

**Jauna tehnoloģija magnētiskā lauka un tā gradienta mērīšanai izmantojot
nanostrukturētu atomārās gāzes vidi
(Nr. 2010/0242/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/036)**

Projekta ietvaros paveiktais no 01.07.2011 līdz 31.10.2011.

1. Pētniecība

1.1. Laboratorijas iekārtas izveidošana, testēšana un optimālo eksperimentālo apstākļu piemeklēšana

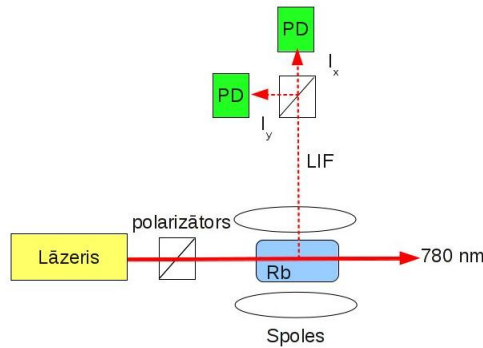
1) Tika turpināti magnetooptisko efektu pētījumi Rb atomu D2 līnijas ierosmē, realizējot līmeņu krustošanās rezonanses eksperimentu Rb atoma D2 līnijai.

Ierosinot rubīdija tvaikus ar lāzera starojumu, inducētā fluorescence ir atkarīga no uzliktā magnētiskā lauka lieluma. Šo atkarību sauc par magnetooptisko rezonansi, kas var būt tumša vai gaiša, atkarībā no tā, vai pie nulles magnētiskā lauka fluorescence ir minimāla vai maksimāla. Izmantojot šo atkarību, iespējams mērīt magnētisko lauku. Līmeņu krustošanas signāliem ir noteicošā loma magnētiskā lauka mērījumos, jo veidojas šauras rezonanses pie konkrētām magnētiskā lauka vērtībām, ne tikai pie nulles lauka.

Laboratorijas iekārtas izveidošana

Atšķirībā no iepriekš veiktajiem eksperimentiem, līmeņu krustošanas eksperimentos pie dotajām magnētiskā lauka vērtībām ir ļoti svarīga fluorescences starojuma polarizācija, tādēļ bija nepieciešams modificēt fluorescences mērīšanas iekārtu lai vienlaicīgi mērītu divas ortogonālas gaismas polarizācijas komponentes I_x un I_y , skat. 1. attēlu. Tika izgatavots mērīšanas modulis ar polarizējošo stara dalītāja kristālu un divām fotodiodēm. Iekārtā tika nokalibrēta.

Tika palielināts eksperimentos izmantojamais magnētiskais lauks, tādēļ vajadzēja veikt izmaiņas barošanas moduļa shēmā. Pēc izmaiņu veikšanas ir iespējams sasniegt magnētiskos laukus līdz pat 80 Gs.

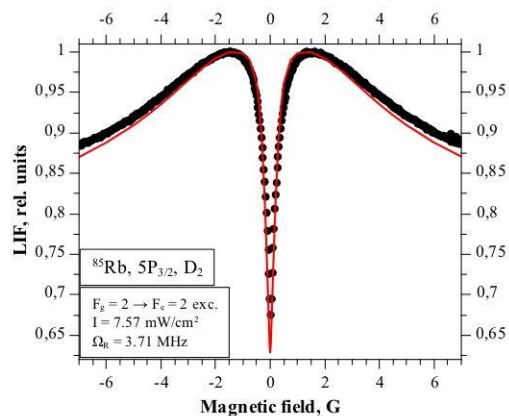


1. attēls. Eksperimentālās iekārtas shēma

Eksperimenta parametru piemeklēšana

Lai piemeklētu eksperimenta parametrus, tika uzņemti līmeņu krustošanās spektri pie dažādiem lāzera jaudas blīvumiem un pie dažādām atomārās supersīkstruktūras pārējām. Viena no eksperimentālām problēmām bija, ka strāva, ar kuru veidoja magnētisko lauku, ietekmēja reģistrēto signālu. Tika veikti dažādi pasākumi, lai novērstu šo ietekmi. Pilnībā ietekmi novērst neizdevās, bet veiktie pasākumi bija pietiekami, lai iegūtu kvalitatīvus signālus.

Viens no iegūtajiem signāliem parādīts 2. attēlā.



2. attēls. Magnetooptiskā rezonanse. Punkti attēlo eksperimentālos datus; līkne - teorētisko aprēķinu.

Metožu analīze

Tikai ar magnetooptiskajiem efektiem, kuri tiek pētīti šī projekta ietvaros, nepietiek, lai veidotu praktiski pielietojamu magnetometru, tādēļ turpinājās literatūras izpēte, lai gūtu pieredzi optimālas praktiskas iekārtas izveidei, izmantojot magnetooptiskus efektus, lai mērītu magnētisko lauku un tā gradientus. Tika apskatītas 3 galvenās metodes: gaismas amplitūdas modulācija, radiofrekvences modulācija un polarizācijas rotācija.

Pirmais mēģinājums notika ar gaismas amplitūdas modulāciju. Diemžēl, esošā fāzes jūtīgā vai *lock-in* pastiprinātāja joslas platums nebija pietiekams, lai mērītu Zemes lauku, tādēļ turpmāk jāizmanto mazāks lauks vai jāiegādājas cits pastiprinātājs. Šis ierobežojums neietekmēs radiofrekvences modulācijas metodi.

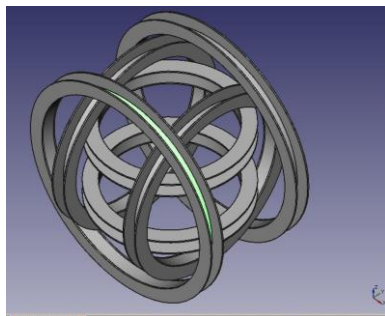
2) Lai piemeklētu optimālo eksperimentālo vidi, bez sārmu metālu atomu tvaikiem tika analizētas arī citas alternatīvas metodes, tajā skaitā apskatīti smagie elementi ar aizpildītām d -čaulām, kā arī NV centri (slāpekļa vakances) dimanta kristālos. Šie centri ir ļoti jūtīgi pret magnētisko lauku, un ir relatīvi vienkārši izveidot magnetometrus ar nanoizmēru telpisku izšķirtspēju. Projekta ietvaros tika mērīti magnētisko apakšlīmeņu sašķelšanās parametri D un E NV centros atkarībā no temperatūras, kā arī gatavoti eksperimenti NV centra jonizācijas enerģijas mērījumiem. Tika veikta NV centru klasifikācija un analīze.

3) Tika turpināts darbs pie stikla šūnu izpētes un to parametru analīzes, kā arī izturības pret sārmu metālu tvaiku vidi. Tika testēti kālija oksīdus saturoši stiklu paraugi dažādos temperatūras režīmos, kā arī analizētas jaunas metodes mikrometru izmēru šūnu izgatavošanai (tukšo šķiedru metode, fotolitogrāfiskās metodes, mikrometru izmēra kanālu kodināšanas metodes, u.c.)

4) Gatavojoties turpmākajiem laboratorijas iekārtas pilnveidošanas darbiem, veikta Helmholca spoļu tehnoloģijas izpēte un konkrēto vajadzību noteikšana. Helmholca spoles ļauj veidot ļoti vienmērīgu magnētisku lauku. Tehnoloģija nav jauna, un mūsu laboratorijā jau ir pieredze darbā ar Helmholca spolēm. Tomēr, realizējamajam projektam jāizvērtē: nepieciešamie Helmholca spoļu vajadzīgi, jānovērtē vajadzīgais magnētiskais lauks. Pēc analīzes nolemts, ka

iekšējās spoles izmēram jābūt 187 mm, bet laukam nav jāpārsniedz pārsniegt 50 Gs. Prasības barošanas blokam – tas spēj dot 50 V un 8 A. Tika analizēta iespēja izmantot ūdens dzesēšanu, bet nolemts no tās atteikties.

Paredzamais Helmholca spoļu izskats parādīts 3. attēlā.



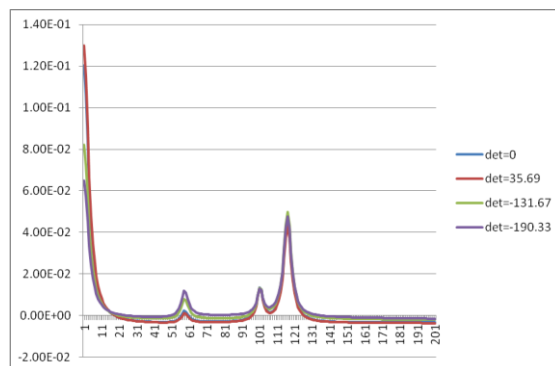
3. attēls. Helmholca spoļu iespējamā varianta 3D modelis.

1.3. Teorētiskā modeļa pilnveidošana un adaptācija eksperimentāliem apstākļiem

Lai efektus labāk izprastu un pareizi interpretētu, ir nepieciešams adekvāts teorētisks modelis. Pētot D2 līnijas ierosmi Rb tvaikos, tika novērotas signālu īpatnības, ar kurām bija iespējams pārbaudīt teorētisko modeli precīzāk, nekā bija iespējams līdz šim. Teorētiskais modelis paredzēja, ka konkrētas gaišās rezonanses pārveidojas par tumšām rezonansēm palielinot apstarojošo jaudu.

Eksperimenti saistībā ar magnetooptiskajiem efektiem Rb tvaikos pie D2 līnijas ierosmes lielā mērā tika pabeigti iepriekšējā kvartālā. Tomēr sakritība starp eksperimentālajiem datiem un teorētiskajiem aprēķiniem vēl nebija apmierinoša. Bija nepieciešams piemeklēt parametrus, kurus nevarēja mērīt, lai optimāli aprakstītu eksperimentālos datus. Starp šiem parametriem bija proporcionalitātes koeficients starp lāzera jaudas blīvumu un Rabi frekvenci, lāzera līnijas platums, kā arī caurlidošanas relaksācijas konstante atkarībā no lāzera stara diametra. Tika veikti aprēķini ar dažādiem parametru komplektiem, lai atrastu optimālos. Rezultāts parādīts 2. attēlā – sarkanā līkne ir teorētiskais aprēķins.

Tika veikti līmeņu krustošanas aprēķini, izmantojot teorētisko modeli pie dažādām Rabi frekvencēm. Rezultāti parādīti 4. attēlā.



4. attēls. Teorētiskā līmeņu krustošanas līkne.

2. Datorprogrammu izveide

2.1. Magnetooptisko signālu apstrādes algoritmu un programmu paketes izveide

Turpināts darbs pie matemātiskā modeļa un algoritmu izstrādes, izmantojot polinoma asimptotisko reprezentāciju un Freneļa tipa integrāli. Veikta eksperimenta kļūdu izplatīšanās analīze, izmantojot skaitlisko modeli, analītisko modeli, kā arī tiešo mērījumu kļūdu ietekmes novērtēšanas iespēju analīze. Papildus apskatīta tiešo mērījumu kļūdu ietekmes novērtēšana ar Montekarlo metodi.

Septembrī uzsākta programmēšanas platformas Fortran95 apgūšana un testa programmu rakstīšana.

2.2. Datorizētas eksperimenta vadības programmu izveide

Pētījumu gaitā notiek nepārtraukta eksperimenta vadības programmu uzlabošana un pilnveidošana.

Izmantojot Helmholca spoļu formulu, tika rēķināts magnētiskais lauks, nepieciešamās sprieguma un strāvas vērtības konkrētiem eksperimentālajiem mērķiem. Lai atvieglotu darbu, tika izveidota elektroniskā tabula (spreadsheet), kurā varēja ievadīt ģeometriskus parametrus, vada īpašības, strāvu un spriegumu, lai iegūtu magnētiskā lauka vērtību un jaudu. Tika izmēģināti daži varianti, lai atrastu optimālo, kas atbilst vajadzībām un iespējām.

Tika veidots Helmholca spoļu tehniskais projekts. Paredzams, ka Helmholca spoles būs īpašs pasūtījums, kam jāgatavo tehniskais projekts. Tā kā projektā nestrādā mehānikas inženieris, vienam no pētniekiem - fiziķiem bija jāapgūst darbs ar 3D CAD programmu. Tika izvēlēta FreeCAD, jo šī programmatūra ir pieejama bez maksas. Tika sagatavoti vairāki projekti, un modelis palīdzēja saskatīt iespējamās ģeometriskas problēmas, kas jānovērš pirms pasūtījuma veikšanas.

Arī eksperimentālo datu apkopošana un apstrāde notiek datorizēti, un nepārtraukti tiek uzlabotas un pilnveidotas pielietotās datorprogrammas.

4. Pētniecības rezultātu publiskas pieejamības nodrošināšana

Lai nodrošinātu pētniecības rezultātu publisku pieejamību:

- 1) ir izveidota projekta mājas lapa internetā (www.lu.lv/magn)
- 2) par pētījumu rezultātiem ziņots konferencē *43rd Congress of the European Group on Atomic Systems, Fribourg, Switzerland, June 28--July 2, 2011*;
- 3) žurnālā *Physical Review A* iesniegts manuskripts: M. Auzinsh, R. Ferber, I. Fescenko, L. Kalvans, and M. Tamanis, *Nonlinear magneto-optical resonances for systems with $J \sim 100$ observed in K_2 molecules*;
- 4) žurnālā *Physical Review A* iesniegts manuskripts par K_2 molekulu magnētismu;
- 5) 16.09.2011. Zēlļu ielā 8 tika rīkots seminārs par NV centriem, lai gūtu informāciju par šo jauno un interesanto iespēju.

Projekta vadītājs:

Prof. R. Ferbers

04.11.2011.