

Белобров

# История

Я

метра

Российский Государственный педагогический университет им. А.И. Герцена  
Санкт-Петербург, 1 ноября 2019 года

... вначале было три параллельных процес-са:

- ✓ создание универсальной системы мер длины
- ✓ изучение секундного маятника
- ✓ измерение размеров Земли с помощью триангуляций...

**Но постепенно они стали сходиться вместе и тогда появился современный «метр»!**



# Откровения Кардано

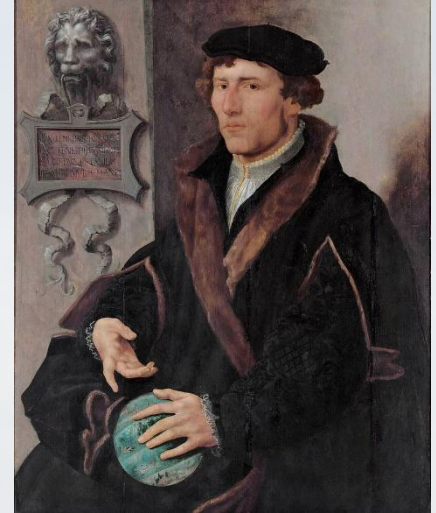
Историю создания меры «метр» следует начать с миланского физика и математика Джироламо Кардано (Gerolamo Cardano; 1501...76), который пришел к выводу, что абсолютно точные научные знания о форме и размерах Земли были известны еще до становления цивилизации Древней Эллады – в Древнем Египте.



При этом миланец ссылался на авторитет Пифагора, который якобы утверждал, что древние меры берут начало в Египте, а египтяне, взяв их из природных констант, создали Пирамиду Хеопса, чтобы зафиксировать таким образом свои знания о размерах нашей планеты.

# Теория Фризиуса и...

В 1530 г. Гемма Фризиус (Gemma Frisius; 1508...55) разработал метод триангуляции. Среди известных учеников Фризиуса был знаменитый в будущем картограф Герард Меркатор, который после окончания университета работал вместе с Фризиусом над созданием глобусов Земли и Луны.

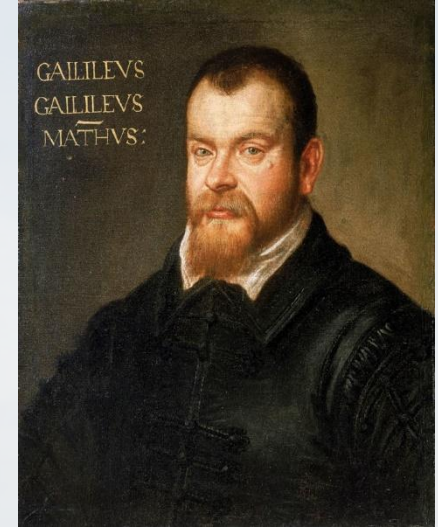


*Но первое применение метода триангуляции на практике состоялось только через 85 лет...*



# Маятник Галилея

На рубеже XVI и XVII вв. Галилео Галилей (Galileo Galilei; 1564...1642) разработал общие положения теории математического маятника.



## ...и практика Снелла

Первые в современной истории градусные измерения выполнил в 1615 г. Виллеброрд Снелл (Снеллиус; Willebrord Snel van Roy-en; 1580...1626). Снелл триангулировал дугу меридиана в  $1^{\circ}11'30''$  в Нидерландах между Берген-оп-Зомом и Алкмаром.

Полученная им оценка протяженности одного градуса меридиана была на 3,57% меньше современной. Ошибка Снелла в значительной степени была вызвана недостаточным качеством и ассортиментом имевшегося у него измерительного оборудования, а также очень короткой базой (всего около 300 м).





# «Дуга» Снелла



## Волшебная линейка Гривза

Джон Гривз (John Greaves; 1602...52) был среди тех, кто хотел узнать, каковы размеры Земли. В то время в научной среде бытовала уверенность, что (помимо египтян) самые достоверные сведения на этот счет имели древние римляне.



В 1635 г. Гривз отправился в Рим, измерять эталоны древнеримского фута, *pes monetalis*. С собой он прихватил удивительную линейку: она имела длину в 10 англ. футов и была выверена по эталону, хранившемуся в Лондонской ратуше (Guildhall), но разделена она была – вопреки английской метрологической традиции – на 10 000 частей...



# Египетские ночи Бураттини

В 1637 г., в возрасте 20 лет, Тито Ливио Бураттини (Tito Livio Burattini; 1617...81) (видимо под влиянием высказываний Кардано) поехал в Египет и предпринял несколько попыток обмерить Великую пирамиду.



Бураттини, по его словам, измерял «пирамиды, обелиски, сфинксы, мумии, руины Александрии, озера Моэрис\*, египетские, персидские, греческие и римские здания». Ему также приписывают попытку триангуляции территории Египта.

\* Озеро в Фаюмском оазисе, ныне известное как Birket Qarun.

## Отеческая забота отца Кирхера

По одной из версий, поездку Бураттини в Египет финансировал о. Афанасий Кирхер (Athanasius Kircher; 1602...80). Кирхер был одним из авторитетнейших ученых своего времени, но его взгляды на жизнь и науку сильно отличались от тех, что стали доминировать вскоре после его смерти, поэтому о. Кирхер на века прослыл безнадежным ретроградом. Его взаимоотношения с Бураттини освещены скудно и противоречиво, но широко известен тот факт, что несколько гравюр последнего были воспроизведены отцом Кирхером в его знаменитом «Египетском Эдипе» («Oedipus Aegyptiacus», 1652).



P. ATHANASIVS KIRCHERVS FVLVDENSIS  
è Societ: Iesu Anno ætatis LIII.  
*Hæneris et observantia: ego sculpsit et D.D.C. Bloemaert Roma. 2. Maij A. 1655.*



## Волшебная линейка Гривза (окончание)

В Риме Гривзу не повезло: все показанные ему «эталонны» не выдерживали никакой критики. И тогда (в 1639 году), памятуя об откровениях Кардано, он отправился в Египет, где встретил... Бураттини!

Итальянец с радостью согласился проделать обмеры Великой пирамиды еще раз (к тому моменту он успел это сделать уже дважды) — с помощью «правильной» линейки Гривза. Правильной она была, во-первых, потому, что была сверена с очень авторитетным эталоном, а во-вторых, её деление полностью соответствовало «десятеричным» идеям самого Бураттини.

## Египетские ночи Бураттини (окончание)

Вскоре Гривза пригласили преподавать в Оксфорд, и он уехал, оставив свою «чудо-линейку» итальянцу, который еще пару лет прикладывал её к различным египетским древностям.

По возвращении в Европу с Бураттини случилась какая-то «мутная» история: он вроде бы был ограблен и лишился большей части своих египетских записей.

Гривз же все свои данные сберег и позднее издал книгу «Pyramidographia» (1646), короткая послужила одной из отправных точек для широко известной работы по древней метрологии И. Ньютона.



# Секундный маятник Мерсенна

В 1644 г. Марен Мерсенн (Marin Mersenne; 1588...1648) впервые определил длину секундного маятника (сегодня это 0,994 м при  $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ ).

А в 1660 г. Лондонское королевское общество (академия наук) предложило использовать длину секундного маятника в качестве универсальной стандартной единицы длины.

Всё бы хорошо, но...



# Пчелиная метрология Тевено

Представление о том, что Международный научный стандарт меры длины должен иметь как объективную, так и историческую основу, настолько укоренилось в умах ученых Нового времени, что в XVII в. серьезное внимание было уделено предложению Мельхиседека Тевено (Mel-chisédech Thévenot; 1620...92), что в качестве стандарта линейной меры должен быть принят размер шестиугольных пчелиных сот.



**Для обсуждения этой идеи Тевено организовал собрание ученых, которое позднее (в 1666 г.) преобразовалось во французскую Академию**



## Пчелиная метрология Тевено (окончание)

Странная идея, выбрать в качестве метрологического эталона пчелиные соты, оказалась живучей: в следующем столетии её поддерживал Рене де Реомюр (René Antoine de Réaumur; 1683...1757) с добавлением аргумента о том, что ульи древних Афин должны были иметь соты тех же размеров, что и современные Реомюру французские (!!!).

На чем основывалось это утверждение, неизвестно, но *сегодня специалисты выделяют несколько типов сот, размеры которых колеблются в довольно широких пределах.*

Так что затея эта явно «не стоила свеч»...

# Конфуз Кольбера

При подготовке градусных измерений Пикара была выявлена порча эталона французской меры длины туаза (toise du Châte-let). В 1667 г. новый вариант эталона был утвержден королевским сюринтендантом финансов Кольбером



Жан-Баттиста Колбо. Однако вскоре выяснилось, что новый эталон на 0,5% короче старого эталона Гильдии каменщиков (toise de l'Écritoire). Но Кольбер не захотел признать своей ошибки, и нововведение осталось в силе.

**Судя по всему, новый эталон был разработан при участии всё того же Пикара...**



# Дуга Пикара

В 1669...70 гг. Жан-Феликс Пикар (Jean-Felix Picard; 1620...82) измерил протяженность дуги меридиана между Парижем и Амьеном ( $1^{\circ}04'$ , 13 треугольников). Измерения Пикара были очень точными (погрешность оценивается в 0,03% и даже в меньшую величину).



По результатам этого измерения в 1674 г. были уточнены протяженности французских путевых мер, сухопутного и морского льё (25 и 20 в градусе меридиана соответственно). Так был создан реальный конкурент маятнику...





# Каверза Рише

В 1670 году Французская академия отправила Жана Рише (Jean Richer; 1630...96) в Западное полушарие для проведения уточняющих астрономических наблюдений. В 1671 г., будучи в Кайенне (Cayenne;  $4^{\circ}56'$  с. ш.  $52^{\circ}20'$  з. д.), Рише обнаружил отставание секундного маятника – его пришлось укорачивать (на 0,3%).



Но этот маятник начал спешить по возвращении во Францию!

Мнения академиков разделились: одни обвиняли Рише в неаккуратности, но другие задумались...

# Метро cattolico Бураттини

В 1675 г. в трактате «Misura Universale» Бураттини – вслед за Королевским обществом – предложил принять для всей Европы новый метрологический базис, секундный маятник.

Эту меру Бураттини назвал «метр» (metro cattolico, то есть «универсальная мера»).

На его основе итальянец хотел создать совершенно новую метрологическую систему, в которой «соседние» меры длины соотносились бы друг с другом в пропорции «десять к одному».





## Метро cattolico Бураттини (окончание)

Бураттини оценил длину metro cattolico в 4 пальмы Генуи\* (996,38 мм), что несколько больше традиционной оценки размера секундного маятника, но metro cattolico всё равно немного не дотягивал до размера современного метра...

Похоже, что Бураттини ещё не знал о «своенравии» маятника...

*Следует отметить, что английские ученые никогда не занимались привязкой своих мер к размерам Земли. Это дало повод Вольтеру съязвить однажды про теорию Полюсного сжатия Ньютона...*

\* 249,095 мм, по оценке

Петрушевского

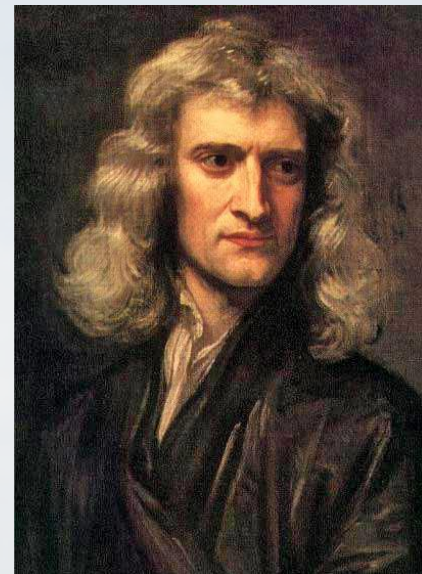
Бураттини **не был первым**, кто предложил принять десятичную метрологическую систему, не он изобрёл и секунднй маятник, но он **был первым**, кто свёл их вместе, и **первым**, кто привлек к такому проекту внимание широкой публики, и именно он **первым предложил** имя «**метр**» для базовой единицы длины такой системы.



## «Дыня» Ньютона и «дыня» Гюйгенса

В 1687 г. Исаак Ньютон (sir Isaac Newton; 1642...1727) высказал (и обосновал!) гипотезу о Полюсном *сжатии*: полюсный радиус планеты получился у него на  $\frac{1}{230}$  короче экваториального. Ньютон считал, что таким образом объясняется эффект замедления секундного маятника, обнаруженный Рише. Того же мнения придерживался и Гюйгенс (Christiaan Huygens; 1629...95), но у него сжатие получилось меньшим:  $\frac{1}{576}$  (1690 г.).

*Современная оценка Полюсного сжатия составляет  $\frac{1}{298, 257...}$*



## «Яйцо» Кассини

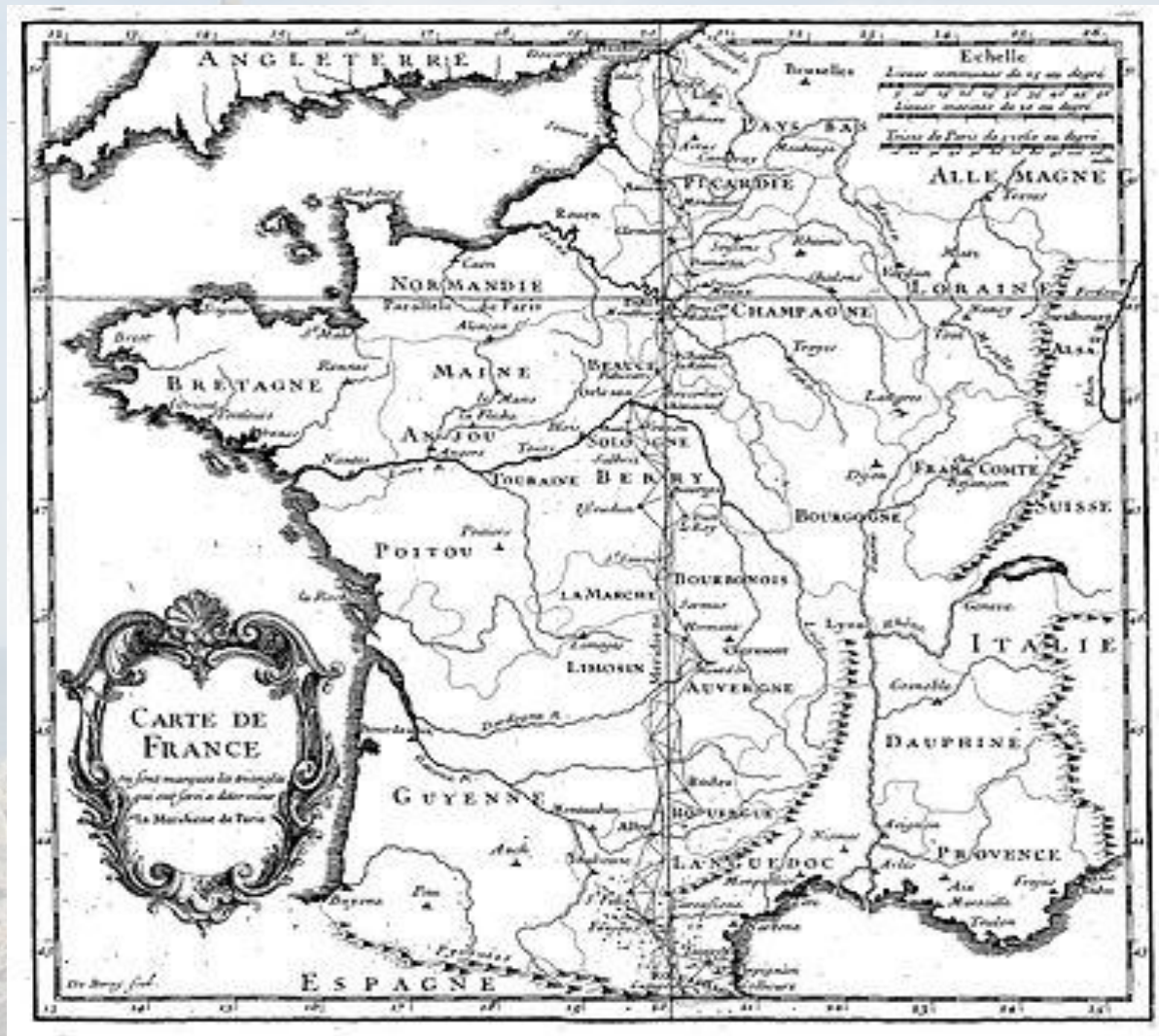
Джованни Доменико Кассини (ит. Giovan-ni Domenico Cassini; фр. Jean-Dominique Cassini; 1625...1712) продолжил работу Пикара: триангуляцию Пикара предстояло продлить до Дюнкерка на севере и до по-бережья Средиземного моря на юге ( $8^{\circ}32'$ , 54 мерных треугольника).

Джованни Кассини не сумел завершить начатое – это сделал его сын Жак (Jacques Cassini; 1677...1756). Градусные измерения проходили с большими перерывами и были завершены только в 1718 г. Они дали





# Парижский меридиан Кассини



## «Яйцо» Кассини (продолжение)

Из данных Кассини следовало, что Земля вытянута к полюсам! Это противоречило теории Ньютона, но Кассини-младший не хотел признавать даже возможности ошибки в их с отцом работе!

Идея о Полюсном растяжении была настолько спорной, что Французская академия предприняла новые исследования в этом направлении.

Под влиянием разгоревшегося скандала была переоценена и работа Пикара: Кассини заявил, что Пикар пользовался бракованным туазом («ошибка Пикара», «d'erre-ur de Piard»)...



# Toise du Pérou

Чтобы выйти из скандала с измерениями Кассини, Академия решила сделать три вещи:

1. Создать «не вызывающий сомнений» эталон меры длины.
2. *С помощью этого эталона* произвести ревизию измерений Пикара и Кассини
3. *С помощью этого эталона* провести максимально широкие по охвату градусные измерения.

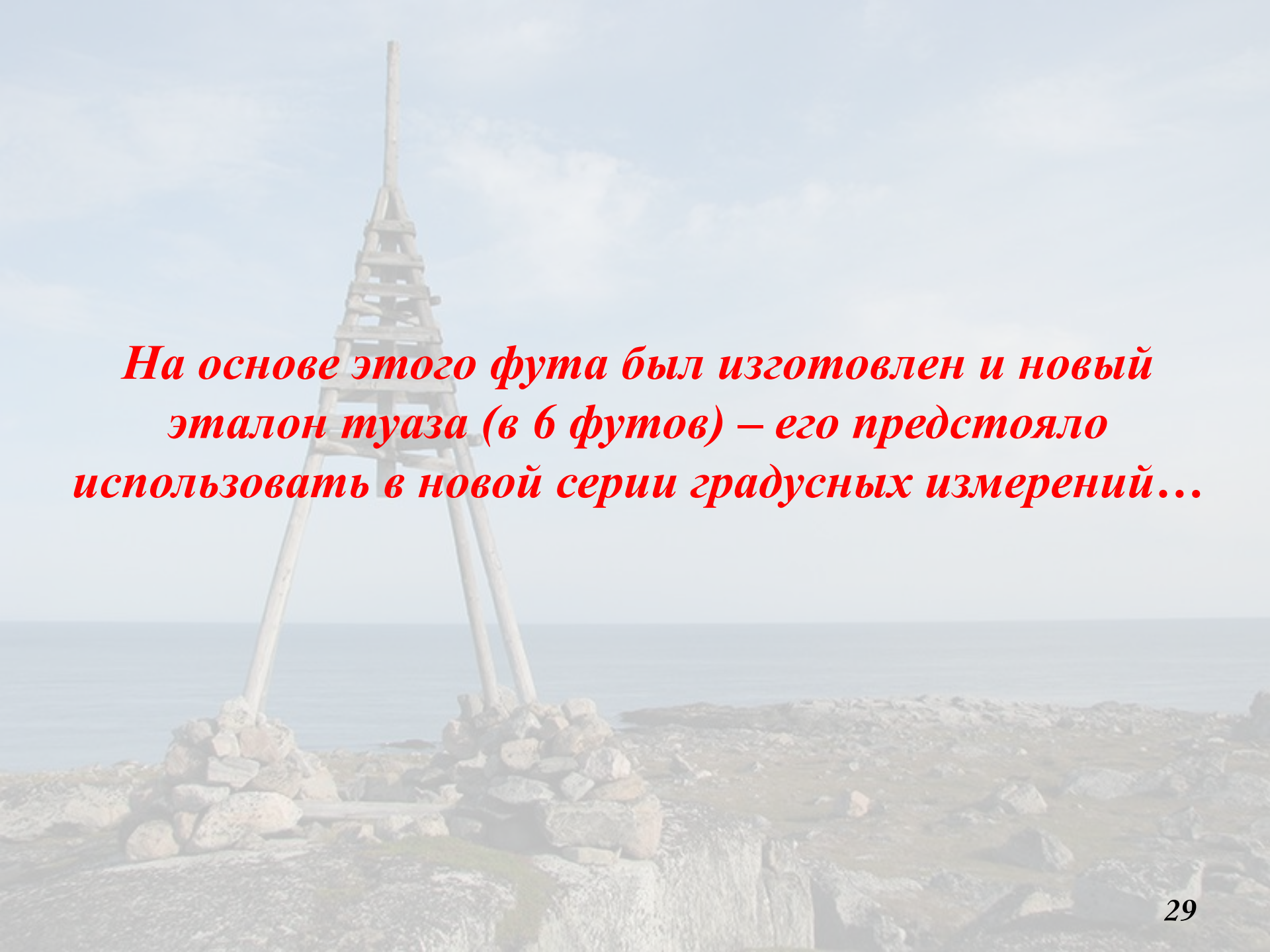
## Toise du Pérou (продолжение)

Новый эталон французского «королевского» фута (pied-de-roi) в 1732 г. поручили изготовить граверу Ланглуа (Claude Langlois), которому с тех пор было дано монопольное право производить измерительные линейки для научных работ во всей Франции.



Ланглуа выбрал эталон таким, чтобы в кубе с длиной ребра в 1 pied-de-roi, содержалось 70 парижских ливров воды. Новый эталон был длиннее того, каким пользовался Пикар, примерно на 0,114%.



A tall, slender wooden gnomon stands on a rocky shore. The gnomon is constructed from several wooden poles, with a central vertical pole and two diagonal support poles forming a tripod-like base. The base is secured with large, stacked stones. The background shows a calm sea under a pale, overcast sky. The text is overlaid in the center of the image.

*На основе этого фута был изготовлен и новый эталон туаза (в 6 футов) – его предстояло использовать в новой серии градусных измерений...*

## Toise du Pérou (окончание)

Получив новый эталон тауза, Академия сформировала 2 экспедиции: одну – на экватор, в Перу (теперь это территория Эквадора), вторую – поближе к Полюсу, в Лапландию. Измерения в Перу (в 1735...42 гг.; дуга в 350 км) и в Лапландии (в 1736 г.; дуга 100 км) убедительно доказали, что Земля имеет Полюсное сжатие.

Мера, использованная в Перу («toise du Pérou») позднее стала эталоном французской «сажени» (так как мера, использованная в Лапландии, «toise du Laponie», была повреждена).

***Жак Кассини был посрамлён!***

***... но он так и не сдался...***



# Позор Кассини

В 1739 г. сын Жака Кассини, Цезарь Франсуа Кассини де Тюри (César-François Cassini de Thury; 1714...84), обратился к молодому, но уже авторитетному астроному и математику Лакайлю (Nicolas-Louis De la Caille; 1713...62) с предложением повторить измерения, выполненные его дедом и отцом. После двухлетних усилий Кассини де Тюри и Лакайль скорректировали прежние расчеты старших Кассини и Пикара с учетом нового эталона. В измерениях старших Кассини было выявлено много мелких ошибок.



# Торжество Пикара

К середине XX в. учёные всё же пришли к выводу, что работа Пикара была очень точной.

	Париж	Амьен	Дюнкерк	Канигу	Среднее	Средний градус		Туаз, мм		
						м	туазы	Расчет	Эталон	Погрешность, %
Пикар	48°50' с. ш.	49°54' с. ш.			49°22' с. ш.	111 217	57 060	1 949,12	1 949,04	0,004329406
Кассини	48°50' с. ш.		51°03' с. ш.		49°56' с. ш.	111 228	56 960	1 952,73	1 949,04	0,189755883
	48°50' с. ш.			42°31' с. ш.	45°41' с. ш.	111 145	57 097	1 946,60	1 949,04	-0,124909294

Если предположить, что Кассини приняли оценку протяженности «Дуги Пикара» без корректировок, то ошибку надо искать в измерениях дуги между Амьеном и Дюнкерком: примененный там туаз должен был отличаться от эталонного *toise du Châtelet* образца 1667 г. на 0,37%, что дает его размер 1 956,26 мм. Отсюда размер «королевского» фута должен был бы быть 326,04 мм.

**В Дюнкерке Кассини использовали**



## Ошибка Лакайля

Но и Лакайль ухитрился внести определенную сумятицу в представления о геометрии Земли: в 1750...54 гг., во время своей астрономической экспедиции в Южную Африку, он выполнил триангуляцию, которая показала, что в Южном полушарии Земля была более плоской, чем в Северном.

*Это была ошибка!..*

*... которую удалось окончательно устранить только в 1838 г.*

# Инициатива Талейрана

Бурное развитие событий в этой сфере спровоцировала Великая Французская революция: будущий всесильный дипломат Талейран (Charles Maurice de Talleyrand-Périgord; 1754...1838) – видимо, основываясь на идеях все того же Бураттини, – предложил в качестве эталона новой меры, «метра», использовать длину «се-кундного маятника». В 1790 г. эта идея была одобрена Национальным собранием Франции, хотя к тому времени уже было известно, что параметры маятника недостаточно стабильны, а данные о плотности Земли отсутствовали...





# Инициатива де Борда

В 1791 г. инженер и математик Жан-Шарль де Борда (Jean-Charles, chevalier de Borda; 1733...1799) предложил поделить окружность на 400 «градов»: по 100 в каждой четверти.

Кроме того, де Борда существенно улучшил угломерный лимб, и ему не терпелось применить свое изобретение на практике...

Под давлением де Борда 30 марта 1791 г. Французское Национальное собрание утвердило новую концепцию эталона «метра»: теперь на 1 град земного меридиана должно было идти ровно 100 000 метров (40 000 000 м на весь меридиан).



# Злоключения Деламбра и Мешена

Перемерять по этому случаю меридиан (от Дюнкерка до Барселоны) отправили академиком Деламбра (Jean-Baptiste Joseph Delambre; 1749...1822) и Мешена (Pierre François André Méchain; 1744...1804). Но работа у них сразу не заладилась: Мешена арестовали в Испании.

В результате 1 августа 1793 г. Конвент принял «временный» эталон метра на основе данных Кассини де Тюри и Лакайля, а работы Деламбра и Мешена были приостановлены до 7 апреля 1795 г.





В итоге Деламбр и Мишен за «чистых» два года (1795...97) перемерили цепочку из 54 старых мерных треугольников через всю Францию, включая Париж, а также продлили её (61 новый треугольник) через Пиренеи в Испанию (до Барселоны).

Эта триангуляция дала размер метра, незначительно, но отличающийся от уже утвержденного «эталона» (3 парижских фута и 11,296 линии против 3 футов и 11,44 линии, которые были получены из данных Кассини и Лакайля).

**Корректировка размера метра  
была узаконена 10 декабря 1799 г.**

## Злоключения метра

Для продвижения новой системы мер в сентябре 1798 года был созван Международный конгресс (прибыли только представители союзных Франции стран). Он завершил свою работу 25 мая 1799 г.

... однако осенью 1799 г. к власти пришел Наполеон, а ему новая система мер не нравилась...

Не нравилась она и большинству французов...

Потом Франции вообще стало не до «метра»...

Потом не стало самой Наполеоновской Франции...

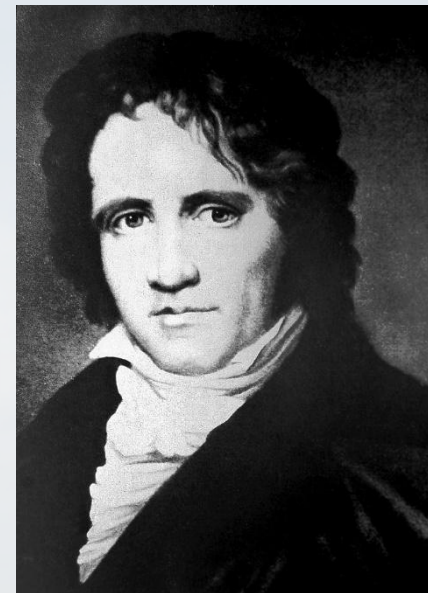
В итоге метр окончательно утвердился у себя на родине только в 1840 г. (закон от 4 августа 1837 г.).

Но тут в дело вмешался Бессель...



# Каверза Бесселя

Известный немецкий математик и астроном Ф.В. Бессель (Friedrich Wilhelm Bessel; 1784...1846) занимался разработкой первой в истории современной науки математической модели Земного эллипсоида. В процессе этой работы, в 1841 г., он обнаружил ошибку в вычислениях Деламбра и Мишлена. Скандал!!!



*Измерения Тикара, а также Кассини де Тюри и Лакайля оказались более точными, чем «технически совершенное» измерение конца XVIII в.!*

# Дуга Струве («Русский след-1»)

«Геодезическая дуга Струве» долгое время была самой масштабной триангуляцией в мире: ее прокладывали с 1816 по 1855 гг. (в течение 40 лет!!!) на протяжении 2 820 км ( $25^{\circ}20'08''$ ), от побережья Северного Ледовитого океана (мыс Фугленес, недалеко от мыса Норд-Кап в Норвегии ( $70^{\circ}40'11''$  с.ш.)), и до устья Дуная (с. Старая Некрасовка в Одесской области Украины ( $45^{\circ}20'03''$  с.ш.)) под руководством Фридриха Георга Вильгельма (Василия Яковлевича) Струве (1793...1864) и Карла Ивановича Теннера (1783...1860).

*Суммарная ошибка этой триангуляции составила смешные... 50 м!*







# От Фугленеса до Старой Некрасовки



**С 2005 г. Геодезическая дуга Струве объявлена  
Памятником Всемирного наследия ЮНЕСКО**



## «Русский след-2»

Оказалось, что «эталон метра, хранящийся в архивах Франции, не составляет [точно одной] десятимиллионной части четверти меридиана». Более того, «архивный метр не совпал ни с одним из измерений четверти меридиана [выполненных в период между 1799 и 1869 годами] <...> Следовательно, эталон о котором идет речь, должен был утратить характер естественной меры, который ему приписывался при его изготовлении, и в настоящее время он является просто произвольной и условной мерой [выделено нами; Б.В.]» (Из доклада Российской Императорской академии наук, 1869 г.)

## «Русский след-3»

Однако данный доклад имел целью не «утопить» метр, а, наоборот, отвести от него избыточные претензии, которые тормозили международную легитимизацию Метрической системы.

Ранее интерес к метру проявляли Н.И. Лобачевский, Ф. И. Петрушевский и А.Я. Купфер, а О.В. Струве, Б.С. Якоби и Д.И. Менделеев активно участвовали в интернационализации Метрической системы.

В 1870 г. в Париже собралась Международная метрическая комиссия (La Commission internationale du mè-tre), в основу работы которой были положены конструк-тивные предложения, высказанные в Докладе РИАН в 1869 г.



# Победа метра

Разразившаяся Франко-прусская война прервала работу Метрической комиссии на 2 года.

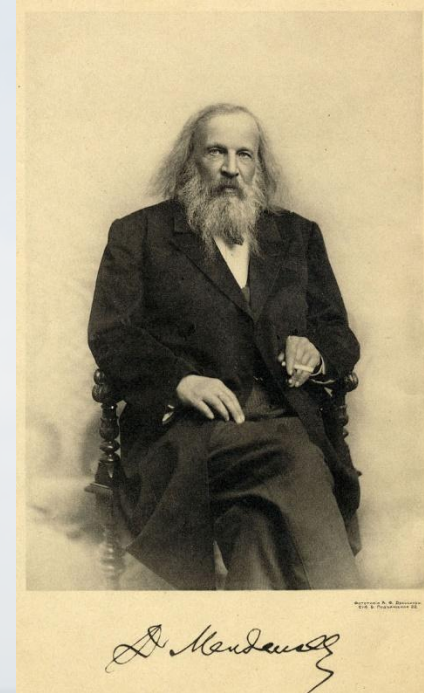
Итогом её работы стала дипломатическая конференция, на которой 20 мая 1875 г. Представители 17 государств подписали Метрическую конвенцию.

Изготовление эталонов метра и килограмма завершилось к 1889 г., когда на I Международной конференции мер и весов эти эталоны были распределены между странами по жребию. Россия получила эталоны метра №28 (сегодня признаётся основным) и №11, а килограмма – №12 (основной) и №26.

*(В США метрическую систему так и не ввели до сих пор, а в Англии – только в 1995 г.)*

# Судьба метра в России

**04.06.1899** в Российской империи принято «Положение о мерах и весах» (закон), разработанное Дмитрием Ивановичем Менделеевым (1834...1907). Оно разрешало применение в торговых и иных операциях наравне с российскими мерами, также и (по соглашению сторон) мер Метрической системы.



**30.04.1917** принят декрет Временного правительства об ***обязательном*** применении Метрической системы на территории России. По понятным причинам, этот закон в жизнь воплощен не был...



## Судьба метра в России (окончание)

Советская власть принималась за метр дважды: Декрет СНК РСФСР от **11.09.1918** инициировал переход страны на Метрическую систему, а Декрет СНК РСФСР от **29.05.1922** актуализировал сроки этого перехода.

С **1 октября 1924 г.** прекратилось изготовление мерного инвентаря старой русской системы мер.

С **1 января 1925 г.** Метрическую систему начали вводить в Советских учреждениях.

С **1 января 1927 г.** Метрическая система стала обязательной в СССР.

# Референц-эллипсоид Красовского («Русский след-4»)

Самая масштабная триангуляция в мире была осуществлена в СССР под руководством Феодосия Николаевича Красовского (1878...1948): *Государственной геодезической сетью триангуляции*, была охвачена половина территории СССР, детализация сети сначала соответствовала масштабу 1 : 10 000, а затем была увеличена до 1 : 2 000. По данным этой сети Александром Александровичем Изотовым (1907...88) в 1940 г. была разработана математическая модель поверхности Земли *Референц-эллипсоид Красовского*.






# Прощай, триангуляция!

Модель Красовского и Изотова стала последней, полученной классическим наземным методом: в дальнейшем масштабные геодезические исследования стали осуществляться с помощью космических аппаратов.

И эти исследования, в частности, показали, что Референц-эллипсоид Красовского оказался предельно точным: погрешность оценки его большой полуоси составила всего  $1,7 * 10^{-5}$ , а оценка сжатия полностью совпала с реальностью.

A wooden tower, possibly a lighthouse or observation tower, stands on a rocky shore. The tower is made of dark wood and has a tall, thin spire. The background shows a blue sky with light clouds and a calm blue sea. The foreground is a rocky coastline.

# Благодарю за внимание!

**Белобров Владимир Алексеевич**

*E-mail:* [s37fi@mail.ru](mailto:s37fi@mail.ru)

*Web:* <https://independent.academia.edu/VladimirBelobrov>