

平成 29 年 5 月 19 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26247036

研究課題名(和文) 能動核スピンメーザー法を用いた原子EDMと核シッフモーメントの研究

研究課題名(英文) Atomic EDM and nuclear Schiff moment studied with active spin maser

研究代表者

旭 耕一郎 (Asahi, Koichiro)

国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器研究センター・客員主管研究員

研究者番号：80114354

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,800,000円

研究成果の概要(和文)：標準理論を超える物理の動かぬ証拠となる電気双極子モーメント(EDM)を反磁性原子Xe-129において探索するために、能動帰還型核スピンメーザーの周波数安定化と共存磁力計の開発を進めた。その結果、スピン3/2の同位核Xe-131の同時発振メーザーが優れた共存磁力計であることを実証、またセル温度と光強度の変動抑制、デジタル型帰還による歳差位相の安定化に成功した。これらの変動要因が処理された結果、従来未認識であった変動機構としてRbスピンの帰還磁場への応答現象の存在が顕わとなり、これを解決する方法が提示された。こうしてXe-129のEDM実験上限を現在より1桁以上改善する道筋が明らかになった。

研究成果の概要(英文)：In order to search for EDM in a diamagnetic atom Xe-129, which if present will constitute an undeniable evidence for physics beyond the Standard Model, we have conducted frequency stabilization studies and co-magnetometer development. As a result, a co-running spin maser of Xe-131, a spin 3/2 isotope of Xe-129, has been proven to serve as an excellent co-magnetometer with high compensation powers against the magnetic field and Rb density drifts. A digitalized feedback architecture and temperature stabilization systems have been implemented. Thus, all the factors perceived to cause the frequency drifts became under control, but at the same time, this has disclosed the presence of another effect causing the drift, i.e., the spin phase deviation of Rb from Xe due to the feedback field. A method to avoid this effect has been proposed and its validity demonstrated, thus indicating a prospect for an order of magnitude improvement from the present experimental upper limit on the Xe-129 EDM.

研究分野：原子核物理学(実験)

キーワード：原子核(実験) 基本的対称性 CP非保存 電気双極子モーメント 核シッフモーメント 核スピンメーザー

1. 研究開始当初の背景

粒子に生じる電気双極子モーメント (Electric dipole moment, EDM) は CP 対称性を破る観測量である。素粒子の標準模型は測定不可能なほど小さい EDM を予言するが、標準模型を超える多くの有力な理論は観測可能な EDM を予言することから、EDM は高エネルギー実験による直接探索と相補的な超精密測定における強力なプローブとして注目を集めている。

EDM は中性子・ミュオン等の素粒子や原子、分子などの様々な測定サイトにおいて測定が試みられているが、本研究では中性の反磁性原子に生じる EDM に着目する。反磁性原子の EDM は核に生じる CP 非保存な電磁モーメントである Schiff モーメントから生じ、また Schiff モーメントは核子-核子間に働くパリティ及び時間反転対称性を破る相互作用に起因する。すなわち、Schiff モーメントは原子核の構造を鋭敏に反映する観測量であり、複数の核を用いた測定と精密な核模型計算を総合してその性質を解き明かす必要がある。現在反磁性原子の EDM としては ^{199}Hg 、 ^{129}Xe 、TIF による実験の上限値が得られているが、このうち ^{129}Xe 原子 EDM の測定精度 $|d(^{129}\text{Xe})| < 4.1 \times 10^{-27} e \cdot \text{cm}$ が反磁性原子による測定を総合した評価による EDM 探索精度を制限しており、この上限値を改善することが強く期待されている。

2. 研究の目的

静磁場中で歳差運動を行う粒子に静電場を印可した際、その粒子に EDM が存在すれば静電場との相互作用により歳差周波数が変化する。 ^{129}Xe 原子 EDM の実験上限値を一桁半更新する $10^{-28} e \cdot \text{cm}$ での測定においては、この変化は外部電場を 10kV/cm とすると約 1Hz であり、超高精度の歳差周波数測定が要求される。

本研究では、グループが独自に開発した低磁場でも動作可能な核スピンメーザーである能動帰還型核スピンメーザーと、新たに導入する ^{131}Xe 共存磁力計を用いた核種微分型の EDM 測定によって 1Hz を超える精度での Xe 原子 EDM の精密測定実現を目指した。

3. 研究の方法

(1) 能動帰還型核スピンメーザーの概略

図1のように、測定対象である Xe ガスとともにガラスセル内に存在する Rb 原子をレーザー光によって光学的にポンピングし、その偏極をスピン交換相互作用によって Xe 核スピンへと移行することで、静磁場に沿った Xe 核スピン編極を生成する。偏極した Xe は静磁場の揺らぎ、または rf パルスの印加によって静磁場に垂直な面内で歳差運動を開始する。能動帰還型核スピンメーザーでは、Xe

核スピン歳差に同期した Rb の横偏極度の変化に伴ってプローブレーザー光の吸収率が増減することを利用して、歳差信号をプローブレーザー光の強度変化として検出する。この信号をロックインアンプと電子回路によって処理し、歳差と 90 度位相がずれた帰還磁場を人工的に生成・印加する。Xe の偏極緩和と光ポンピングによる偏極生成、そして帰還磁場によって生じるトルクが釣り合うと Xe 歳差は緩和時間に制限されることなく半永久的に持続する。Xe 編極の横方向成分も減少しないことから連続的かつ長期間のスピン歳差観測が可能となり統計精度の向上が期待出来る。典型的なメーザー発振を図2に示す。

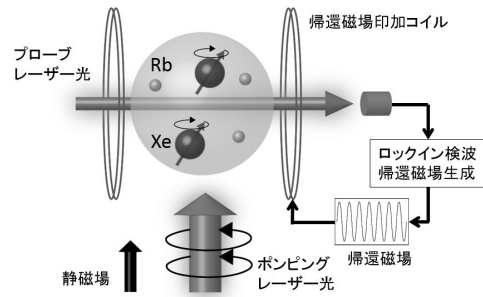
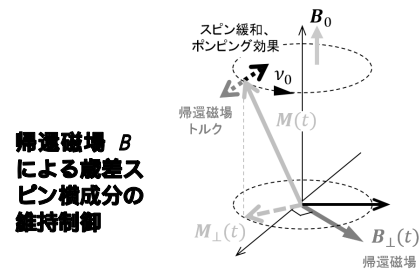


図1. 能動帰還型メーザー模式図

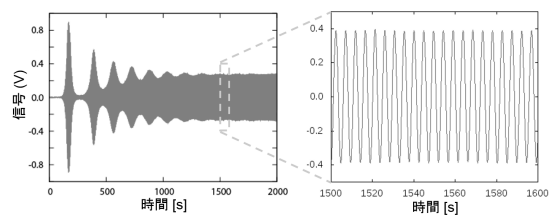


図2. 典型的なメーザー発振

ピックアップコイルを用いて磁化の運動を直接検出する従来型のメーザーと比較して低磁場まで動作するため、静磁場の揺らぎに由来する系統誤差の低減が可能である。

(2) 本研究開始時の状況

H25年度までの当研究グループの開発研究で、周波数決定精度 7.4nH (10^4 秒間測定あたり) を得ている。ただしこの発振周波数は環境磁場・セル温度等の測定環境の変動でゆらぎ、これによる系統誤差が EDM 測定精度を制限することが明らかである。これらメーザー運転環境からの影響を軽減するため、測定対象と異なる核種のスピンを同一セル内で同時にメーザー発振させて歳差の位相発展

を比較する共存磁力計の導入を行い、すでに ^3He により $^{129}\text{Xe}/^3\text{He}$ の二核種同時メーザー発振に成功、特に磁場変動に起因する系統誤差の影響が大幅に抑えられたものの、この時点で偏極 Rb 原子（偏極生成・歳差観測に用いる）との接触相互作用による周波数シフトが Xe と He で大きく異なることが測定の究極的な精度を制限するという問題が浮かび上がっていた。

(3) 本研究のセットアップ

本研究では、この問題を解決するため、新たに ^{129}Xe の同位体である ^{131}Xe を共存磁力計として導入することとした。 ^{129}Xe と ^{131}Xe に関する対 Rb 接触相互作用の強度差が ^{129}Xe と ^3He の間の差と比較して 1.6×10^{-5} 倍と非常に小さいことに着目し、2つのメーザーの歳差の比較から磁場変動および対 Rb 接触相互作用に起因する周波数変動の低減を図る。ここで ^{131}Xe 核のスピンは $I=3/2$ なので共鳴周波数は四重極相互作用のために $2I=3$ 個に分裂するが、このうち中央の周波数 $\nu(+1/2 -1/2)$ の四重極シフトは摂動の1次でゼロであり当該実験条件においては極めて小さい。また両脇 $\nu(+3/2 +1/2)$ 、 $\nu(-1/2 -3/2)$ 線と結合せず独立なスピン $1/2$ 系としてふるまうことが導かれるので、能動帰還型核スピンメーザーでは中央の遷移のみに選択的に帰還磁場を生成することにより他の $I=1/2$ 系と同等の条件のもとで精密な歳差周波数測定が実行できると期待される。このような観点に立ち本研究で構築したセットアップを図3に示す。

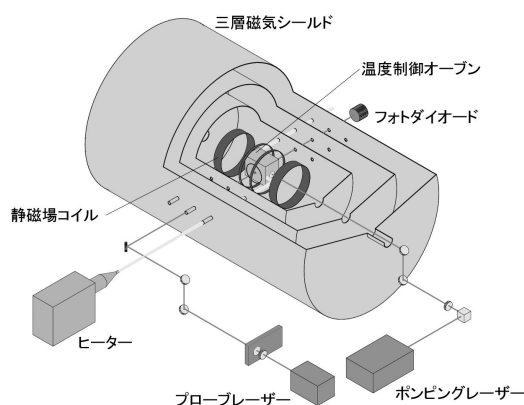


図3. 実験セットアップ

$^{129,131}\text{Xe}$ 、緩衝ガスの ^3He 、 N_2 と金属 Rb をガラスセル中に封入し、温度制御のためのオープン内へ設置する。セルの温度はオープンに加熱した空気を送り込むことによって制御する。オープンは静磁場印加のための2連ソレノイドコイルと浮遊磁界を遮断するための大型三層磁気シールドに覆われている。ポンピングレーザーからの光の波長は Rb の D1 線に相当する約 795nm に調整されており、これを静磁場と同軸で入射することで Xe 核スピン偏極を生成した。Xe 核スピンの歳差運動を静磁場と直行するプローブレーザーによってモニターし、その強度変動をフォトダ

イオードを用いて検出した。得られた信号から外部回路を用いて帰還磁場信号を生成し、オープンの外側に設置したヘルムホルツコイルを用いてセルに印加しメーザー発振を行った。

(4) ^{131}Xe 共存磁力計の導入

球形セルを用いて ^{131}Xe の能動帰還型メーザー発振を試行した。フォトダイオードからの歳差信号を分割し、 ^{129}Xe と ^{131}Xe それぞれ独立したロックインアンプ、帰還磁場生成回路と帰還磁場印加コイルを用いることで能動帰還型核スピンメーザーにおける ^{129}Xe と ^{131}Xe の同時メーザー発振に初めて成功した。得られた典型的な歳差信号を図4に示す。

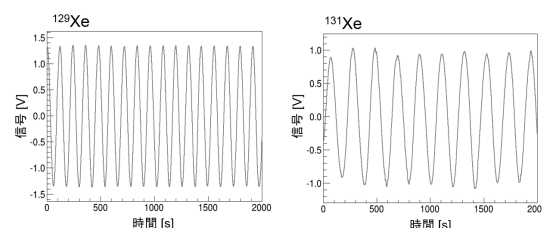


図4. $^{129}\text{Xe}/^{131}\text{Xe}$ 同時メーザー発振

(5) セル温度と光強度の安定化

周波数変動の要因となっている外部環境の変動低減を図った。

セルの長期温度変動は、Rb 数密度やレーザー吸収率の変化による Xe 偏極度の変化を通じメーザー周波数の不定性を生むため、PID 制御によるセル温度の安定化を行った。白金抵抗を用いて測定したセル近傍の温度を安定化するように制御器からヒーターへとフィードバック制御を行った結果、10,000 秒間の測定における温度の標準偏差として 0.0065 ± 0.0013 Kを得た。

レーザー光の強度変動も Xe 偏極度の変化を通じてメーザー周波数不定性の要因となるためこの安定化を行った。レーザー光の一部をピックアップし、この信号強度が一定となるようにコンピューター制御された回転可能な $\lambda/2$ 波長板とグランレーザー偏光子からなる強度安定化機構を用いて制御を行い、その結果10,000秒間の測定におけるレーザー強度の標準偏差としておよそ $1.7 \times 10^{-2}\%$ の安定度を得た。

(6) デジタル型帰還と強度固定帰還の導入

帰還磁場の位相は歳差信号から90度シフトさせる必要があるが、この角度が変動すると周波数引き込み効果によってメーザー周波数が変化する。この効果を抑制するために従来はアナログ回路を用いていた帰還磁場生成を、任意にプログラム可能なマイコンを用いたデジタル回路へと置き換えた。これによりアナログ回路で生じていた帰還磁場位相のふらつきが低減され、Xeにおいて観測された約14秒の横緩和時間を仮定した場合、その影響をおよそ0.7nHz程度まで低減することに成功した。加えて、デジタル回路における信号処理の利点を生かし、従来は観

測された歳差信号を参照していた帰還磁場信号の強度を一定とする「強度固定帰還」によるメーザー発振を導入した。この開発により、プローブレーザー光強度へのメーザー周波数依存性が低減されることを確認した。

(7) 信号強度の増強

安定したメーザー発振と周波数精度の向上には ^{129}Xe , ^{131}Xe 双方において高い信号雑音強度比を実現することが肝要であり、信号強度の増強を目的としてセルの開発を行った。特に ^{131}Xe においては壁や封入ガスとの四重極相互作用による緩和が懸念されたため、セル洗浄方法や封入ガス分圧について詳細な調査を行い、現在の実験条件において Xe 両核種で高い偏極度と長い緩和時間を実現するためには、硝酸によるセル洗浄が重要であること、 ^{129}Xe , ^{131}Xe , N_2 及び He ガスの分圧がそれぞれ 1 Torr, 25 Torr, 10 Torr 及び 200 Torr のときに ^{129}Xe , ^{131}Xe の高い偏極率と長い緩和時間が両立出来ることを見出した。

4. 研究成果

以上の研究より得られた結果を以下にまとめる。

^{131}Xe 共存磁力計法の確立

^{129}Xe EDM 実験において有利な共存磁力計として、EDM 測定対象核と同位体の関係にある ^{131}Xe を採用して ^{129}Xe と同時メーザー発振させ、磁場及び Rb 濃度変動の影響を ^3He 共存磁力計に比べて格段に高精度で除去する、 ^{131}Xe 共存磁力計の手法を確立した。測定条件変動抑制の高度化

メーザー周波数に様々な経路を通して変動を与えるとみられる、セル温度及びレーザー光強度に対して、ヒーターのフィードバック制御及び 1/2 波長板-偏光子光強度安定機構の導入によって安定化を行い、それぞれ約 100 倍、約 15 倍の安定性向上を実現した。

デジタル方式の帰還磁場生成

帰還磁場生成をデジタル化することにより帰還磁場位相のふらつきを 0.7 nHz まで低減した。また帰還磁場強度を一定に保つ運転が可能となり、プローブ光強度変動の影響が帰還磁場を固定しない場合の約 1/70 倍に低減された。

歳差信号 S/N 比の改善

歳差セルの内壁洗浄法と封入ガス分圧の詳細な調査によって、 ^{129}Xe の性能を保ちつつ、 ^{131}Xe 偏極率約 1%、緩和時間約 30 秒を得ることができた。

以上の結果から、能動帰還型核スピンメーザーの動作、特にその発振周波数変動を決める従来認識されていた要因の詳細・定量的な理解が格段に進み、各変動要因に対して相応の低減対策が実施できた。

一方、これらの結果を踏まえた総合性能測

定から、従来認識されていた要因以外にもう 1 つの変動機構が隠れていることを明らかにした。これは歳差観測に用いる Rb スピンが Xe 磁化に加えて帰還磁場にも応答する結果、帰還磁場と Xe 磁化の合成ベクトル方向を追従する現象で、検討の結果、歳差観測と帰還磁場印加を時間的に分離する「間欠帰還方式」によって除去できることが、プロトタイプを用いたテスト実験で明らかとなった。今後、この間欠帰還方式の本格的な導入を開始し、本研究の成果である ^{131}Xe 共存磁力計、外部条件の安定化技術、デジタル帰還方式および最適化された歳差信号と組み合わせることによって、目標とする 1nHz 以下の ^{129}Xe EDM 精密周波数測定を進めていく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文](計 24 件)

N. Yamanaka, B. K. Sahoo, N. Yoshinaga, T. Sato, K. Asahi and B. P. Das, “Probing exotic phenomena at the interface of nuclear and particle physics with the electric dipole moments of diamagnetic atoms: a unique window to hadronic and semi-leptonic CP violation”, Eur. Phys. J. A 53 (2017) 54 (49 pages). 査読有 DOI: 10.1140/epja/i2017-12237-2

T. Sato, Y. Ichikawa, K. Asahi, S. Kojima, C. Funayama, S. Tanaka, Y. Sakamoto, Y. Ohtomo, C. Hirao, M. Chikamori, E. Hikota, T. Furukawa, A. Yoshimi, C.P. Bidinosti, T. Ino, H. Ueno, Y. Matsuo, T. Fukuyama, “Development of ^{131}Xe co-magnetometry for Xe atomic EDM search”, Proc. Sci. INPC2016 (2017) 174 (6 pages). 査読有 https://pos.sissa.it/archive/conferences/281/174/INPC2016_174.pdf

A. Vogt, ..., E. Teruya, N. Yoshinaga, 他(88 名中 10 番目), “Isomers and high-spin structures in the $N = 81$ isotones ^{135}Xe and ^{137}Ba ”, Phys. Rev. C 95 (2017) 024316 (17 pages). 査読有 DOI: 10.1103/PhysRevC.95.024316

T. Fukuyama, “Twenty years after the discovery of μ - τ symmetry”, Prog. Theor. Exp. Phys. 2017 (2017) 033B11. 査読有 DOI: 10.1093/ptep/ptx032

T. Fukuyama, N. Okada, H.M. Tran, “Sparticle spectroscopy of the minimal SO(10) model”, Phys. Lett. B 767 (2017) 295-302. 査読有 DOI: 10.1016/j.physletb.2017.02.021

T. Fukuyama, K. Ichikawa, Y. Mimura, “Relation between proton decay and PMNS phase in the minimal SUSY SO(10) GUT”, Phys. Lett. B 764 (2017) 114-120. 査読有 DOI: 10.1016/j.physletb.2016.11.014

Takeshi Fukuyama, “Addenda to General Spin Precession and Betatron Oscillation in Storage Ring”, Mod. Phys. Lett. A32 (2017) 1791001. 査読有 DOI: 10.1142/S0217732317910011

K. Asahi, T. Sato and Y. Ichikawa, “EDMS of

closed-shell atoms: an example of Xe atom”, *Asian J. Phys.* 25 (2016) 1403-1412. 査読有
<http://asianjournalofphysics.in/content2/vol-25-2016/vol-25-no-10>
T. Inoue, T. Furukawa, A. Yoshimi, T. Nanao, M. Chikamori, K. Suzuki, H. Hayashi, H. Miyatake, Y. Ichikawa, M. Tsuchiya, N. Hatakeyama, S. Kagami, M. Uchida, H. Ueno, Y. Matsuo, T. Fukuyama, and K. Asahi, “Frequency characteristics of nuclear spin oscillator with an artificial feedback toward search for ^{129}Xe atomic electric dipole moment”, *Eur. Phys. J.* 70 (2016) 129 (10 pages). 査読有 DOI: 10.1140/epjd/e2016-70034-8
T. Fukuyama and K. Asahi, “Filling the gaps between model predictions and their prerequisites in electric dipole moments”, *Int. J. Mod. Phys. A* 31 (2016) 1650082 (18 pages). 査読有 DOI: 10.1142/S0217751X16500822
C. Funayama, T. Furukawa, T. Sato, Y. Ichikawa, Y. Ohtomo, Y. Sakamoto, S. Kojima, T. Suzuki, C. Hirao, M. Chikamori, E. Hikota, M. Tsuchiya, A. Yoshimi, C. P. Bidinosti, T. Ino, H. Ueno, Y. Matsuo T. Fukuyama, K. Asahi, “Performance assessment of a new laser system for efficient spin exchange optical pumping in a spin maser measurement of ^{129}Xe EDM”, *Hyperfine Interact.* 236 (2015) 59–64. 査読有 DOI: 10.1007/s10751-015-1203-3
T. Fukuyama, T. Momose, D. Nomura, “Anapole moment of a chiral molecule revisited”, *Eur. Phys. J. D* 69 (2015) 264 (10 pages). 査読有 DOI: 10.1140/epjd/e2015-60284-3
T. Sato, Y. Ichikawa, Y. Ohtomo, Y. Sakamoto, S. Kojima, C. Funayama, T. Suzuki, M. Chikamori, E. Hikota, M. Tsuchiya, T. Furukawa, A. Yoshimi, C.P. Bidinosti, T. Ino, H. Ueno, Y. Matsuo, T. Fukuyama, K. Asahi, “EDM measurement in ^{129}Xe atom using dual active feedback nuclear spin maser”, *Hyperfine Interact.* 230 (2015) 147-153. 査読有 DOI: 10.1007/s10751-014-1113-9
Y. Sakamoto, C.P. Bidinosti, Y. Ichikawa, T. Sato, Y. Ohtomo, S. Kojima, C. Funayama, T. Suzuki, M. Tsuchiya, T. Furukawa, A. Yoshimi, T. Ino, H. Ueno, Y. Matsuo, T. Fukuyama, K. Asahi, “Development of high-homogeneity magnetic field coil for ^{129}Xe EDM experiment”, *Hyperfine Interact.* 230 (2015) 141-146. 査読有 DOI: 10.1007/s10751-014-1109-5
C.P. Bidinosti, Y. Sakamoto, K. Asahi, “General Solution of the Hollow Cylinder and Concentric DC Surface Current”, *IEEE Mag. Lett.* 5 (2014) 0800304. 査読有 DOI: 10.1109/LMAG.2014.2330346
H. Nishihara, T. Fukuyama, “Simple neutrino mass matrix with only two free parameters”, *Mod. Phys. Lett. A* 29 (2014) 1450147 (6 pages). 査読有 DOI: 10.1142/S0217732314501478
T. Fukuyama, “Chiral molecules in the standard model”, *Mod. Phys. Lett. A* 29 (2014) 1450056 (13 pages). 査読有 DOI:

10.1142/S0217732314500564

N. Yoshinaga, K. Higashiyama, R. Arai, E. Teruya, *Phys. Rev. C* 89 (2014) 045501 (7 pages). 査読有 DOI: 10.1103/PhysRevC.89.045501

(他 6 件)

(学会発表) (計 44 件)

T. Sato, “Search for Xe atomic EDM using nuclear spin masers of xenon-129 and -131”, 9th Int. Workshop on Fundamental Physics Using Atoms (FPUA2017), 9-10 Jan. 2017, Kyoto, Japan.

T. Sato, Y. Ichikawa, ..., T. Furukawa, ..., H. Ueno, Y. Matsuo, T. Fukuyama, K. Asahi (計 18 名), “Development of ^{129}Xe and ^{131}Xe co-existing masers with external feedback for the search for Xe atomic EDM”, Int. Workshop on Phys. of Fund. Symm. and Int. (PSI2016), 16-20 Oct. 2016, Villigen, Switzerland.

K. Asahi, T. Sato, Y. Ichikawa, ..., T. Furukawa, ..., T. Fukuyama, H. Ueno, et al., (計 18 名), “Experimental search for electric dipole moment in a diamagnetic atom Xe”, Int. Workshop on Current Trends and Future Directions in Relativistic Many Electron Theories, 26-28 Sept. 2016, Tokyo, Japan.
T. Sato, Y. Ichikawa, ..., T. Furukawa, ..., H. Ueno, ..., T. Fukuyama, K. Asahi, (計 18 名), “Development of ^{131}Xe comagnetometry for Xe atomic EDM search”, 26th Int. Nuclear Phys. Conf. (INPC 2016), 11-16 Sept. 2016, Adelaide, Australia.

K. Yanase, N. Yoshinaga, E. Teruya, K. Higashiyama, “Neutrinoless double-beta decay rates around mass 80 in the nuclear shell model”, 26th Int. Nuclear Phys. Conf. (INPC 2016), 11-16 Sept. 2016, Adelaide, Australia.

N. Yoshinaga, E. Teruya, K. Higashiyama, “Schiff moments of Xe isotopes in the nuclear shell model”, 26th Int. Nuclear Phys. Conf. (INPC 2016), 11-16 Sept. 2016, Adelaide, Australia.

E. Teruya, N. Yoshinaga, K. Higashiyama, “Shell model calculation of nuclei around ^{208}Pb ”, 26th Int. Nuclear Phys. Conf. (INPC 2016), 11-16 Sept. 2016, Adelaide, Australia.

K. Asahi, T. Sato, Y. Ichikawa, ..., T. Furukawa, ..., H. Ueno, Y. Matsuo, T. Fukuyama, (計 18 名), “Isotope-differential measurement of Xe atomic EDM with a double-species spin maser, 8th Int. Workshop on Fund. Phys. Using Atoms (FPUA2015), 30 Nov. -1 Dec. 2015, Wako-shi, Saitama, Japan.

N. Yoshinaga, K. Higashiyama, E. Teruya, “Schiff moment of Xe isotopes”, 8th Int. Workshop on Fund. Phys. Using Atoms (FPUA2015), 30 Nov. -1 Dec. 2015, Wako-shi, Saitama, Japan.

旭耕一郎, “EDM 実験とその現状”, 基研研究会「素粒子物理学の進展 2015」, 2015 年 9 月 14 ~ 18 日, 京都大学基礎物理学研究所(京都市).

旭耕一郎, “EDM の実験的探索の現状”, 日本物理学会第 70 回年次大会(シンポジウム), 2015 年 3 月 21 ~ 24 日, 早稲田大学(東京).

市川雄一, “RI を用いた原子 EDM 探索に向けて”, RCNP 研究会 “CP Violation in Elementary Particles and Composite Systems”, 2014年11月10~11日, 大阪大学核物理研究センター(茨木市). C. Funayama, T. Furukawa, T. Sato, Y. Ichikawa, ..., H. Ueno, ..., T. Fukuyama, K. Asahi, (計19名), “Performance assessment of a new laser system for efficient spin exchange optical pumping in a spin maser measurement of ^{129}Xe EDM”, 6th Int. Conf. on Trapped Charged Part. and Fund. Phys. (TCP2014), 1-5 Dec. 2014, Takamatsu, Japan. K. Asahi, “Search for a permanent electric dipole moment in diamagnetic atom ^{129}Xe ”, RIKEN E3 Project (Pioneering Project: Extreme precisions to Explore fundamental physics with Exotic particles) Seminar, 31 Oct. 2014, RIKEN, Wako-shi, Japan. S. Kojima, T. Sato, Y. Ichikawa, ..., T. Furukawa, ..., H. Ueno, Y. Matsuo, T. Fukuyama, K. Asahi, (計18名), “Performance of an active nuclear spin maser with double-cell geometry”, 4th Joint Meeting of the Nucl. Phys. Div. Am. Phys. Soc. and Phys. Soc. Jpn (HAWAII 2014), 7-11 Oct. 2014, Hawaii, U.S.A. T. Sato, Y. Ichikawa, ..., T. Furukawa, ..., H. Ueno, ..., T. Fukuyama, K. Asahi, (計18名), “Progress of the ^{129}Xe EDM search using active feedback nuclear spin maser”, 4th Joint Meeting of the Nucl. Phys. Div. Am. Phys. Soc. and Phys. Soc. Jpn (HAWAII 2014), 7-11 Oct. 2014, Hawaii, U.S.A. Y. Ichikawa, T. Sato, ..., T. Furukawa, A. Yoshimi, C. P. Bidinosti, T. Ino, H. Ueno, Y. Matsuo, T. Fukuyama, K. Asahi, (計23名), “Experimental search for EDM in diamagnetic atom ^{129}Xe using active nuclear spin maser”, 4th Joint Meeting of the Nucl. Phys. Div. Am. Phys. Soc. and Phys. Soc. Jpn (HAWAII 2014), 7-11 Oct. 2014, Hawaii, U.S.A. Y. Sakamoto, C. P. Bidinosti, Y. Ichikawa, T. Sato, Y. Ohtomo, S. Kojima, C. Funayama, T. Suzuki, M. Tsuchiya, T. Furukawa, A. Yoshimi, T. Ino, H. Ueno, Y. Matsuo, T. Fukuyama, K. Asahi, “Development of high-homogeneity magnetic field coil for ^{129}Xe EDM experiment”, 5th Joint Int. Conf. on Hyperfine Int. and Symp. on Nucl. Quadr. Int. (HFI/NQI 2014), 21-26 Sept. 2014, Canberra, Australia. T. Sato, Y. Ichikawa, ..., T. Furukawa, ..., H. Ueno, ..., T. Fukuyama, K. Asahi, (計18名), “EDM measurement in ^{129}Xe atom using dual active feedback nuclear spin maser”, 5th Joint Int. Conf. on Hyperfine Int. and Symp. on Nucl. Quadr. Int. (HFI/NQI 2014), 21-26 Sept. 2014, Canberra, Australia. E. Teruya, K. Higashiyama, N. Yoshinaga, “Shell model estimate of electric dipole moments in medium and heavy nuclei”, 15th Int. Symp. on Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics, 25 Aug. 2014, Dresden, Germany.

⑳ T. Fukuyama, “Searching for new physics BSM in electric dipole moments – Lepton part”, 8th g-2/EDM Collaboration Meeting, 17 July 2014,

KEK, Tsukuba, Japan.

- ㉑ Y. Ohtomo, Y. Ichikawa, T. Sato, ..., T. Furukawa, ..., H. Ueno, Y. Mastuo, T. Fukuyama, and K. Asahi, (計22名), “Double-cell geometry for $^{129}\text{Xe}/^3\text{He}$ co-magnetometry”, 2nd Conf. on Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014), 1-6 June 2014, Tokyo, Japan.
- ㉒ T. Sato, Y. Ichikawa, ..., T. Furukawa, ..., H. Ueno, Y. Mastuo, T. Fukuyama, and K. Asahi, (計22名), “ ^{129}Xe EDM search experiment using active nuclear spin maser”, 2nd Conf. on Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014), 1-6 June 2014, Tokyo, Japan.

(他21件)

〔その他〕
ホームページ等 <http://ribf.riken.jp/~asahi/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

旭 耕一郎 (ASAHI, Koichiro)
国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器研究センター・客員主管研究員
研究者番号：80114354

(2) 研究分担者

市川 雄一 (ICHIKAWA, Yuichi)
国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器研究センター・研究員
研究者番号：20532089

佐藤 智也 (SATO, Tomoya)
国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器研究センター・基礎科学特別研究員
研究者番号：60780856

上野 秀樹 (UENO, Hideki)
国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器研究センター・主任研究員
研究者番号：50281118

福山 武志 (FUKUYAMA, Takeshi)
大阪大学・核物理研究センター・協同研究員
研究者番号：40167622

吉永 尚孝 (YOSHINAGA, Naotaka)
埼玉大学・理工学研究科・教授
研究者番号：00192427

古川 武 (FURUKAWA, Takeshi)
首都大学東京・理工学研究科・助教
研究者番号：30435680

高峰 愛子 (TAKAMINE, Aiko)
国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器研究センター・研究員
研究者番号：10462699