

МЕТОДИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ

533.224

СВОБОДНЫЙ ПОДВЕС ДИАМАГНИТНЫХ ТЕЛ В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

При изучении явления диамагнетизма чаще всего демонстрируются опыты по выталкиванию диамагнитных тел из постоянного магнитного поля. Например, метод Фарадея заключается в том, что стержень из диамагнитного вещества (висмута или графита), подвешенный горизонтально на тонкой нити, устанавливается в межполюсном пространстве электромагнита перпендикулярно к направлению магнитного поля¹. Другой демонстрацией по диамагнетизму является выталкивание из межполюсного пространства электромагнита висмутового или графитового шара, подвешенного на одном из плеч уравновешенных весов¹.

Предлагаемая ниже установка позволяет демонстрировать свободный подвес диамагнитных тел в постоянном магнитном поле. Возможность такого подвеса была доказана в 1939 г. Браунбеком², который осуществил свободный подвес кусочков графита в виде стерженьков весом до 75 мг в поле электромагнита со специальными полюсными наконечниками³.

Сила F , действующая в магнитном поле с индукцией B на диамагнитное тело единичного объема с относительной магнитной проницаемостью μ_r , определяется величиной

$$F = -\frac{1 - \mu_r}{2\mu_0} \frac{\partial B^2}{\partial z}.$$

Тело может свободно висеть в поле тяжести при условии, что

$$F \geq \rho g \quad \text{или} \quad \frac{\partial B^2}{\partial z} \geq \frac{2g\mu_0\rho}{1 - \mu_r},$$

где $\frac{\partial B^2}{\partial z}$ — градиент квадрата индукции в вертикальном направлении, g — ускорение силы тяжести, μ_0 — магнитная проницаемость вакуума, ρ — плотность тела.

Из твердых диамагнитных материалов наименьшее значение $\rho/(1 - \mu_r)$ имеет графит ($2,3 \cdot 10^7$ кг/м³), что и определяет его выбор в качестве подвешиваемого тела.

Для графита необходимо $\frac{\partial B^2}{\partial z} \geq 5,7 \cdot 10^2$ тл²/м. В сильных магнитных полях ($B \approx 2 - 3$ тл) неоднородности такого порядка могут быть реализованы только на малых расстояниях, что ограничивает линейные размеры подвешенных тел величинами порядка сантиметров⁴.

Подвес будет устойчив в вертикальном и горизонтальном направлениях, если конфигурация лимит-индукции поля имеет вид рюмки, а диамагнитное тело — форму шара или цилиндра. Реализация такого поля была осуществлена с помощью электромагнита с полюсными наконечниками довольно простой формы.

Конструкция электромагнита схематически дана на рис. 1. Ядро электромагнита 1 и его центральный сердечник 2 диаметром 40 мм изготовлены из малоуглеродистой стали. Намагничивающая обмотка 3 намотана на дюралевый каркас и содержит 1200 витков провода прямоугольного сечения $2,5 \times 1,5$ мм² в стеклянной изоляции. Спротивление обмотки постоянному току равно 1,67 ом. Обмотка рассчитана на ток 8 а, позволяя кратковременно доводить его до 24 а. К верхнему торцу центрального сердечника 2 привертывается полюсный наконечник 4 с постепенно уменьшающимся сечением из железа «армко». На нижнем конце сердечника 2 нанесена резьба для накидной гайки 7, при помощи которой можно менять его положение по вертикали. Винт 6 служит для его фиксирования. Верхний наконечник 5 представляет собой пластину с цилиндрическим отверстием посередине.

Описанный электромагнит позволяет осуществить свободный подвес сферических и цилиндрических роторов из электроэрозионного графита весом до 0,98 и 3,8 г соответственно, что во много раз превышает вес тел, подвешенных Браунбеком.

Для демонстрации свободного подвеса лучше всего подходит сферический ротор весом 0,48 г (\varnothing 8,3 мм), который свободно парит в межполюсном пространстве электромагнита при потребляемой магнитной мощности 140 Вт. В этом опыте: отверстие в верхнем наконечнике равно 9,8 мм, наименьший диаметр нижнего наконечника 7,0 мм; расстояние по вертикали между наконечниками 2,5 мм. Индукция у поверхности нижнего наконечника достигает 1,42 тл.

При такой же потребляемой мощности можно осуществить свободный подвес цилиндрического ротора диаметром 17,4 мм и высотой 6,7 мм, весом 2,55 г. В этом случае: отверстие в верхнем наконечнике равно 18,3 мм, наименьший диаметр нижнего наконечника 13,3 мм, расстояние по вертикали между наконечниками 1,2 мм.

На рис. 2 приведена фотография полюсных наконечников электромагнита со свободно висящим в магнитном поле сферическим ротором. На рисунке видно отверстие в верхнем полюсном наконечнике, в котором устойчиво висит (не касаясь стенок) над нижним наконечником

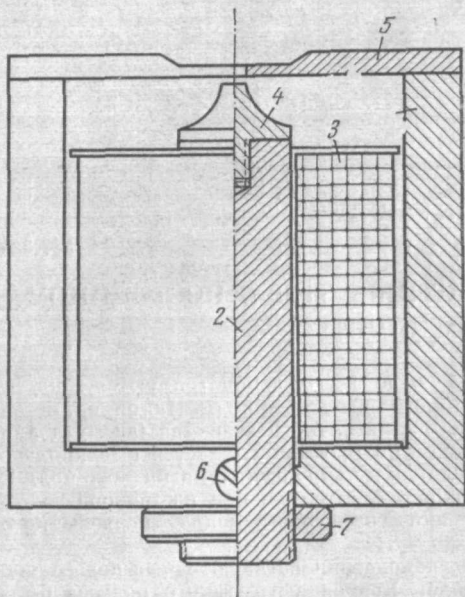


Рис. 1.

сферический ротор \varnothing 8,3 мм. При изменении величины тока через обмотку электромагнита от 0 до 24 а можно менять высоту подвеса ротора над нижним наконечником от 0 до 1,5 мм. Подвешенный ротор может быть приведен во вращение внешним

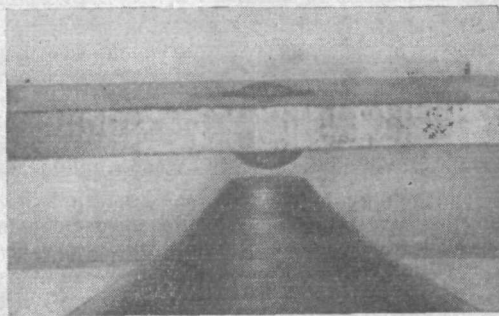


Рис. 2.

вращающимся магнитным полем с частотой несколько оборотов в секунду. После выключения вращающегося поля ротор длительное время вращается по инерции. То же самое можно осуществить при подвесе цилиндрического ротора.

Свободный подвес графитовых роторов можно демонстрировать непосредственно, а также в теневой проекции на экран.

Пермский государственный университет
им. А. М. Горького

В. М. Понизовский

ЛИТЕРАТУРА

1. Лекционные демонстрации по физике под ред. В. И. Ивероновой, М., «Наука», 1965.
2. W. Braunbeck, Zs. Phys. 112, 753 (1939).
3. W. Braunbeck, Zs. Phys. 112, 764 (1939).
4. A. N. Voerdijk, Philips Res. Rept. 11, 45 (1956).