

## Как измерить высоту с помощью барометра.

Сначала содержание истории по Calandra, A. 1968. "Angels on a Pin: A Modern Parable" Saturday Review, 21 December

[www.lhup.edu/~dsimanek/angelpin.htm](http://www.lhup.edu/~dsimanek/angelpin.htm)

Однажды Александр Каландра (Alexander Calandra) (1911–2006, профессор физики в Университете Вашингтона, Сайнт-Луис, Миссури) был приглашен разрешить спор на экзамене: студент настаивал на отличной оценке, а преподаватель считал, что он не знает физику.

Вопрос звучал так: Как измерить высоту небоскреба с помощью барометра.

Ответ студента: Поднимитесь на верхнюю точку здания с барометром, привяжите его к длинной веревке и опустите его, чтобы он коснулся земли. Длина веревки будет высотой здания.

- Это безусловно полный и абсолютно верный ответ, - сказал Каландра. - Но высший балл по физики предполагает знание и использование физических законов, поэтому вы подумайте о другом ответе с учетом этого.

Через пять минут перед студентом лежал все еще чистый лист бумаги и Каландра спросил, не знает ли

**ОН ОТВЕТ.**

- Знаю, но пытаюсь выбрать лучший из всех ВОЗМОЖНЫХ.

Лучшим был назначен следующий: подойти с барометром на край здания и бросить его вниз. Засечь время полета с помощью секундомера. Если понимать фразу "бросить его вниз" как просто отпустить барометр, не придавая ему начального ускорения, то высота здания рассчитывается по формуле  $h = 1/2 * g t^2$ .

Физические законы в ответе были использованы, преподаватель удовлетворен, а студент получил свою оценку.

- А вы не могли бы остановиться на других способах, которые вы упомянули при ответе, заинтересовался Каландра.

- Для примера, сказал студент, вы можете в солнечный день поставить барометр рядом со зданием и измерить длину его тени. Также надо измерить длину тени здания и, зная высоту барометра, можно с помощью пропорции вычислить высоту здания.

Другой способ: подниматься по лестнице и отмечать на стене метки в длину барометра. Затем вы считаете количество меток и умножаете на длину барометра. Вот вам и высота здания.

Если вы хотите более сложный метод, вы можете привязать небольшую веревку к барометру и, раскачивая его как маятник, измерить значение ускорения свободного падения  $g$  на земле и на верхней точке здания. Разница между этими величинами позволит вычислить высоту здания.

Но лучшим способом будет пойти к управляющему зданием и сказать: господин управляющий, вот прекрасный барометр. Он ваш, если вы скажете высоту здания. Управляющий посмотрит на проект здания и станет владельцем барометра.

Каландра спросил, а что, вы не знаете классический метод определения высоты путем измерения разности давления?

- Конечно же я знаю этот метод, но это же стандартный ответ.

Эссе впервые была опубликовано Александром Каландра (Alexander Calandra) (1911–2006), профессором физики в Университете Вашингтона, Сэнт-Луис, Миссури в 1959г. в журнале *Pride* (PR ассоциация американских колледжей).

Каландра утверждает, что она произошла с ним лично и ведет повествование от первого лица. Эту же историю относят также к числу легенд МТИ (MIT), а также нашлись люди, которые слышали ее в 1943г.

Другие легенды считают, что студентом был Нильс Бор (Niels Bohr)(1885-1962)(НПФ-1922), а

экзаменатором Эрнест Резерфорд (Ernest Rutherford) (1871-1937)(НПХ-1908), а история произошла в Университете Копенгагена. Однако известно, что степень PhD Бор получил в 1911г. Вряд ли Бор сдавал экзамены после получения степени. Резерфорд в это время работал в Канаде и не мог принять участие в экзаменовке даже по телефону, так как телефонной связи между континентами в то время еще не было.

Классический способ - измерить давление на вершине здания и на уровне земли. По разнице давлений можно определить высоту. Однако какая разность давлений будет между землей и вершиной здания? Позволит ли точность барометра определить ее?

Плотность воздуха 1,3 кг на кубический метр.

Плотность ртути 13500 кг на кубический метр.

Больше примерно в 10000 раз.

Если высота здания 10 м, разница в давлении составит вес воздуха в этих 10 м, который будет скомпенсирован 1 мм ртути в барометре.

Например, погрешность барометра-анероида М-110 составляет 1.5 мм ртутного столба.

<http://medprom.ru/medprom/394387>

Таким образом, данный способ имеет больше теоретическое значение и требует значительной высоты здания. Вот если бы здание было в высоту 100 метров, тогда погрешность будет процентов 15. Поэтому важно, что вопрос стоит о высоте небоскреба, а не простого здания.

Однако, здесь не учтен такой фактор, как воздушные потоки, влажность и т.п. и другие, которые влияют на давление и не позволяют точно измерить высоту здания. Все-таки самые лучшие способы с веревкой и тенью. Правда в условиях нет наличия веревки (попробуйте быстро найти веревку в несколько десятков метров), а для тени требуется солнечный день.

Также не отмечен способ поэтажного измерения: с помощью барометра измерить высоту одного этажа и умножить на число этажей. Для большей точности можно измерить первый и последний этажи отдельно.

Отметим, что для нас важно не теоретическое использование физических законов, а возможность практической реализации методов оценки, поэтому способ ставить метки, прикладывая барометр к стене, может рассматриваться наравне со всеми прочими.

1. Calandra, A. 1968. "Angels on a Pin: A Modern Parable" Saturday Review, 21 December; online на: <http://www.unz.com/print/SaturdayRev-1968dec21-00060/?View=PDF>

**Angels on a Pin**



By ALEXANDER GALANDRA

**S**OME time ago, I received a call from a colleague who asked if I would be the referee on the grading of an examination question. He was about to give a student a zero for his answer to a physics question, while the student claimed he should receive a perfect score and would if the system were set up against the student. The instructor and the student agreed to submit this to an impartial referee, and I was selected.

I went to my colleague's office and read the examination question: "How long is a possible to determine the height of a tall building with the aid of a barometer?"

The student had answered: "Take the barometer to the top of the building, attach a long rope to it, lower the barometer to the street, and then bring it up, measuring the length of the rope. The length of the rope is the height of the building."

I pointed out that the student really had a strong case for full credit, since he had answered the question completely and correctly. On the other hand, if full credit were given, it could send a message to a high grade for the student in his physics course. A high grade is supposed to certify competence in physics, but not to confirm this. I suggested that the student have another try at answering the question. I was not surprised that my colleague agreed, but I was surprised that the student did.

I gave the student ten minutes to answer the question, with the warning that his answer should show some knowledge of physics. At the end of five minutes, he had not written anything. I asked if he wished to give up, but he said no. He had many answers to this problem, he was just thinking of the best one. I excused myself for interrupting him, and asked him to please go on. In the next minute, he dashed off his answer which read:

"Take the barometer to the top of the building and lean over the edge of the roof. Drop the barometer, timing its fall with a stopwatch. Then, using the formula  $S=ut+at^2/2$ , calculate the height of the building."

At this point, I asked my colleague if he would give up. He conceded, and I gave the student almost full credit.

In hearing my colleague's offer, I recalled that the student had said he had other answers to the problem, so I asked him what they were. "Oh, yes," said the student. "There are many ways of getting the height of a tall building with the aid of a barometer. For example, you could take the barometer out on a sunny day and measure the height of the barometer, the length of its shadow, and the length of the shadow of the building, and by the use of a simple proportion, determine the height of the building."

"Fine," I said, "and the others?"

"Yes," said the student. "There is a very basic measurement method that you will like. In this method, you take the barometer and begin to walk up the stairs. As you climb the steps, you mark off the height of the barometer along the wall. You then count the number of marks, and this will give you the height of the building in barometer units. A very direct method."

"Of course, if you were a more sophisticated method, you can tie the barometer to the end of a string, swing it as a pendulum, and determine the value of  $g$  at the street level and at the top of the building. From the difference between the two values of  $g$ , the height of the building, in principle, be calculated."

Finally he concluded, there are many other ways of solving the problem. "Probably the best," he said, "is to take the barometer to the basement and knock on the superintendent's door. When the superintendent answers, you speak to him as follows: 'Mr. Superintendent, here I have a fine barometer. If you will tell me the height of this building, I will give you this barometer.'

At this point, I asked the student if he really did not know the conventional answer to the question. He admitted that he did, but said that he was not yet with high school and college instruction trying to teach him how to think, to use the "scientific method," and to require the deep inner logic of the subject in a pedantic way, as is often done in the very pedantic, rather than teaching him the structure of the subject. With this in mind, he decided to revive substitution as an academic task to challenge the Sputnik-punked classrooms of America.

18/December 21, 1968

Alexander Galandra is a member of the department of physics at Washington University, St. Louis, Missouri. His article is excerpted from his book, *The Teaching of Elementary Science and Mathematics*, to be published May 1, 1970 by ACCE Reporter, 838 Woodcock Drive, Ballwin, Missouri 63011.

## 2. Wikipedia: Barometer question:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Barometer\\_question](https://en.wikipedia.org/wiki/Barometer_question)

3. А. Кэлэндра (США). Вверх по лестнице с барометром. //Комс пр., 1969 (ссылка не проверена)

## 4. The Barometer Problem//Snopes:

<https://www.snopes.com/fact-check/the-barometer-problem>

5. Calandra A. Angels on a Pin. //AICHE Jornal 15 no. 2, 1969, p.13. (excerpted from *The Teaching of Elementary Science and Mathematics*, ACCE Reporter, Ballwin, Missouri, 1969).

6. Намер Л. А теперь - дискотека! //Химия и жизнь. №12. 2016.

<http://www.hij.ru/read/issues/2016/december/6310/>

Здесь предлагается рассмотреть множество способов, найти ошибки и определить точность этих методов.

7. Мухин2011: Мухин Ю. Тирания тупости. - СПб: Питер, 2011. - 288с. - Тираж 4000.

Ученые должны знать свое место.  
[Мухин2011,с.144-147]

8. Гратцер2011: Гратцер У. Эврики и эйфории. Об ученых и их открытиях. - Пер. с англ. Б.Козловского. - М: Колибри, Азбука-Аттикус, 2011. - 656с. - Доп. тираж 3000. Ориг. назв.: Walter Gratzer: Eureka and Euphories. The Oxford Book of Scientific Anecdotes. 2002.

Как найти высоту дома с помощью барометра  
[Гратцер2011,с.127-129].

9. Ашкинази:Метрология.2018: Ашкинази Л.А. Очень общая метрология, или Метрологический взгляд на физику, технику, социологию и психологию. - Изд. стереотип.- М: Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2018. - 250с.

Приложение 3. [Ашкинази:Метрология.2018,с.237-240]

10. Срезневский Б. Инструкция для определения высот помощью барометрических наблюдений. - СПб: тип. Имп. Акад. наук, 1891.