Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

С. Парновский, “Не забудьте про часы!”, *Квант*, 2021, номер 8, 25–27

DOI: <https://doi.org/10.4213/kvant20210804>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.85.183.62

26 апреля 2023 г., 15:45:39

«Не забудьте про часы!»

С.ПАРНОВСКИЙ

Так утверждают поэт Андрей Вознесенский, певец Максим Леонидов и театр клоунады «Лицеден» в старом фильме «Как стать звездой». А насколько будет плохо, если забыть? Спросим у ученых.

Сейчас нашу жизнь просто пронизывает информация о том, где именно мы находимся в потоке времени. Включив смартфон или компьютер, мы немедленно узнаем точное время, и каждую минуту часы меняют свои показания, синхронизированные с сигналами точного времени, с данными навигационных спутников, с эталонами... Короче, с особо точными часами. Японские ученые сравнили ход подобных суперхронометров у подножия и на вершине токийской телебашни и в очередной раз подтвердили предсказание Альберта Эйнштейна о том, что скорости течения времени у этих часов различаются.¹ На вершине время течет немного быстрее.

Но было время, когда никто не считал минуты, не говоря уже о наносекундах. Было нечем и, вообще говоря, особо незачем. Вспомним классику: «Когда д'Артаньян подходил к пустырю, находившемуся подле монастыря, пробило полдень. Атос ожидал его всего пять минут – следовательно, д'Артаньян был безукоризненно точен и самый строгий судья в законах дуэли не имел бы повода упрекнуть его». А кого перестала устраивать «безукоризненная точность» с

ошибкой в пять минут задолго до того, как актриса Людмила Гурченко спела одноименную песню в фильме «Карнавальная ночь»? Это были астрономы и мореплаватели. Они фиксировали время, когда происходят разные астрономические события, начиная от банальных восхода или захода солнца и кончая затмениями на Земле или на спутниках Юпитера. И началось это в очень давние времена.²

Мореплаватели использовали астрономические наблюдения для того, чтобы определить положение своего корабля, т.е. для навигации. Для определения долготы им надо было иметь еще и надежный хронометр, выставленный по времени какой-то реперной точки, например Гринвичской обсерватории возле Лондона. Просто для того, чтобы было с чем сравнить определенное из астрономических наблюдений местное вре-

¹ Группа ученых во главе с профессором Токийского университета Хидетоси Катори в 2020 году сравнила ход компактных сверхточных атомных часов, помещенных у подножия телевышки «Небесное дерево» и на смотровой площадке на высоте 450 метров. Часы на высоте шли примерно на пять стотриллионных быстрее, чем часы внизу. За сутки они убегали вперед примерно на 4,3 наносекунды. За год разница составила бы 1,6 микросекунды.

² Про так называемый антикитерский механизм, нечто вроде древнего прообраза примитивного компьютера для предсказания астрономических событий, написано в замечательной книге Джо Мерчант «Антикитерский механизм. Самое загадочное изобретение Античности».

мя. Как из этих данных можно получить долготу, прекрасно объясняется, например, в книге Жюль Верна «Таинственный остров».

Предположим, что корабельный хронометр ошибается на пять минут. Тогда долгота будет определена с ошибкой в $5 \cdot 15'$. Для корабля, плывущего возле экватора, это соответствует 75 морским милям, приблизительно 140 километрам. В другой океан не заплывем, но мимо небольшого острова с пиратским кладом промажем. Да и на рифы или мель сесть можно. Откуда появились $15'$ при расчете? За 24 часа Земля делает один оборот, т.е. поворачивается на 360° . Тогда за час она повернется на 15° , или на $15'$ за минуту. На самом деле на корабле в идеале должно быть не менее трех хронометров. Почему? Попробуйте догадаться сами. Если не хотите, то посмотрите примечание.³

Сейчас есть и более надежные средства узнать свое положение на нашей планете. Но точный эталон времени пригодится и в космосе на борту спутника. Так, два американских спутника, получившие название Gravity Probe, использовали его для проверки общей теории относительности (ОТО), а российский Радиоастрон – для того, чтобы в связке с наземными антеннами образовать космический радиоинтерферометр с беспрецедентным разрешением до миллионных долей угловой секунды.

В древности самые надежные и бесплатные часы были основаны на движении Солнца и звезд по небосводу, т.е. с видимым проявлением вращения Земли. Пусть небо иногда и покрыто тучами, все равно никакие периодические явления, вроде пения петуха или желания выпить у корабельного боцмана, не могли конкурировать с такими часами по точности определения времени. А если рядом нет, к примеру, регулярного гейзера с постоянным интервалом времени между выбросами струй, то можно организовать что-то с постоянным периодом или изменяющееся с приблизительно постоянной скоростью.

Мы знаем водяные часы, свечи и лампы, используемые для отсчета времени. Но ни один из этих методов не может даже отдаленно сравниться по точности с самыми при-

митивными механическими часами с маятником. И ключевыми здесь являются слова «с маятником».

Просто механические часы могли иметь неплохую точность, но она существенно улучшилась после того, как в Европе в XIII веке придумали первый, еще примитивный анкерный (он же спусковой) механизм, более надежно обеспечивающий постоянство средней скорости хода. Затем девятнадцатилетний Галилео Галилей в 1583 году во время службы в Пизанском соборе обратил внимание на раскачивание люстры. Используя собственный пульс в качестве прибора для отсчета времени, он обнаружил, что период колебаний маятника почти не зависит от амплитуды этих колебаний. Применив новое знание к практике, известный ученый Христиан Гюйгенс усовершенствовал часы – в 1657 году он получил голландский патент на конструкцию маятниковых часов. Более того, часы реально работали и обеспечивали превосходную для того времени точность хода. Это открыло дорогу их массовому производству и применению.

Заметим, что Гюйгенс не ограничился маятником, в котором точка перемещается по окружности. Существует кривая, описывающая профиль углубления, в котором период колебаний материальной точки никак не зависит от амплитуды. Она называется циклоидой, а за это свое свойство получила дополнительное прозвище «таутохрона» – от переведенного на греческий язык слова «равновременная». Название «циклоида» придумал Галилей (во Франции эту кривую сначала называли рулеттой). Гюйгенс не только установил таутохронность циклоиды, но и придумал, как заставить подвешенный на нитке груз колебаться именно по циклоиде. Об этом и многом другом он написал в своей книге «Маятниковые часы» (точнее, «*Horologium oscillatorium, sive de motu pendulorum an horologia aptato demonstrationes geometrica*», короткие названия тогда были не в моде), вышедшей в 1673 году.

Можно долго рассказывать, как постепенно усовершенствовали часы, добиваясь того, чтобы их показания были надежными, не подверженными внешним воздействиям. Достаточно упомянуть, что точный и надежный морской хронометр был придуман в Великобритании только в 1735 году. Было

³ Если на корабле два хронометра и их показания отличаются, то не ясно, какой из них врёт. Если их три, то два из них покажут приблизительно одинаковое время.

еще одно дополнительное требование – о том, чтобы хронометр не требовал частых сверок с более точным прибором. Некогда штурман корабля, прибывшего в порт, где была астрономическая обсерватория (а они часто располагались в приморских городах именно по этой причине), собирал все корабельные хронометры, которых, как вы уже знаете, было не менее трех, и вез или нес их в обсерваторию для того, чтобы выставить на них время, основываясь на показаниях более точных астрономических часов.

Я работаю в астрономической обсерватории с 175-летней историей. Под историческим зданием находится сложная система подвалов, из менее глубоких надо спускаться в более глубокие. Один из таких глубоких подвалов называется часовым. Именно в нем в давние времена хранились астрономические часы. Подвал обеспечивал постоянство температуры, а это было залогом постоянства скорости хода часов.

Конечно, изобретатели придумали массу способов компенсации влияния температурного расширения на период колебаний маятника, но лучше не компенсировать что-то, а просто исключить или свести к минимуму. И, естественно, учитывается различие в величине ускорения свободного падения в разных точках, температура в подвалах, разли-

чающаяся в разных обсерваториях, и т.д. Вдобавок точность хода регулярно проверялось при астрономических наблюдениях. Если возникали рассогласования, то причину искали в часах, а не в движениях небесных светил.

Любопытно, что в Великобритании в XIX веке некоторые люди зарабатывали себе на жизнь, продавая информацию о точном времени. Они имели личный хронометр, который регулярно выставляли по часам обсерватории (для Лондона – Гринвичской), и периодически обходили своих клиентов и выставляли их часы, домашние и персональные. Естественно, за некоторую плату. Другие по утрам обходили клиентов и в заданное время стучали в окна длинными шестами, чтобы разбудить их. Сейчас с этим успешно справляется программа-будильник на наших смартфонах, не говоря уже про специальные устройства.

В старых кинофильмах вы можете встретить и сигналы точного времени – «начало сигнала соответствует...», и забытую фразу: «Товарищи / господа офицеры, сверим часы».

Так что увидев точное время на экране компьютера, оцените, как просто нам достается то, что казалось бы чудом всего пару столетий назад.

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ КРУЖОК

Построение средней линии трапеции

А.ГРИБАЛКО

На прошедшей недавно XVIII Устной олимпиаде по геометрии предлагалась следующая задача (автор – Ю.Блинков):

Дана трапеция, в которой одно основание в два раза больше другого. С помощью одной линейки (без делений) постройте среднюю линию этой трапеции.

Решение этой задачи можно посмотреть на сайте <https://olympiads.mccme.ru/ustn/>. Возникает естественный вопрос: а возможно ли построение средней линии трапеции с помощью одной линейки при каком-нибудь другом отношении оснований? Давайте посмотрим, какие еще построения, кроме приведенных в решении, можно сделать.

Пусть дана трапеция $ABCD$, в которой основание AD в k раз больше основания BC (рис.1). Сначала, кроме точки пересечения диагоналей, которую мы обозначим O , и точки пересечения прямых, содержащих боковые стороны трапеции, особо строить и нечего. Через них мы можем провести прямую, которая пересечет основания в их серединах (по замечательному свойству трапеции). Пусть точка M – середина основания AD . Теперь уже становится больше возможностей, какие линии можно строить.