Лабораторная работа 3.1.3

«Измерение магнитного поля Земли»

Выполнила: Прохорова Юлия

Б04-906

МФТИ, 2020

**Цель:** определить характеристики шарообразных неодимовых магнитов и, измерить горизонтальную и вертикальную составляющие магнитного поля Земли и магнитное наклонение.

**Оборудование:** несколько одинаковых неодимовых магнитных шариков, тонкая нить, медная проволока, весы, секундомер, измеритель магнитной индукции, штангенциркуль, брусок из немагнитного материала, деревянная линейка, штатив из немагнитного материала, неодимовые магниты, набор гирь и разновесов.

**Теоретическая часть:**

Простейший магнитный диполь может быть образован витком с током или постоянным магнитом. По определению, магнитный момент витка площадью S с током I равен:

,

где c - скорость света в вакууме, - вектор площади контура, образующий с направлением тока правый винт. Если размеры контура малы по сравнению с расстоянием до него, то магнитный диполь называют точечным.

Магнитное поле точечного диполя определяется по формуле:

В магнитном поле с индукцией на точечный магнитный диполь действует механический момент сил:

Под действием момента сил виток вращается так, чтобы его магнитный момент вы-

строился по направлению вектора магнитной индукции. В магнитном поле магнитный

диполь обладает энергией:

В неоднородном магнитном поле на диполь действует сила:

Зная магнитные моменты и двух небольших постоянных магнитов можно рассчитать силу их взаимодействия. Если = = направлены вдоль одной соединяющей их прямой, а расстояние между ними равно r, то магниты взаимодействуют с силой:

Магниты притягиваются, если магнитные моменты сонаправлены, и отталкиваются,если они направлены противоположно.

Для нас важно, что неодимовые шары намагничены однородно и вещество, из которого они изготовлены, магнитожёстко. Магнитное поле такого шарика на расстояниях, больших радиуса шарика, совпадает с полем точечного диполя. При этом шар ведет себя как жесткий диполь. Полный магнитный момент шарика определяется намагниченностью вещества, из которого он изготовлен:

где V - объем шарика.

Можем посчитать индукцию магнитного поля на полюсах:

Величину магнитного момента одинаковых шариков можно рассчитать, зная их массу

и максимальное расстояние, на котором они еще удерживают друг друга в поле тяжести.

При максимальном расстоянии сила тяжести шариков равна силе их магнитного притяжения:

По величине магнитного момента можно рассчитать величину индукции магнитного

поля вблизи любой точки на поверхности шара. Найдем поле на полюсах:

Также можем найти магнитный момент шариков, если измерить максимальную массу,

которую они могут удержать. Так как сила притяжения убывает как : F ∼ , для рас-

счета достаточно использовать взаимодействие трех-четырех ближайших шариков. Сила

сцепления двух ближайших шариков диаметром d равна , то минимальный

вес цепочки, при которой она оторвется от верхнего шарика, равен:

Таким образом, сила сцепления двух шаров равна:

**Измерение поля Земли:**

Горизонтальная составляющая поля Земли измеряется по периоду крутильных колебаний магнитной стрелки вокруг вертикальной оси.

Магнитная стрелка образована из сцепленных друг с другом противоположными полюсами шариков и с помощью Λ-образного подвеса подвешена в горизонтальном положении.

Под действием вращательного момента

магнитный момент стрелки выстроится вдоль горизонтальной составляющей магнитного поля. Пренебрегая упругостью нити, найдем M = −sinΘ, действующий на стрелку. При малых углах уравнение колебаний стрелки имеет вид:

Период таких колебаний равен

где - полный магнитный момент стрелки. Момент инерции стрелки можно примерно считать как момент инерции для стержня.

Таким образом, период колебаний окончательно равен

Вертикальная составляющая магнитного поля Земли измеряется с помощью угла магнитного наклонения. В поле Земли стрелка, подвешенная за центр масс, будет отколнятся от положения горизонтали. Ее можно уравновесить дополнительным моментом сил, создаваемым массой и плечом . Тогда из уловия равновесия:

где - вертикальная составляющая поля Земли.

**Ход работы:**

1. Измерим массу шариков и их диаметр.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | m, г | d, мм |
| 1 | 0,489 | 4,8 |
| 2 | 0,485 | 4,8 |
| 3 | 0,483 | 5,0 |
| 4 | 0,484 | 4,7 |
| 5 | 0,486 | 4,9 |
| 6 | 0,490 | 4,9 |
| среднее | 0,486 | 4,9 |

Таблица 1. Измерения параметров шарика

Метод А:

1. Померяем расстояние, на котором шарики еще удерживаются в полк силы тяжести
2. Пользуясь условием равновесия находим теперь магнитный момент шарика на полюсе:
3. Также индукцию магнитного поля можно найти с помощью магнитометра.

Метод В:

1. Для использования второго метода измеряем максимальную массу груза, который сможет удержать цепочка из шариков.

|  |  |
| --- | --- |
| Количество шариков | 28 |
| Масса груза, г | 343,610 |

Таблица 2.

1. Измерим горизонтальную составляющую поля Земли. Для этого соберем крутильный маятник и измерим период колебаний при разных количествах шариков на подвесе.

|  |  |
| --- | --- |
| n | T, c |
| 3 | 0,7 |
| 4 | 0,8 |
| 5 | 1 |
| 6 | 1,3 |
| 7 | 1,4 |
| 8 | 1,8 |
| 9 | 1,8 |
| 10 | 1,9 |
| 11 | 2,2 |
| 12 | 2,4 |

Таблица 3. Зависимость периода кручения от количества шариков

Рис. 1 Зависимость периода кручения от количества шариков

T(n)=n

1. Найдем
2. Измерение вертикальной составляющей поля Земли:
3. Меряем вертикальную составляющую индукции магнитного поля Земли из момента сил, действующих на стрелку магнитных шариков.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| n | M |  |
| 12 | 120,2 |  |
| 10 | 115 |  |
| 8 | 88,7 |  |
| 6 | 79 |  |
| 4 | 51 |  |
|  |  |  |

Таблица 4. Зависимость момента сил от количества шариков

Рис. 2 Зависимость момента сил от количества шариков

A = 9,25

1. 0,53 Гс

0,7Гс

**Вывод**: в результате работы мы измерили величину индукции магнитного поля Земли и величину магнитного наклонения. Получили: 0,7Гс

. Значения близки к табличным в пределах погрешности.