

Determination of acceleration of free fall with the help of a physical pendulum

Andreeva N.¹, Baranova J.², Kozlova E.³, Kornejchuk M.⁴,

Martynova N.⁵, Prazina E.⁶ (Russian Federation)

Определение ускорения свободного падения с помощью физического маятника
Андреева Н. В.¹, Баранова Я. Ю.², Козлова Е. Р.³, Корнейчук М. А.⁴, Мартынова Н.
С.⁵, Празина Е. А.⁶ (Российская Федерация)

¹Андреева Наталья Владимировна / Andreeva Natal'ja – кандидат физико-математических наук, доцент;

²Баранова Яна Юрьевна / Baranova Jana – студент,

³Козлова Екатерина Романовна / Kozlova Ekaterina – студент;

⁴Корнейчук Мария Александровна / Kornejchuk Marija – студент;

⁵Мартынова Наталья Сергеевна / Martynova Natal'ja – студент;

⁶Празина Екатерина Алексеевна / Prazina Ekaterina – студент;

кафедра городского кадастра и инженерных изысканий,

архитектурно-строительный институт,

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород

Аннотация: в данной статье рассмотрены способы определения ускорения свободного падения маятниковым методом. Проанализированы два основных метода определения g : с использованием физического и оборотного маятников, с описанием их достоинств и недостатков. Опытным путем (с использованием физического маятника) получено значение ускорения свободного падения, рассчитана его относительная погрешность.

Abstract: this article describes the various methods for determining the acceleration of gravity pendulum method. We analyzed two basic methods of determining g : using physical and working pendulums, describing their advantages and disadvantages. Empirically (working with a pendulum) is obtained value of the acceleration of free fall, he calculated the relative error.

Ключевые слова: ускорение свободного падения, маятник, момент инерции, физический маятник.

Keywords: acceleration due to gravity, pendulum, the moment of inertia, compound pendulum.

Ускорение свободного падения g , — ускорение, придаваемое телу в вакууме силой тяжести, то есть геометрической суммой гравитационного притяжения планеты (или другого астрономического тела) и сил инерции, вызванных её вращением. В соответствии со вторым законом Ньютона, ускорение свободного падения равно силе тяжести, действующей на объект единичной массы [1, 5]. Экспериментально установлено, что ускорение свободного падения не зависит от массы падающего тела. При этом оно зависит от географической широты местности и высоты h подъема над земной поверхностью (эллипсоидальная форма земной поверхности; вращение вокруг своей оси) [2, 5, 6].

Существует множество экспериментальных способов определения ускорения свободного падения (математический маятник, пружинный маятник, физический маятник, метод Атвуда и другие). Широкое распространение получили маятниковые способы. Маятниковые измерения - относительный метод, позволяющий определить ускорение силы тяжести между гравиметрическими пунктами. Он основан на наблюдении свободных колебаний одного и того же маятника на разных гравиметрических пунктах. Независимость результатов измерений, независимость от продолжительности гравиметрического рейса и независимость от сложности гравитационного поля, а так же точность измерений являются преимуществами данных методов [3, 6]. Физический маятник - это твердое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания вокруг неподвижной горизонтальной оси, проходящей через точку O , не совпадающую с центром масс C [4, 5]. При отклонении этого тела от положения равновесия на угол φ также возникает вращающий момент, стремящийся вернуть маятник в положение равновесия, его проекция на ось z : $M_z = -mgd \sin\varphi$, где m – масса тела; d – расстояние от оси вращения z до центра масс C . При малых колебаниях угол φ мал, тогда можно принять $\sin\varphi \approx \varphi$. Применив уравнение динамики вращательного движения $M_z = \frac{J d_2 \varphi}{dt^2}$, получим дифференциальное уравнение гармонических колебаний физического маятника: $\frac{J d_2 \varphi}{dt^2} = -mgd \varphi$ или $\frac{d_2 \varphi}{dt^2} + \left(\frac{mgd}{J}\right) \varphi = 0$. Сравнив это уравнение с уравнением колебаний материальной точки $\frac{d_2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0$, выражаем период физического маятника: $T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgd}} = 2\pi \sqrt{\frac{l_{пр}}{g}}$, где $l_{пр} = J/md$ – приведенная длина физического маятника [3, 4].

Использование произвольных физических маятников удобно для нахождения отношений значений g в различных точках поля тяготения, но при определении самого значения g возникает трудность точного определения момента инерции маятника, что исключается в методе оборотного маятника, т.к. в его расчетных формулах отсутствует величина момента инерции маятника J_0 . Так как экспериментально

достаточно сложно выбрать точки (сопряженные) так, чтобы $T_1 = T_2$ (с точностью $0,2 \div 0,3$ с), то для повышения точности можно использовать теорему Штейнера, на основании которой конечная формула определения ускорения свободного падения будет выглядеть так: $g = \frac{4\pi^2 l_{\text{пр}}}{T_0^2}$, где $l_{\text{пр}}$ - расстояние между выбранными точками на маятнике, а $T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2} \approx T_1 \approx T_2$ [4]. В ходе эксперимента при 50 малых колебаниях и $l_{\text{пр}} = 0,230$ м было проведено несколько серий измерений, в результате которых получено среднее значение ускорения свободного падения $g_{\text{ср}} = 9,852944 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 9852944 \text{мГал}$ с относительной погрешностью $\Delta g_{\text{ср}} = \pm 0.1125367 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 1125367 \text{мГал}$. Таким образом, было установлено, что значение $g_{\text{теор}} = 9.80665 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 980665 \text{мГал}$ (ускорение свободного падения на уровне моря и широте 45°), которое принято за фундаментальное, входит в доверительный интервал экспериментально полученного значения ускорения свободного падения $9.7404073 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \leq g_{\text{ср}} \leq 9.9654807 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Литература

1. Куликов К.А. Изменяемость широт и долгот / К.А. Куликов «Гос. изд-во физико-математической литературы» - М., 1962.
2. Перервенко Э.О., Андреева Н.В. Ускорение свободного падения на поверхности земли [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scienceforum.ru/2014/553/1810> (дата обращения 12.12.2015)
3. Андреева Н. В., Баранова Я. Ю., Козлова Е. Р., Корнейчук М. А., Мартынова Н. С., Празина Е. А. Определение ускорения свободного падения маятниковым способом [Электронный ресурс] URL: <http://today.science-publish.ru> (дата обращения 19.12.2015)
4. [Электронный ресурс] URL: <http://physics.tsu.tula.ru/bib/lab/3/lab5-meh.pdf> (дата обращения 18.12.2015)
5. Суточное изменение ускорения свободного падения / А.Н. Петренко, Н.В. Андреева // Физика конденсированного состояния: материалы XXI международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Гродно, 18-19 апреля 2013г.)/ ГрГУ им. Я. Купалы [и др.]; редкол.: Г.А. Хацкевич (гл. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2013. С.211-213.
6. Интеграция гравиметрии с задачами геодезии и геофизики / Андреева Н.В., Зимина Д.А., Панченко П.А., Потапова А.С., Сорокоум Д.В., Фомина Н.Ю., Юнусов А.Д. // Материалы VI международной научно-практической конференции 21 век: фундаментальная наука и технологии, 20-21 апреля 2015г. North Charlesron, USA, Том 2, С. 139-142.