

2. félévi beszámoló

**Curko Árpád** (curko.arpad@wigner.mta.hu)

Statisztikus Fizika, Biológiai Fizika és Kvantumrendszerek Fizikája PhD program

Témavezető: Vukics András

A dolgozat címe: Kvantumos fény-anyag kölcsönhatás

## 1. Bevezetés

Kutatásunk alapját továbbra is a rezonátorban csapdázott hideg atomok és fény kölcsönhatása során keltett egyfoton optikai szálba történő begyűjtésének vizsgálata képezi.

Tudva, hogy a becsatolás egy közbeiktatott paraxiális optikai rendszer révén valósul meg, kiindulási pontunk az előző félévben az egyes atomok dipólsugárzásainak felösszegzéséből származó elektromos tér átfedése a  $\mathbf{k}_G$  hullámszámmal és  $w_0$  nyalábnyakkal jellemzett Gauss-módussal. Továbbá eljutottunk az átfedési integrál Fourier-térbeli alakjáig, tudva, hogy ezen reprezentációban a pontszerű töltés dipólsugárzásából adódó divergencia kezelhetővé válik.

## 2. Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése

A számolások elvégzése során azonban világossá vált, hogy a bevezetett  $\mathbf{k}$ -térbeli integrál nem használható az átfedés jellemzésére, mivel sem a Gauss-módus sem pedig a dipólsugárzás nem megfelelően normált. Így ezzel egy nem triviálisan megoldható problémához jutottunk, helyette más megközelítést kerestünk.

A kisugárzott elektromágneses tér  $a_{\mathbf{k}}$  amplitúdójú módusaiból kivesszük azokat a  $b_k$  módusokat, melyek be vannak csatolva az optikai szálba, ezzel a  $k$  hullámszám egy dimenziós sokaságához jutunk. Az optikai szálba begyűjtött  $I(t)$  foton rátát pedig megkapjuk a  $b_k$  amplitúdók abszolút érték négyzetének a  $k$  módusokra vett felösszegzéséből.

### Egyatomos forrás

A Gauss-optikát a szabad térben lévő egyetlen atomra fókuszáljuk, és optimalizáljuk a mikrohullámú rezonátor és a meghajtó lézer hatására kibocsájtott sugárzás becsatolását az optikai szálba. Az  $I(t)$  számolásánál az energiamegmaradással ekvivalens eredményre jutunk, a legnagyobb járulékot akkor kapjuk, ha a Gauss-módus  $\omega$  frekvenciája megegyezik a besugárzó terek frekvenciáinak összegével. Ezt követően már csak a  $w_0$  nyalábnyak marad, mint hangolható paraméter. A foton ráta  $1/w_0^2$ -től való függéséből viszont látszik, hogy a becsatolás hatékonysága a nyaláb fókuszálásával növelhető. A továbbiakban a többatomos esetben megjelenő interferencia tag hatását vizsgáltuk.

### Többatomos forrás

Bose-Einstein-kondenzátumot (BEK) tekintve, a többatomos forrás által keltett sugárzás  $I_N(t)$  intenzitása kifejezhető az egyatomos  $I_1(t)$  foton ráta segítségével, figyelembe véve az  $f_k(\mathbf{r})$  módus függvényt és az alapállapothoz tartozó  $\phi(\mathbf{r})$  kondenzátum hullámfüggvényt tartalmazó interfencia tagot:

$$I_N(t) = I_1(t)N^2 \left| \int dV f_k(\mathbf{r}) |\phi(\mathbf{r})|^2 \right|^2.$$

Hengerszimmetrikus csapdát feltételezve, és elhanyagolva az atomok közötti kölcsönhatást a kondenzátum hullámfüggvény a harmonikus oszcillátor alapállapotával adható meg, a  $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$  és  $\sigma_z$  oszcillátor hosszak mellett (a  $Oz$  tengely iránya megegyezik az optikai száléval). Az eredmények kiértékelésénél láttuk, hogy minden kondenzátum mérethez tartozik egy nem triviális, optimális nyalábnyak. Ez abból származtatható, hogy a  $w_0$  növelésével az atomi felhő átfedése a nyalábbal fokozatosan csökken. Az ellentétes  $w_0 \rightarrow 0$  határeset a  $z_R$  Rayleigh-hossz csökkenéséhez vezet, aminek következtében a megnövekedett Guoy-fázis viszont elrontja a becsatolás hatékonyságát. Továbbá az egyre kisebb  $\sigma_z$  longitudinális kondenzátum méret lesz a kedvező, az ezzel együtt eltűnő Guoy-fázis miatt.

Az előző számolás csak a kis sűrűségű limeszben helytálló, hiszen az atomokat nemkölcsönható bozonokként kezeltük. A nagy sűrűségű esetben viszont már nem helyes a rögzített  $N$  atomok száma mellett az atomi felhőt normál eloszlásúnak tekinteni. A Thomas-Fermi kondenzátum hullámfüggvényre lenne szükségünk, a számolások megkönnyítése érdekében viszont a következő egyszerűsítéssel élünk. Megtartjuk a Gauss-eloszlást, az  $N$  helyett ellenben a sűrűség  $\rho_0$  maximumát tartjuk rögzített értéken. Ezen átparaméterezés után a következő eredményekre jutottunk. Az optimális  $w_0$  hasonló, mint a kis sűrűségű esetben, az atomi felhő longitudinális méretétől való függés viszont eltérő. Kis  $\sigma_z$  értéknél a becsatolás is kicsi, mivel a rögzített sűrűség mellett a transzverzális irányú méret nagy, így a nyaláb csak kis felületen érintkezik a kondenzátummal. A  $\sigma_z$  növelésével a foton ráta is növekedni fog, bizonyos méret fölött azonban szaturálódik a Guoy-fázis jelenléte miatt. Jelenlegi számolásunk erre összpontosul, hogyan ellensúlyozhatnánk ezen destruktív hatást.

A félév munkájának egy részét az eddigi eredményekből születő publikációnk megírása is kitette, reményeink szerint minél hamarabb beküldésre kerül.

### 3. Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben

Az első félévben az alábbi kurzusokon vettem részt:

- FIZ/3/025E Csapdába zárt atomi rendszerek I.
- FIZ/3/050E Soktestprobléma II.