НАУЧНО-НАСТАВНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

ПРЕДМЕТ: Извештај Комисије за оцену испуњености услова и оправданост предложене теме за израду докторске дисертације

FOUR WAVE MIXING AND PROPAGATION OF LASER BEAMS THROUGH ATOMIC VAPOR

Након увида у достављени материјал, подносимо Научно-наставном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

Основни подаци о кандидату

Тахани Халифа (Tahani Khalifa) је рођена у Себрати у Либији 1985. године. Дипломирала је физику 2008. године у Триполију међу 10 најбољих студената у генерацији. Звање мастера је стекла 2012. на Универзитету у Београду.

Радови кандидата из области доктората

1. M.M. Ćurčić, T. Khalifa, B. Zlatković, I.S. Radojičić, A.J. Krmpot, D. Arsenović, B.M. Jelenković, M. Gharavipour, *Four-wave mixing in potassium vapor with off-resonant double-Λ system* Physical Review A **97** No. 6, 063851, 1 June (2018)

2. D. Arsenović, M.M. Ćurčić, T. Khalifa, B. Zlatković, Ž. Nikitović, I.S. Radojičić, A.J. Krmpot, B.M. Jelenković, *Slowing 80-ns light pulses by four-wave mixing in potassium vapor* Physical Review A, **98**, 023829 (2018)

О ТЕМИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Предмет истраживања

Широку област истраживања чини интеракција кохерентног електромагнетног зрачења са атомима. Од посебног интереса су обзиром на њихову разноврсност оптички нелинеарни феномени. У њих спадају електромагнетно индукована транспаренција, електромагнетно индукована апсорпција, тамна стања и сл. За разлику од њих квалитативно нова појава се појављује код процеса четвороструког мешања (four-wave mixing, FWM). Код њега поједини таласи простирући се кроз средину добијају на интензитету. Чак и више од тога нови модови се генеришу унутар самог гаса. У опису поставке који се проучава прецизирају се атомски нивои а затим парових тих нивоа, правих или виртуелних, међу којима кохерентно ЕМ зрачење изазива стимулисани пренос. Код процеса четвороструког мешања побуђивање три прелаза изазива генерисање четвртог таласа. Карактеризација овог процеса постоји за паре неких алкалних метала. Од интереса је то урадити за атом калијума код кога је хиперфино цепање основних нивоа неуобичајено мало за алкални метал.

Циљеви истраживања

Циљ истраживања је да се изврши карактеризација FWM у парама калијума у конфигурацији где постоји једна јака пумпа и слаба проба. Јака пумпа побуђује два прелаза између три одабрана атомска нивоа са јаком раздешености. Проба побуђује један прелаз који са једним који изазива пумпа чини двофотонски прелаз близак резонанци. У гасовитој фази калијума генерише се конјуговани талас који одговара четвртом прелазу. Задатак у тези је да се да одговор на неколико питања у вези особина FWM-а. Уколико је пумпа константна по снази појачање пробе и снага конјугованог таласа ће зависити од разних параметара. Потребно је проучити како та појачања зависе од раздешености пумпе, двофотонске раздешености, снаге пумпе, угла између пумпе и пробе и других параметара. Ако проба ради у импулсном режиму онда осим њене снаге важна особина је и дужина трајања импулса. Сада је задатак да се осим појачања опише и деформација импулса. Уколико је он гаусовског облика на почетку проба се може деформисати. Циљ је описати ширење и деформисање пробног пулса у зависности од преосталих параметара.

Методологија

У тези ће се теоријски опис FWM радити третирањем електромагнетног поља на класичан начин. Стање атома се описује квантно помоћу матрица густине. Његова динамика је задана Лиувиловом једначином којој су додати чланови који описују спонтану емисију и релаксацију. Додавањем спонтане емисије добија се Линдбладова једначина, док се чланови за релаксацију додају феноменолошки. За електромагнетно поље се користе Максвелове једначине у супстанцијалним срединама. Утицај атома се описује преко макроскопске поларизације која се рачуна помоћу средње вредности оператора положаја. Тако се добија систем са брзо осцилујућим члановима. Након апроксимације ротирајућег таласа (rotating wave approximation, RWA) долази се до Максвел-Блохових једначина које су почетна тачка за нумеричко добијање резултата у тези.

Преглед битније литературе релевантне за област истраживања

[1] V. Boyer, C. F. McCormick, E. Arimondo, and P. D. Lett, Ultraslow Propagation of Matched Pulses by Four-Wave Mixing in an Atomic Vapor, Physical Review Letters **99**, 143601 (2007).
[2] C. Shu, P. Chen, T. K. A. Chow, L. Zhu, Y. Xiao, M. M. T. Loy, and S. Du, Subnatural-linewidth biphotons from a Doppler-broadened hot atomic vapor cell, Nature Communications 7, 12783 (2016).
[3] D. Ding, Z. Zhou, B. Shi, X. Zou, and G. Guo, Generation of non-classical correlated photon pairs via a ladder-type atomic configuration: theory and experiment, Optics Express Vol. 20, Issue 10 pp. 11433-11444 (2012).
[4] A. Leszczyński, M. Parniak, and W. Wasilewski, Phase matching alters spatial multiphoton processes in dense atomic ensembles, Optics Express Vol. 25, Issue 1 pp. 284-295 (2017).
[5] K. Harada, K. Mori, J. Okuma, N. Hayashi, and M. Mitsunaga, Parametric amplification in an electromagnetically-induced-transparency medium Physical Review A 78, 013809 (2008).
[6] K. Harada, T. Kanbashi, M. Mitsunaga, and K. Motomura, Competition between electromagnetically induced transparency and stimulated Raman scattering, Physical Review A 73, 013807 (2006).
[7] C. F. McCormick, V. Boyer, E. Arimondo, and P. D. Lett, Strong relative intensity squeezing by four-wave mixing in rubidium vapor, Optics Letters, Vol. 32, Issue 2, pp. 178-180 (2007).
[8] M. T. Turnbull, P. G. Petrov, C. S. Embrey, A. M. Marino, and V. Boyer, Role of the phase-matching condition in nondegenerate four-wave mixing in hot vapors for the generation of squeezed states of light, Phys. Rev. A 88, 033845 (2013).

[9] A. Gaeta, M. Gruneisen, and R. Boyd, Theory of degenerate four-wave mixing in saturable absorbing media with the inclusion of pump propagation effects, IEEE Journal of Quantum Electronics 22, 1095 (1986).
[10] M. D. Lukin, P. R. Hemmer, M. Loffler, and M. O. Scully, Resonant Enhancement of Parametric Processes via Radiative Interference and Induced Coherence, Physical Review Letters 81, 2675 (1998).
[11] Q. Glorieux, R. Dubessy, S. Guibal, L. Guidoni, J. P. Likforman, T. Coudreau, and E. Arimondo, Double-Λ microscopic model for entangled light generation by four-wave mixing, Physical Review A 82, 033819 (2010).
[12] G. S. Agarwal, Quantum theory of nonlinear mixing in multimode fields: General theory, Physical Review A 34, 4055 (1986).
[13] P. Kolchin, Electromagnetically-induced-transparency-based paired photon generation, Physical Review A 75, 033814 (2007).
[14] B.Ai, D. S. Glassner, R. J. Knize, and J. P. Partanen, A thin atomic vapor as a nonlinear optical medium, Applied Physics Letters 64, 951 (1994).
[15] J. Okuma, N. Hayashi, A. Fujisawa, and M. Mitsunaga, Ultraslow matched-pulse propagation in sodium vapor, Optics Letters 34, 1654 (2009).
[16] Y.-F. Fan, H.-H. Wang, X.-G. Wei, A.-J. Li, Z.-H. Kang, J.-H. Wu, H.-Z. Zhang, H.-L. Xu, and J.-Y. Gao, Light storage via slow-light four-wave mixing, Physics Letters A 376, 785 (2012).
[17] R. M. Camacho, P. K. Vudyasetu, and J. C. Howell, Four-wave-mixing stopped light in hot atomic rubidium vapour, Nature Photonics 3, 103 (2009).
[18] N. B. Phillips, A. V. Gorshkov, and I. Novikova, Light storage in an optically thick atomic ensemble under conditions of electromagnetically induced transparency and four-wave mixing, Physical Review A 83, 063823 (2011).
[19] R. K. Hanley, P. D. Gregory, I. G. Hughes, and S. L. Cornish, Absolute absorption on the potassium D lines: theory and experiment, Journal of Physics B 48, 195004 (2015).
[20] J. D. Swaim and R. T. Glasser, Causality and information transfer in simultaneously slow- and fast-light media, Optics Express 25, 24376 (2017).

Научна област и матичност

Тема коју ће ова дисертација обрађивати припада научној области „Фотоника и ласери“, за коју је матичан Физички факултет Универзитета у Београду.

ЗАКЉУЧАК

На основу изнетог, Комисија закључује да кандидат Тахани Халифа, испуњава услове прописане Законом о Универзитету и Статутом Физичког факултета Универзитета у Београду за израду докторске дисертације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Физичког факултета да кандидату Тахани Халифи одобри израду докторске дисертације под називом „Four Wave Mixing and propagation of laser beams through atomic vapor“ и да за ментора одреди др Душана Арсеновића, научног саветника Института за физику у Београду.

др Душан Арсеновић, научни саветник
Институт за физику у Београду

др Милорад Кураица, редовни професор
Физичког факултета Универзитета у Београду

др Братислав Обрадовић,редовни професор
Физичког факултета Универзитета у Београду