

УДК 528.34

Напряженность и потенциал гравитационного поля Земли

Борисенко П. В., группа НЗш-182,
Лавряшина Т. В., к.ф.-м.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева
г. Кемерово

Определение характеристик гравитационного поля Земли имеет большое практическое значение для науки и техники. В курсе Научно-образовательного центра прединженерной подготовки КузГТУ «Науки о Земле» обсуждаются основы физики Земли, её строение, необходимые в геологии и геодезии. Гравитационное поле – фундаментальное физическое поле – *особый вид материи*, посредством которого осуществляется взаимодействие тел.

Для характеристики величины и направления силового поля тяготения в конкретной точке поля вводят векторную величину, называемую напряжённостью, и скалярную энергетическую характеристику этой точки – потенциал, так как каждой точке поля соответствует определённое значение потенциальной энергии, которой обладает в этом поле материальный объект [1]:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}, \text{ измеряется в } \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad \varphi = \frac{W_p}{m}, \text{ измеряется в } \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}.$$

Гравитационное поле Земли в предположении её сферической формы графически изображается с помощью силовых линий (линий напряжённости), радиально сходящихся к центру Земли (см. рис), и эквипотенциальных поверхностей (проектируются на плоскость в виде окружностей).

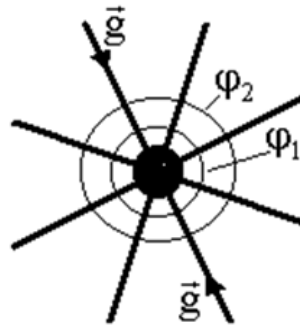


Рис. Графическое изображение поля тяготения тела сферической формы

Это неоднородное поле, число силовых линий на единицу поверхности неодинаково. Связь силовой и энергетической характеристики такого поля имеет вид:

$$\vec{g} = -grad\varphi, \quad (1)$$

где градиент скалярной величины φ характеризует её наибо́льшее изменение в радиальном направлении. Однако для малых по сравнению с площадью поверхности Земли её участков, кривизной поверхности этих участков можно пренебречь и учитывать изменение потенциала только в вертикальном направлении. Тогда в проекции на ось Z можно записать:

$$g_z = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta z}, \quad (2)$$

где Δz – изменение, например, высоты точки над поверхностью Земли.

Вертикальную составляющую напряжённости гравитационного поля Земли измеряют гравиметрами, один из которых CQ-5 Auto Grav.

Для решения задачи по расчёту разности потенциалов двух точек гравитационного поля, отстоящих от поверхности Земли на расстоянии h , необходимо было изготовить прибор – альтиметр [2]. Принцип действия этого прибора основан на использовании барометрической формулы, являющейся следствием распределения Больцмана, учитывающем изменение концентрации молекул в поле тяготения. Собранный нами из простейших комплектующих деталей автономное устройство на Arduino – высотомер – работает больше суток от батарейки типа АА. В приборе использовался модуль барометра BMP-280, отображение значений измеряемой величины осуществлялось на OLED экране. Приборная погрешность определения высоты при использовании собранного нами устройства величина порядка $\pm 0,5$ м.

Из соотношения (1), связывающего вектор напряжённости гравитационного поля с быстротой изменения потенциала в выбранном направлении, следует, что вектор напряжённости направлен в сторону убывания потенциала. Поскольку вектор \vec{g} направлен к центру Земли (см. рисунок), то с увеличением высоты h потенциал φ точек поля будет уменьшаться. По формуле (2), зная теоретическое значение g_z величины напряжённости гравитационного поля в данной местности (широта г. Кемерово $\sim 55^\circ$) и измеряя с помощью сконструированного прибора координату z , определим разность потенциалов двух выбранных точек этого поля:

$$\Delta\varphi = g_z \Delta z.$$

При расчёте теоретического значения напряжённости гравитационного поля, равного ускорению силы тяжести, учитывалась поправка на суточное вращение Земли [3]:

$$g_z = G \frac{M}{R^2} \left(1 - \frac{\omega^2 R^3 \cos^2 \varphi}{GM} \right) = 9,817 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Расчёты разности потенциалов двух точек гравитационного поля, одна из которых взята на поверхности, а другая – на расстоянии 14 м от неё в условиях проведённого нами эксперимента дают значение в СИ:

$$\Delta\varphi = (137,4 \pm 0,5) \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}.$$

Способы измерения и описания гравитационного поля Земли применяются в гравиметрах, использующихся при поисках месторождений полезных ископаемых, при составлении карт, в гидрологии и почвоведении.

Список литературы

1. Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие для инж.-техн. специальностей вузов / Т. И. Трофимова. – 14-е изд., стереотип. – Москва : Академия, 2007. – 560 с.

2. [https://geektimes.mirtesen.ru/blog/43247995546/Samodelnyiy-elektronnyiy-altimetr-variometr-pischalka-\(3.3-volto\)](https://geektimes.mirtesen.ru/blog/43247995546/Samodelnyiy-elektronnyiy-altimetr-variometr-pischalka-(3.3-volto)).

3. Савельев, И. В. Курс физики : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по техн. и технолог. направлениям и специальностям : в 3 т. Т. 1 : Механика. Молекулярная физика. – 4-е изд., стереотип. – Санкт-Петербург : Лань, 2008. – 352 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=509