилова, РАН

В основе современной реформы метрологии лежат как теоретические идеи естественных систем единиц, выдвигавшиеся в течение последних 150 лет, так и успехи современной экспериментальной физики. Естественные системы единиц, связанные с фундаментальными постоянными предлагались Дж.К. Максвеллом, Дж. Стони, М. Планком, Д. Хартри, А. Руарком, У. Штилле и др. Эти системы единиц были основаны на разных комбинациях таких фундаментальных постоянных, как скорость света c , постоянная Планка h , гравитационная постоянная G , элементарный заряд e , постоянная Больцмана k , массы элементарных частиц m_p или m_e и др. (см. обзоры: [1, 2, 3]). Среди естественных систем следует выделить систему, предложенную в 1949 г. немецким метрологом У. Штилле (c, h, m_p, e, k) (вероятно, он был первым, кто предложил выбирать в качестве эталонов постоянные c, h и e одновременно). Эти идеи намного опередили свое время, некоторые из них, такие как планковская система и система Хартри, широко применялись только в теоретической физике, но не могли стать основой метрологии в силу большой неточности эталонирования единиц физических величин на основе этих постоянных. Однако открытие макроскопических квантовых эффектов, развитие лазерных и др. технологий, привели к тому, что сначала скорость света c в 1983 г. была принята в качестве эталона, а затем и к переходу в современной метрологии к выбору одновременно в качестве эталонов таких постоянных c, h, e и k , на основе модернизации практической системы СИ.

Ряд крупных физиков, таких как М. Борн, М.П. Бронштейн, П. Бриджмен, Ф. Вильчек указывали на невозможность одновременной фундаментальности всех трех постоянных — c, h и e , и, соответственно, невозможность выбрать их одновременно в качестве эталонов. Эти представления были связаны с использованием этими физиками гауссовой системы. Однако, коэффициент в законе Кулона выражается через три фундаментальные постоянные и постоянную тонкой структуры по формуле, верной в любых системах единиц: $k_e = \alpha \hbar c / e^2$. Поэтому такие системы единиц являются возможными. В свою очередь, гауссова система должна модернизироваться за счет отказа от выбора 1 в законе Кулона в пользу постоянной тонкой структуры α , только в этом случае снимается принципиальное противоречие между этой системой и требованиями современной квантовой метрологии.

-
- [1] Е.Ф. Долинский, Б.И. Пилипчук, Энциклопедия измерений, контроля и автоматизации. Вып.4. (1965) 3-8.
 - [2] К.А. Tomilin, Proc. of the XXII Internat. Workshop on high energy physics and field theory. Protvino (2000) 287-296.
 - [3] К.А. Томилин. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах. М.: Физматлит (2006). 368 с.

Квантовоэлектродинамический вывод естественной формы спектральной линии для перехода между двумя произвольными состояниями в атоме

Л.Н. Лабзовский^a, Д.А. Соловьёв^b, Т.А. Залялютдинов^b

^a *НИИФ СПбГУ, ПИЯФ*

^b *НИИФ СПбГУ*

В данной работе мы даём строгий квантовоэлектродинамический вывод естественной формы спектральной линии для перехода между двумя произвольными возбуждёнными состояниями в атоме водорода. В рассматриваемом нами случае возбуждённый уровень a переходит не в основное состояние a_0 , а в промежуточное a_1 , затем в a_2 и т.д. Так полная цепочка переходов из начального состояния в конечное стабильное выглядит следующим образом $a \rightarrow a_1 \rightarrow a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow \dots \rightarrow a_0$.