

## آرایه‌ای دوبعدی از آهنرباهای دایمی مربعی برای اتم‌های فراسرد و چگاله‌های بوز -

### اینشتین

پروین کریمی ، سعید قنبری

زنجان، دانشگاه زنجان، دانشکده‌ی علوم، گروه فیزیک

**چکیده** - شبکه‌های مغناطیسی دایمی با استفاده از یک یا چند آرایه از بره‌های مغناطیسی دایمی ایجاد می‌شوند و می‌توانند برای به دام‌اندازی، کنترل و دست‌کاری اتم‌های فراسرد و چگاله‌های بوز-اینشتین به کار روند. در این مقاله، ما با استفاده از آرایه‌ای از بره‌های مغناطیسی مربعی یک شبکه‌ی ساده را معرفی و با در نظر گرفتن یک میدان مغناطیسی خارجی ثابت دلخواه بررسی می‌کنیم. در گذشته این‌گونه شبکه‌های مغناطیسی بدون در نظر گرفتن مولفه‌ی Z میدان خارجی مطالعه شده‌اند. عبارت‌های تحلیلی و نتایج عددی برای مختصات و اندازه‌ی کمینه‌ی میدان مقایسه می‌شوند.

## A 2D array of square permanent magnets for ultracold atoms and Bose-Einstein condensates

Parvin Karimi and Saeed Ghanbari

Department of Physics, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan

**Abstract**- Permanent magnetic lattices are created using one or several arrays of permanent magnetic slabs and can be used for trapping, controlling and manipulating ultracold atoms and Bose-Einstein condensates. Here, using one array of square magnetic slabs, we introduce a simple lattice and, considering an arbitrary bias magnetic field, investigate it. Previously, such magnetic lattices have been studied without including the z component of the external field. Analytical expressions and numerical results for the coordinates and minima of the magnetic field modulus are compared.

### ۱- مقدمه

شبکه‌های اپتیکی متناوب، شبکه‌هایی هستند که با تداخل نور لیزر به منظور دستکاری، کنترل و محدود کردن اتم‌های فراسرد با استفاده از چگالش بوز-اینشتین ایجاد می‌شوند [۱]. یک رویکرد دیگر در ایجاد شبکه‌های متناوب برای به دام انداختن اتم‌ها، به کار بردن آرایه‌های متناوب ۲ بعدی ساخته شده از میکروتله‌های مغناطیسی است که با استفاده از آهنرباهای دایمی و اعمال میدان خارجی ایجاد می‌شوند [۲ و ۳]. یکی از کاربردهای عملی این ساختارها، در ساخت کامپیوترهای کوانتومی آینده است که باعث سرعت بخشیدن به پردازش اطلاعات در حجم‌های بالا می‌شوند. از مزایای شبکه‌های مغناطیسی دایمی این است که به میزان کردن نور لیزر برای به دام اندازی اتم نیازی نیست. همچنین در این شبکه‌ها مشکلاتی همچون عدم همدوسی یا پراکندگی به دلیل گسیل خودبخودی وجود ندارد [۱]. هدف از این مقاله، آرایه‌ی یک شبکه‌ی مغناطیسی مربعی، مطابق شکل ۱، است. آرایه‌ی نشان داده شده در مرجع [۳] که به آرایه‌ی مرجع [۴] شباهت دارد ولی با آن یکی نیست، قبلاً

برای به دست آوردن جواب‌های تحلیلی برای دسته‌ای از شبکه‌های مغناطیسی دایمی استفاده ولی به عنوان یک شبکه‌ی مغناطیسی معرفی نشده بود. در ضمن در تمام شبکه‌های مغناطیسی که تاکنون معرفی شده‌اند به دلیل سختی حل معادلات تحلیلی مولفه‌ی Z میدان مغناطیسی حذف شده بود. ما در اینجا مولفه‌ی Z را نیز برای کنترل بیشتر میکرو تله‌ها در نظر خواهیم گرفت.

## ۲- شبکه‌های مغناطیسی

شبکه‌های مغناطیسی، آرایه‌های متناوبی هستند که برای به دام‌اندازی، دست‌کاری و کنترل ابرهایی از اتمهای فراسرد و همچنین گازهای کوانتومی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای ساخت این آرایه‌ها، از موادی همچون  $Tb_6Gd_{10}Fe_{80}Co_4$  استفاده می‌شود. این فیلمها، خواص مغناطیسی بسیار خوبی مانند مغناطش دایمی را از خود نشان می‌دهند [۲ و ۳]. شبکه‌های مغناطیسی را می‌توان در ساختارهایی یک تا سه بعدی ایجاد کرد. در ساختارهای یک بعدی، فیلم‌های مغناطیسی که دارای شیارهایی موازی با یک دوره‌ی تناوب مشخص هستند، استفاده می‌شوند. ساختارهای دو بعدی، از دو ردیف شیار یا آرایه-هایی از آهنرباهای مربعی یا فیلم‌هایی دارای حفره‌های مربعی ساخته می‌شوند [۴-۲].

## ۳- آرایه‌ای از آهنرباهای مربعی

این شبکه از یک آرایه از آهنرباهای مربعی تشکیل می‌شود که یک میدان خارجی با مولفه‌های  $B_{1x}$ ،  $B_{1y}$  و  $B_{1z}$  بر آن اعمال می‌شود. شکل ۱ این ساختار را نشان می‌دهد. در مرجع [۲] معادلات تحلیلی مربوط به مولفه‌های میدان ناشی از آهنرباها به-اضافه‌ی میدان خارجی در غیاب مولفه‌ی Z میدان خارجی، ارایه شده‌اند و بر اساس آنها مکان کمینه‌ها و اندازه‌ی میدان مغناطیسی در این کمینه‌ها به همراه پارامترهای دیگری به طور تحلیلی و عددی بررسی شده‌اند. بر اساس محاسبات ما اندازه-ی میدان کمینه برابر مقدار زیر است. همچنین مختصات کمینه‌ی مرکزی به شکل زیر به دوره‌ی تناوب شبکه،  $a$ ، و همینطور مولفه‌های میدان خارجی بستگی دارد. کمینه‌های دیگر با دوره‌ی تناوب  $a$  در راستاهای  $x$ ،  $y$  و  $z=z_{min}$  قرار دارند.

$$B_{min} = \left( \left( \frac{B_{1x} - B_{1y}}{2} \right)^2 + B_{1z}^2 \right)^{1/2} \quad (1)$$

$$x_{min} = \frac{a}{2\pi} \text{Arc tan} \left( \frac{B_{1x} - B_{1y}}{2B_{1z}} \right) \quad (2)$$

$$y_{min} = a \left( \pi - \frac{2\pi}{a} x_{min} \right) / 2\pi \quad (3)$$

$$z_{min} = \frac{a}{2\pi} \text{Ln} \left( \frac{-2B_{0x}(B_{1x} - B_{1y})}{(B_{1x} + B_{1y})((B_{1x} - B_{1y})^2 + 4B_{1z}^2)} \right) \quad (4)$$

## ۴- مقایسه‌ی نتایج تحلیلی با جوابهای عددی

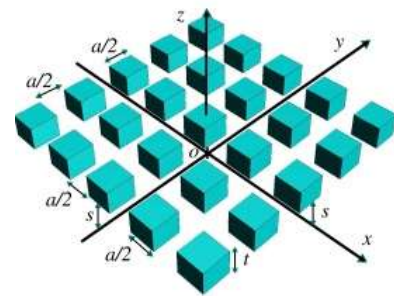
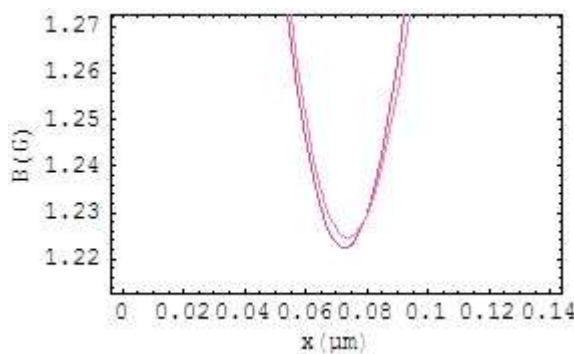
برای انجام محاسبات عددی، یک آرایه‌ای مربعی را با  $1001$  در  $1001$  بره را در نظر گرفته‌ایم. دوره‌ی تناوب  $a = 1 \mu\text{m}$ ، ضخامت  $t = 0.3 \mu\text{m}$  و  $B_{1x} = -1.50\text{G}$  و  $B_{1y} = -0.5\text{G}$  در نظر گرفته شدند. با فرض مقادیر  $B_{1x}$  و  $B_{1y}$  در معادلات تحلیلی اندازه‌ی میدان جبرانی  $B_{1z}$  را برای به حساب آوردن اثر لبه‌ها (محدودیت اندازه‌ی شبکه) در محاسبات عددی بدست آوردیم که برابر با  $B_{1z} = -0.39\text{G}$  است. به این نکته توجه داریم که در محاسبات اولیه  $B_{1z} = 0\text{G}$  برای معادلات تحلیلی فرض شده است. در ادامه، برای بررسی و مقایسه‌ی جوابهای تحلیلی و عددی،  $B_{1z} = -1.39\text{G}$  برای محاسبات عددی و  $B_{1z} = -1.0\text{G}$  برای

حالت تحلیلی در نظر گرفته شد. برای هر دو حالت اندازه‌ی کمینه‌ی میدان  $B_{\min}=1.22\text{G}$  به دست آمد. در جدول ۱ مختصات نقطه‌ی کمینه و کمینه اندازه‌ی میدان نشان داده شده‌اند.

جدول ۱: مقایسه‌ی جوابهای تحلیلی و عددی

پارامتر	تحلیلی	عددی
$B_{\min}(\text{G})$	۱,۲۲	۱,۲۲
$X_{\min}(\mu\text{m})$	۰,۰۷۳	۰,۰۷۳
$Y_{\min}(\mu\text{m})$	۰,۴۲۶	۰,۴۲۶
$Z_{\min}(\mu\text{m})$	۱,۲۲	۱,۲۲

مطابق شکل ۲ اندازه‌ی میدان مغناطیسی در  $Z=Z_{\min}$  و  $Y=Y_{\min}$  بصورت تابعی از  $x$  نشان داده شده است که نمودارهای تحلیلی و عددی سازگاری خوبی دارند.



شکل ۲: نمودار اندازه‌ی میدان مغناطیسی به صورت تابعی از  $x$  در

شکل ۱: آهنرباهای دوبعدی

$$Z=Z_{\min} \text{ و } Y=Y_{\min}$$

## ۵- نتیجه گیری

در این مقاله آرایه‌ای از بره‌های مغناطیسی مربعی برای ایجاد یک شبکه‌ی مغناطیسی دوبعدی ساده معرفی و اثر یک میدان خارجی برای کنترل بیشتر میکرو تله‌ها بررسی شد. به این ترتیب راه برای در نظر گرفتن میدان‌های مغناطیسی خارجی دیگری که می‌توانند باعث کج شدن آرایه‌ی میکروتله‌ها شوند، باز شده است.

## ۶- مراجع

- [1] PETHICK C. J, SMITH H. "BOSE-EINSTEIN CONDENSATION IN DILUTE GASES" Second Edition, Cambridge University Press, 2008.
- [2] Ghanbari. S, Kieu. T.D, Sidorov. A and Hannaford. P, **J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.** 39, 847 2006.
- [3] Ghanbari. S, Kieu. T.D, Sidorov. A and Hannaford. P, **J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.** 40, 1283 2007.
- [4] Ghanbari. S, Abdalrahman. A, Sidorov. A and Hannaford. P, Journal of Physics B Atomic, Molecular & Optical Physics 2014.