Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LI, вып. 3, 1970 г.

ПРОСТАЯ ФОКУСИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО ПУЧКА

А. Н. Беседина, В. Л. Федоров

Наиболее известной фокусирующей системой для пучка парамагнитных атомов является шестиполюсный магнит [1—6]. Однако конструкция и технология его изготовления сравнительно сложны. В настоящей статье предлагается сравнительно простая в конструктивном отношении магнитная фокусирующая система (см. рисунок). Она состоит из нескольких кольцевых магнитов, расположенных последовательно и разделенных полюсными наконечниками. Магнитное поле системы обладает аксиальной симметрией.

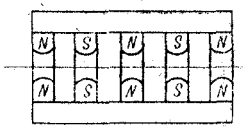


Схема магнитной фокусирующей системы

Как известно, магнитное поле в области, где отсутствуют электрические токи, может быть описано потенциалом U, подчиняющимся уравнению Лапласа,

$$\Delta U = 0, \quad \vec{H} = -\operatorname{grad} U. \tag{1}$$

Для аксиально-симметричного поля уравнение Лапласа в цилиндрической системе координат с осью z, совпадающей с геометрической осью магнитной системы, имеет вид

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial\left(\rho\frac{\partial U}{\partial \rho}\right)}{\partial \rho} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0, \tag{2}$$

Решением уравнения (2) является модифицированная функция Бесселя мнимого аргумента I_0

$$U(\rho, z) = C\cos kz I_0(k\rho) = C\cos kz \sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{k\rho}{2}\right)^{2n}\frac{1}{(n!)^2}, \quad (3)$$

где C — постоянная; k — величина, обратная пространственному периоду магнитной системы, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ (может быть любым положительным числом).

При выполнении условия $k \ll \frac{2}{\rho}$ достаточно рассмотреть два первых члена ряда. Это условие накладывает ограничение на величину пространственного периода магнитной системы $\lambda \gg \pi\rho$. Магнитный потенциал в этом приближении примет вид

$$U = C\cos kz\left[1 + \left(\frac{k\rho}{2}\right)^2\right]. \quad (4)$$

Сила, действующая на парамагнитный атом, определяется выражением

$$\vec{F} = -\operatorname{grad}\vec{\mu}\vec{H},$$

где $\vec{\mu}$ — магнитный момент атома.

Для магнитного поля, описываемого потенциалом (4), радиальная составляющая силы запишется

$$F_\rho = B_\rho \frac{\Phi(z)}{\sqrt{(k\rho)^2\Phi(z) + 4[\Phi(z) - 1]}}, \quad (5)$$

где $B = \frac{1}{2}C\mu k^3$; $\Phi(z) = 1 + \sin^2 kz$.

Из выражения (5) следует, что силовое поле имеет необходимую для фокусирующей системы структуру при выполнении добавочного условия

$$4[\Phi(z) - 1] \gg (k\rho)^2\Phi(z) \quad (6)$$

или при

$$z \gg \frac{\rho}{2}.$$

Отсюда следует, что для параксиального пучка магнитное поле является фокусирующим, за исключением областей вблизи полюсных наконечников, которые занимают сравнительно небольшой объем по сравнению с объемом всего фокусирующего магнитного поля и поэтому не являются определяющими. Таким образом, магнитная система не является безаберрационной, но аберрации сравнительно невелики.

Предложенная магнитная фокусирующая система выгодно отличается от известных конструктивной простотой. Однако в ней трудно достичь таких градиентов поля, как в шестиполюсном магните, поэтому ее целесообразно применять в тех случаях, когда конструктивная простота является решающим требованием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корсунский М. И., Фогель Л. М. О фокусировке молекулярного пучка неоднородным магнитным полем. Ж. эксперимент. и теорет. физики, т. 21, 1951.
2. Каминский Н. Д. Оптические свойства магнитов, фокусирующих молекулярный пучок. Ж. техн. физики, т. 35, 1965.
3. Щеглов В. А. Использование кольцевого конденсатора для сортировки молекул в молекулярном генераторе. Изв. ВУЗов, радиофиз., т. 4, 1961.
4. Крупнов А. Ф. Кольцевая сортирующая система для молекулярного генератора. Изв. ВУЗов, радиофиз., т. 2, 1959.
5. Frieburg H. Z. ang. Phys., Bd 130, 1951.
6. Becker G. A. Z. ang. Phys., Bd 15, 1963.