

Как работи светът

Най-добрите обяснения на годината

2026

KNOWLEDGE.BG

Как работи светът. Най-добрите обяснения на годината.

Първо издание, ноември 2026 г. Безплатно електронно издание.

Текстове: Редакция на Knowledge.bg. kontakt@knowledge.bg

Снимки: Wikimedia Commons, със свободни лицензи (вж. „Снимки“).

© 2026 Редакция на Knowledge.bg. Файлът може да се разпечатва и споделя свободно за лично ползване и в училище; препубликуване и търговско ползване само с писмено разрешение.

Съдържание

	Предговор	4
НЕБЕТО И МЕРКИТЕ		
1	Как се снима нещо, което не свети Телескоп с размерите на планетата и първият образ на черна дупка	6
2	Килограм без парче метал Цилиндърът в трезора, константата на Планк и везната, която тегли с ток	14
3	Защо часовникът спря да чака Земята Атомното време, високосната секунда и решението от Версай	23
ЗЕМЯТА		
4	Как се претегля производът на водата Тежкият водород като отпечатък: комети, астероиди и газът около младото Слънце	31
5	Континентът, който потъна в учебниците Лемурия: как се роди една разумна хипотеза и как я провериха	39
ЖИВОТНИТЕ И ТЯЛОТО		
6	Как прилепът вижда с ушите си Вик, ехо и милисекунди: картината на света, сглобена от звук	47
7	Защо зебрите са на райета Опитите с конете в зебрани палта и мухите, които не успяват да кацнат	55
8	На колко години е китовата акула Как атомните опити оставиха часовник във всеки прешлен	62
9	Далакът на морските номади Как тялото пази кислород под вода и какво морето остави в гените на баджау	69
10	Какво прави сапунът с обвития вирус Молекула с два края, топчета от мазнина и мембрана, която се разпада	76
КАК ЗНАЕМ МИНАЛОТО		
11	Империя, която смяташе с възли Кипу, бегачите по Андите и сметките на държава без писменост	84

12	Два календара и град в езерото	91
	Как мешиките броят дните и как издигат столица върху вода	
13	Как Селкърк оцеля сам на острова	98
	Корабният дневник на Роджърс, есето на Стийл и парче от пергел	
14	Чий е гробът в Голямата Косматка	105
	Как археолозите четат неограбена тракийска гробница край Шипка	
15	Галите в Рим и гъските на Капитолия	112
	Как историците отделят станалото от разказа за него	
	Източници	119
	Снимки	130
	Колофон	132

Предговор

В тази книга няма списъци с любопитни факти. Във всяка глава има един въпрос и бавен отговор на него: как се снима нещо, което не излъчва светлина, как се определя килограм, когато вече няма метален еталон, как прилепът намира нощна пеперуда в пълна тъмнина, как археолозите решават чий е един гроб. Петнадесетте глави тръгват от теми, по които писахме през годината. За книгата всяка от тях е написана наново, по-подробно, с повече източници и с време за обяснението, което една уебстраница рядко може да си позволи.

Главите следват един и същ ред, без да са еднакви. Започват с конкретно място, предмет или човек. Задават въпроса веднъж и ясно. Изграждат отговора стъпка по стъпка, така че всяка следваща крачка да стъпва на предишната. После идва разделът „Как го разбраха“, който според нас е най-важната част: уредите, опитите, грешките и сверяването, благодарение на които днес знаем това, което знаем. Всяка глава казва и какво още не се знае. Хипотезите, които се спорят, са назовани като спорни, а не са представени като сигурни.

Как да четете източниците

Всяко число в книгата има източник. Малката вдигната цифра в текста сочи към списъка „Източници“ в края на книгата. Там източниците са подредени по глави и номерирани наново за всяка глава, затова цифрата 3 в осма глава води към третия източник на осма глава. Когато няколко поредни изречения в един абзац стъпват на един и същ източник, знакът стои само при първото от тях.

Предпочитали сме първоизточника: научната статия, страницата на института или на музея, превода на античния автор. Където достъпът е бил затворен, сме ползвали резюмето на статията или енциклопедична статия с посочената версия. Кутията „Ключови числа“ в края на всяка глава събира най-важните стойности; и те имат своите знаци към източниците.

Снимките са от Wikimedia Commons и са със свободни лицензи: обществено достояние, CC0, CC BY или CC BY-SA. Автор, лиценз и адрес на всяка снимка са в раздела „Снимки“.

Главите могат да се четат в произволен ред. Подредили сме ги от небето към земята, от животните към човешкото тяло и накрая към миналото, защото въпросът „откъде знаем“ става все по-труден в тази посока: светлината от черната дупка може да се измери отново, а обсадата на Рим не може да се повтори.

Как се снима нещо, което не свети

Телескоп с размерите на планетата и първият образ на черна дупка

През април 2017 г. на високо плато в чилийската пустиня Атакама антените на обсерваторията ALMA се обърнаха към една и съща точка от небето¹. Антените са 37, всяка с диаметър 12 м². Свързани електронно, те събират сигнал като една чиния от 70 м. В същите нощи към същата точка гледаха телескопи на Хаваите, в Аризона, в Мексико и в испанската Сиера Невада. Целта беше центърът на гигантската галактика M87, на около 55 млн. светлинни години от нас³. Според всичко, което се знаеше дотогава, там има свръхмасивна черна дупка.

Черната дупка не излъчва светлина. Гравитацията ѝ е толкова силна, че от хоризонта на събитията ѝ нищо не се връща. Въпреки това на 10 април 2019 г. международният колектив Event Horizon Telescope показва образа ѝ: светъл пръстен около тъмно петно³. Как се прави снимка на нещо, което по определение не може да бъде видяно, и доколко на тази снимка може да се вярва?

Какво всъщност има на образа

Тъмното петно в средата е сянката на черната дупка. Около нея има горещ газ, който свети в радиодиапазона. Гравитацията огъва пътя на светлината от този газ, а част от лъчите падат зад хоризонта и не излизат обратно⁴. Така се получава светъл пръстен с тъмна вътрешност.

Екипът измерва диаметъра на пръстена на 42 ± 3 микроъглови секунди⁴. Микроъгловата секунда е милионна част от ъгловата секунда, а ъгловата секунда сама по себе си е нищожно малък ъгъл. Яркостта в средата е около 10 пъти по-ниска от яркостта на пръстена. Тази разлика е причината петното да се нарича сянка.

Пръстенът не е равномерен. Южната му страна е по-ярка¹. Авторите обясняват това с релятивистки лъчев ефект: газът обикаля черната дупка почти със скоростта на светлината и частта, която се движи към нас, изглежда по-ярка⁴.

Формата и размерът съвпадат с предсказанието на общата теория на относителността за сянката на въртяща се черна дупка, която физиците наричат керово⁴. За да получат масата, изследователите сравняват образа с голяма библиотека от компютърни симулации на плазма в силно гравитационно и магнитно поле. Резултатът е $(6,5 \pm 0,7)$ млрд. слънчеви маси.

Телескоп, съглобен от цялата планета

Никоя отделна антена не може да различи толкова малък детайл. Колкото по-голям е един телескоп спрямо дължината на вълната, толкова по-фини подробности вижда. На вълна от 1,3 мм само бази с дължината на земния диаметър могат да разделят пръстена около черната дупка².

Такава чиния няма, затова мрежата я замества. Тя свързва 8 наземни радиотелескопа на вулкани, планини и ледени плата: от Хаваите и Мексико през Аризона и Испания до чилийската Атакама и Антарктида³. Методът се нарича интерферометрия с много дълга база. Всяка двойка телескопи записва един и същ радиосигнал, който пристига до тях с малка разлика във времето. От сравнението на двата записа излиза една мярка за това как изглежда източникът при

определен мащаб и в определена посока. Колкото по-далеч са двата телескопа, толкова по-дребен е детайлът, за който носят информация.

Земята помага сама. Докато планетата се върти, всяка двойка телескопи вижда източника под малко по-различен ъгъл и за една нощ събира много такива мерки³. Така мрежата постепенно попълва части от огромно виртуално огледало. Разделителната способност, която се постига, е около 20 микроглови секунди. Националната научна фондация на САЩ я сравнява със способността да прочетете вестник в Ню Йорк от маса на тротоарно кафене в Париж.

За да се сравнят записите, всяка станция трябва да знае кога точно е пристигнал сигналът. Затова на всеки телескоп работи водороден мазер, атомен еталон за честота, а отчитането на времето е синхронизирано със сигнала на GPS². Една станция записва данни със скорост 64 гигабита в секунда върху 128 твърди диска едновременно, с общ капацитет около 1 петабайт. Дисковете работят на височина до 5100 м и през наблюденията от 2017 г. натрупват над 10 000 часа запис без нито една повреда.

Данните не се изпращат по мрежата. Модулите с дискове пътуват физически до два корелатора: половината честотна лента отива в обсерваторията Haystack на Масачузетския технологичен институт, другата половина в Института за радиоастрономия „Макс Планк“ в Бон². Там софтуер, пуснат на повече от 1000 процесорни ядра на всяко място, подравнява записите и ги сравнява по двойки. Точността стига дотам, че се отчита и движението на леда под Южнополюсния телескоп, който се измества с около 10 м годишно.

Защо точно милиметрови вълни

Изборът на дължина на вълната е компромис между няколко условия, които екипът изброява сам². Първото е резолюцията. На 1,3 мм най-дългите бази в мрежата, например от Южния полюс до Аризона, Хаваите или Испания, дават номинална разделителна способност около 25 микроглови секунди. Някои съвременни методи за изобразяване обикновено изваждат от същите данни 2 до 3 пъти по-фин детайл.



Образът на сянката на черната дупка в центъра на гигантската галактика от кupa в Дева, възстановен от радиоганните на мрежата Event Horizon Telescope. Снимка: Event Horizon Telescope, CC BY 4.0.

Второто условие е въздухът. Водната пара в атмосферата забавя милиметровите вълни по начин, който се мени с времето и посоката². Непрозрачността и турбулентността на въздуха са най-ниски нощем, през зимата и в началото на пролетта. На високите места, където са тези обсерватории, небето е достатъчно прозрачно за дълги общи наблюдения. Мрежата все пак си оставя прозорец около 2 пъти по-дълъг от планираните нощи и всяка вечер преглежда прогнозата, преди да започне.

Третото условие е самият газ около черната дупка. При по-дълги вълни той е непрозрачен за собственото си излъчване и скрива онова, което става близо до хоризонта. Около милиметъра газът става прозрачен и до нас стига светлина от дълбоко в гравитационната яма². Затова и радиотелескоп в орбита, който постига сходна разделителна способност на по-дълги вълни, не може да проникне през плазмата около хоризонта.

Четвъртото условие засяга черната дупка в нашата Галактика. Свободните електрони между звездите размиват радио-

образа ѝ. Размиването намалява с квадрата на дължината на вълната и при 1,3 мм престава да бъде водещо².

Как го разбраха

Мрежата не дава снимка в обичайния смисъл. За M87 има данни от 4 нощи, 5, 6, 10 и 11 април 2017 г., от 7 станции на 5 места¹. В три от нощите са записани съответно 18, 25 и 22 сеанса, а на 10 април само 7. Тези мерки покриват малка част от виртуалното огледало. Образът, който се получава от тях, зависи от решенията на човека, който го възстановява: кои данни да отхвърли, как да ги калибрира, колко голямо поле да покрие. Затова той е реконструкция, тоест най-правдоподобната картина, която се съгласува с измереното.

Екипът сам посочва защо това е опасно точно тук¹. Мрежата има по-малко станции от обичайните. Никой дотогава не беше правил радиообраз с тази техника на 1,3 мм. Нямаше и друг образ на черна дупка, с който да се сравни. При такива условия цяла група лесно вижда онова, което очаква. Авторите наричат това опасност от колективно потвърждаващо пристрастие.

Затова в първия етап работата е разделена между 4 независими екипа¹. В продължение на 7 седмици те работят върху данните от 11 април, без да общуват помежду си. Забранено им е да обсъждат резултатите си. Забранено е дори да споменават подробности за данните, например коя станция изглежда ненадеждна.

Екипи 1 и 2 използват методи на регуляризираната максимална правдоподобност, а екипи 3 и 4 предимно класическия алгоритъм CLEAN¹. Първият подход търси картината, която обяснява данните и при това остава възможно най-проста. Вторият сглобява образа стъпка по стъпка от точкови източници. Никой екип не знае какво са направили другите.

След това четирите образа се качват на общ сайт и се сравняват едновременно¹. И четирите показват асиметричен пръстен с диаметър около 40 микроглови секунди, по-ярък на юг. Различават се дебелината на пръстена и разпределението на яркостта по него. Част от разликите идват от това, че

екипите приемат различен общ поток на източника, от 0,4 до 0,9 янски.

Вторият етап намалява и ролята на личната преценка. Още преди наблюденията от 2017 г. колективът беше организиран състезания по възстановяване на образи от синтетични данни¹. Сега същият подход се прилага систематично. Програми възстановяват изкуствени данни от модели с предварително известен вид, със свойства, подобни на истинските, и се избират настройките, които връщат вярната картина. Едва тези настройки се прилагат към истинските данни от M87.

Последната проверка е времето. Пръстенът се появява при различни схеми на калибриране и изобразяване, а диаметърът и ширината му се запазват в 4-те наблюдения в различни дни⁴. Обявяването на 10 април 2019 г. е дело на екип от над 200 изследователи³. Директорът на проекта Шепърд Доулман (Sheperd Doleman) от Харвард-Смитсоновия център за астрофизика казва тогава: „Направихме първата снимка на черна дупка“.

Втората черна дупка и магнитните полета

На 12 май 2022 г. колективът показва и образа на черната дупка в центъра на Млечния път, Стрелец A*⁵. Тя е на около 27 000 светлинни години от нас и има маса около 4 млн. слънчеви. Тя е над 1000 пъти по-малка и по-лека от черната дупка в M87. Видяна от Земята, тя е голяма колкото поничка, поставена на повърхността на Луната.

Малкият размер създава нов проблем. Газът около нея обикаля много по-бързо и образът се мени още докато телескопите наблюдават. Един от астрофизиците в екипа го описва така: денят от живота на черната дупка в M87 съответства на минута от живота на черната дупка в нашата Галактика⁵. Затова публикуваният образ е средно от различните образи, които изследователите извличат от данните. Над 300 изследователи от 80 института работиха по него 5 години.

Междувременно данните от 2017 г. дадоха и още нещо⁶. През 2021 г. колективът публикува поляризацията на пръстена около M87. Поляризирана е само част от пръстена, най-силно

югозападната, където делът на поляризираната светлина стига около 15%. Посоките на поляризация образуват почти кръгов модел, а структурата им се променя в рамките на една седмица наблюдения. Такива образи носят информация за магнитните полета, които карат газа да свети.

Какво остава отворено

През 2023 г. дойде и първият анализ на кръговата поляризация в същите данни⁷. Екипът има убедителни данни, че такова излъчване съществува в мащаба на хоризонта, но средното му ниво е под 3,7%. Различните методи обаче дават доста различна картина за това къде точно е то. Авторите пишат, че изводите им силно зависят от допусканията при изобразяването, заради ограниченото покритие, несигурното калибриране на телескопите и слабия сигнал.

Изводът за физиката също е предпазлив. Резултатите подкрепят по-ранното предпочитание към модели, в които магнитното поле е толкова силно, че задържа падащия газ⁷. Специалистите ги наричат магнитно блокирани акреционни потоци. Това предпочитание идва от сравнение със симулации и не е пряко измерване на полето. И двата анализа на поляризацията стъпват на същите няколко нощи от април 2017 г.⁶.

Следващата стъпка е повече антени. Кампанията през март 2022 г. включи повече телескопи от всякога, а проектът за следващо поколение мрежа, ngEHT, цели да удвои броя на антените⁵. Повече бази означава по-малко празни места в покритието. А празните места са точно източникът на несигурност, който авторите посочват сами.

В Атакама антените на ALMA продължават да се обръщат нощем към различни точки от небето. Когато някоя нощ всички се насочат към M87, те стават част от една машина, която записва на дискове, а не върху филм². Пръстенът, който светът видя през 2019 г., е сглобен по този начин³: от сравнения между двойки далечни антени и от 4 екипа, които дълго не знаеха какво виждат другите¹.

КЛЮЧОВИ ЧИСЛА

55 млн. св. години

разстояние от Земята до черната дупка в М87³

6,5 млрд.

маса на черната дупка в М87, в слънчеви маси⁴

**42 микрозглоби
секунди**

видим диаметър на пръстена, с грешка ± 3

1,3 мм

дължина на вълната, на която наблюдава мрежата

7 седмици

толкова работят четирите екипа, без да говорят помежду си¹

27 000 св. години

разстояние до черната дупка в центъра на Млечния път⁵

Килограм без парче метал

Цилиндърът в трезора, константата на Планк и везната, която тегли с ток

Повече от век най-важният предмет в света на мерките стоеше в трезор с три ключалки в Севър, в покрайнините на Париж¹. Беше полиран цилиндър, голям колкото топка за голф, отлят през 1879 г. от сплав на 90% платина и 10% иридий². Официално се казваше Международен прототип на килограма, а метролозите му казваха Le Grand K, Големият К. Масата му беше килограмът по определение. Точността на всяко претегляне на планетата, от аптеката до кантара за камиони, зависеше от това колко добре тежестите са свързани с него.

На 20 май 2019 г. тази роля приключи³. От тази дата килограмът се определя чрез едно число от физиката, константата на Планк, а цилиндърът остава просто много добре измерена тежест. Как се дефинира маса без предмет, който да я въплъщава, и какво промени това за кухненската везна?

Еталонът, който не можеше да сгреша

По определение масата на прототипа беше точно 1 кг⁴. Ако той губеше атоми, с него ги губеше и килограмът, а никой нямаше как да го забележи пряко. Промяната можеше да се види само чрез сравнение с копията му. Прототипът имаше 6 официални копия, 8 работни еталона и още 2 копия за специални цели, всички от същата сплав.

Тези сравнения ставаха рядко, при така наречените периодични проверки през 1899–1911, 1939–1953 и 1988–1992 г.⁴. Резултатите не бяха успокояващи. През последния век повечето официални копия наддават спрямо прототипа, всяко с различно количество, средно с около 50 микрограма за 100 години.

Какво точно означава това, не може да се каже. Може копията да наддават. Може прототипът да губи маса. Според Националния институт за стандарти и технологии на САЩ (NIST) най-вероятно стават и двете неща⁴. Сплавта не ръждясва, но върху повърхността на метала полепва замърсяване от въздуха. Затова преди всяко повторно калибриране тежестите се почистваха с пара и се измиваха по строга процедура. През 2014 г. имаше и специално калибриране само със собствените еталони на Международното бюро за мерки и теглилки (BIPM). То не потвърди тенденцията: от третата проверка насам разликата между прототипа и 6-те му официални копия се е променила средно само с 1 микрограм⁵.

Под прототипа стоеше цяла верига. Много страни пазеха свои национални еталони и ги сверяваха с Париж. Съединените щати получават копията с номера 4 и 20, наречени K4 и K20, през 1890 г.². Сравнението на K20 с копие от Париж носеше неопределеност около 3,5 микрограма⁶. Докато веригата стигне до тежестите на клиентите, неопределеността нарастваше до около 20 микрограма на килограм.

Веригата се разтягаше и надолу. Килограм спрямо килограм се мери с неопределеност от няколко части на милиард¹. Милиграм, сравнен със същия килограм през дълга поредица от стъпала, вече има неопределеност от няколко части на десет хиляди. А от килограма зависят и други единици.

Нютонът, единицата за сила, е определен чрез него, а от нютона следват паскалът и джаулът, а оттам ватът и волтът⁴.

Константа вместо предмет

Решението да се смени дефиницията не дойде изведнъж. Генералната конференция по мерки и теглилки (CGPM) обяви на 21 октомври 2011 г., че килограмът и още 3 единици ще бъдат предефинирани чрез неизменни величини в природата⁴. За килограма такава величина е константата на Планк, която физиците бележат с h .

Връзката между маса и тази константа минава през две формули⁷. Първата е $E = mc^2$ на Айнщайн, според която масата е форма на енергия. Втората е $E = h\nu$, която Макс Планк изказва през 1900 г.. В нея енергията на квант светлина е честотата му, умножена по h . Вzeti заедно, двете формули показват, че масата, дори на обикновени предмети, е свързана с h по самата природа на нещата.

Преди новата дефиниция h се мереше спрямо килограма. Новата дефиниция обръща посоката. Числото пред h се фиксира завинаги. Килограмът следва от него. Точната стойност е $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ джаула по секунда, тоест $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-18}$. Метърът и секундата вече са вързани за скоростта на светлината и за честотата на един преход в атома на цезия. В тази мерна единица остава само едно неизвестно, килограмът.

Идеята да се фиксира h предлагат Питър Мор (Peter Mohr) и Бари Тейлър (Barry Taylor) от NIST в писмо до списание *Metrologia* през 1999 г.⁷. Гласуването е на 16 ноември 2018 г. във Версай, където делегатите на 60 държави приемат промяната единодушно³. Освен килограма се сменят дефинициите на ампера, келвина и мола. Резолюцията отменя изрично старата дефиниция, основана на прототипа⁸. Датата на влизане в сила, 20 май, повтаря деня, в който през 1875 г. 17 държави подписват Метричната конвенция².

Везната, която тегли с ток

Уредът, който прави дефиницията приложима, измисля Брайън Кибъл (Bryan Kibble) в Националната физична лаборатория на Великобритания през 1975 г.⁹. Дълго се нарича ватова

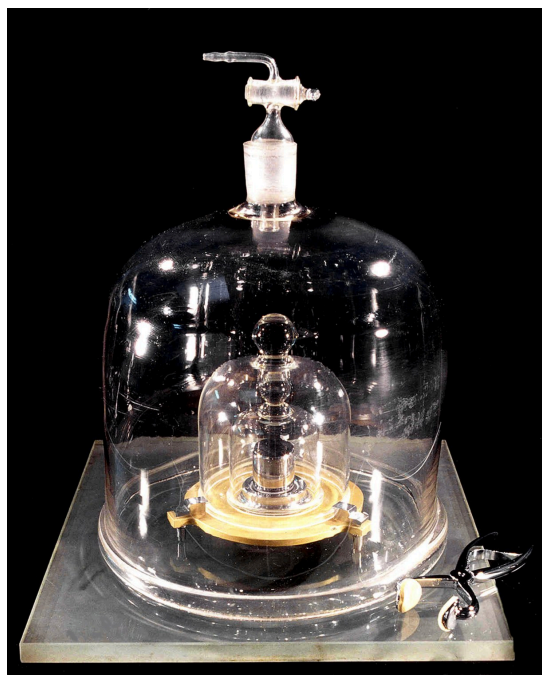
везна, а след смъртта на изобретателя през 2016 г. получава неговото име. Като всяка везна, тя уравновесява две сили. Едната е теглото на тежестта. Другата е силата върху намотка с ток, поставена в силно магнитно поле¹⁰.

Везната работи в два режима. В първия тежестта е върху блюдо, свързано с намотката, и токът се нагласява, докато силата нагоре уравни теглото¹⁰. Тази сила е равна на тока, умножен по магнитното поле и по дължината на жицата. Само че произведението от полето и дължината е изключително трудно да се измери пряко с нужната точност.

Вторият режим заобикаля проблема. Тежестта се маха, токът се изключва, а намотката се движи през същото поле с постоянна скорост¹⁰. В нея се индуцира напрежение, което зависи от същото поле, същата дължина и скоростта. Когато двете уравнения се съчетаят, неудобните величини се съкращават. Остава равенство между електрическа и механична мощност: токът по напрежението е равен на масата по земното ускорение и по скоростта.

Всяка величина в това равенство се мери много точно. Скоростта се следи с лазерен интерферометър, а местното земно ускорение се мери с абсолютен гравиметър в самата лаборатория¹⁰. Напрежението се мери чрез ефекта на Джозефсън с неопределеност около 1 част на 10 милиарда. Токът се определя през съпротивление, а съпротивлението се мери с квантовия ефект на Хол до около 1 част на милиард. И двата ефекта зависят от h и от заряда на електрона. Затова везна с известна маса може да измери h , а при фиксирано h същата везна измерва неизвестна маса.

Американската везна NIST-4 е висока около 2,5 м и работи под метален капак във вакуум, за да няма подемна сила от въздуха¹⁰. Намотката ѝ тежи 4 кг, има диаметър 43 см и в нея са навити около 1,4 км жица. Магнитът тежи 1000 кг и създава поле от 0,55 тесла, около 10 000 пъти по-силно от земното. Везната работи напълно от началото на 2015 г. и днес е официалният еталон на САЩ за маса, роля, която по-рано имаше K20.



Международният прототип на килограма под стъклени камбани, еталонът на масата до новата дефиниция. Снимка: BIPM, CC BY-SA 3.0 iŕo.

Сферата, която брои атоми

Към същата цел водеше и съвсем друг път. От началото на 1990-те години международна група, днес известна като Международния проект „Авогадро“, брои атомите в кълбо от силиций¹¹. Ако се знае колко атома има в едно тяло и колко тежи всеки от тях, се знае и масата на тялото. Кълбата са изрязани от кристал на силиций-28 и тежат по 1 кг.

Изработката им е отделно постижение. Сферата е с диаметър 94 мм и е толкова гладка, че ако се увеличи до размера на Земята, разликата между най-високия връх и най-дълбокия океан би била само 3–5 м¹¹. Кристалът е обогатен до 99,9995% силиций-28, така че почти всички атоми имат еднаква маса. Оптични интерферометри мерят диаметъра с точност до нанометри, а рентгеновата кристалография показва разстоянията между атомите в решетката. Всяка сфера струва около

3,2 млн. долара и е изработена на ръка от майстор на оптични лещи.

От тези измервания излиза стойността на константата на Авогадро, която казва колко частици има в един мол вещество. За новата система резултатът е $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ на мол, с неопределеност от 10 части на милиард¹¹. По тази стойност може да се стигне и до h . В работата участват лаборатории от Германия, Япония, Китай, Швейцария, САЩ, Италия, Белгия и самото BIPM. Двата метода не се състезават. И везната, и сферите влизат в окончателната стойност на h .

Как го разбраха

Конференцията не прие новата дефиниция, преди измерванията да покажат, че са готови. Условията бяха ясни: поне 3 независими опита с относителна неопределеност до 50 части на милиард, поне един от тях до 20 части на милиард, и съгласие помежду им при 95% доверие⁷. Крайният срок за подаване на резултатите беше 1 юли 2017 г.⁴. В седмиците преди него излязоха много статии с нови стойности на константите.

Условията се изпълниха в средата на 2017 г.⁷. Измерването на NIST с кибъл везна е с неопределеност 13 части на милиард. Канадският Национален изследователски съвет, който получава своята везна от британската лаборатория през 2009 г., стига до 9,1 части на милиард. Още 2 резултата с кибъл везна, сред тях на френската лаборатория LNE, също покриват изискванията. Към тях се добавят 4 измервания със силициевы сфери.

Работната група по фундаментални константи CODATA обработва всички измервания заедно. Резултатът е стойност на h с неопределеност 10 части на милиард и точно тя е фиксирана в новата дефиниция⁷. За маса от 1 кг 10 части на милиард са 10 микрограма. Това е по-малко от разминаването от около 50 микрограма, натрупано между стария прототип и копията му за век⁴.

Важна проверка е, че два напълно различни метода дават едно и също число¹¹. Везната мери електрическа мощност. Сферата брои атоми. Преди предефинирането резултатите от

няколко кибъл везни и от двете сфери на проекта „Авогадро“ се сравняват формално през 2016 г., за да се провери съгласуваността им⁹. Прегледът на Иън Робинсън (Ian Robinson) и Шефан Шламингер (Stephan Schlamminger) изброява везни в лаборатории в Корея, Франция, Швейцария, Нова Зеландия, Китай, САЩ, Великобритания, Канада, Турция и в самото BIPM. Постижимата неопределеност по тяхна оценка е около 2 части на 10^8 .

Има и една по-лека подробност. През декември 2013 г. членовете на екипа на NIST записват предварително каква стойност на h очакват да измери новата им везна⁷. Най-близо е гост-изследователят Шъсун Ли (Shisong Li) от университета Цинхуа, с разлика около 5 части на милиард от измереното.

Какво се промени на кухненската везна

За кухненската везна не се промени нищо и точно това беше целта. NIST пише, че след промяната никой няма да мери бананите си в магазина с кибъл везна¹². Тежестите от метал остават практическият инструмент за калибриране в администрацията, търговията и науката. Разликата е, че в края на веригата вече стои константа, а не предмет. Стойността на h е избрана така, че старият килограм и новият да съвпадат в рамките на точността на измерванията^{7, 8}.

Ползата е най-голяма при много малките и много големите маси. Досега пътят към милиграма минаваше през килограма и всяко стъпало добавяше грешка¹. Сега NIST реализира масите между 50 микрограма и 30 милиграма направо, с електростатична везна, без да минава през килограма⁶.

Остава един практически проблем. Кибъл везните работят във вакуум, а тежестите се използват във въздух¹². Когато метална тежест мине от въздух във вакуум, от повърхността ѝ се отделят слоеве молекули, предимно вода, и тази маса трябва да се отчете⁹. NIST е построил сравнител, в който тежест във вакуумна камера се сравнява с тежест във въздушна камера под нея чрез магнитна левитация⁶. Той различава 10 микрограма на килограм.

Какво още не е решено

Новата система се очакваше да започне с по-голяма неопределеност от старата. Първичното сравнение килограм с килограм на везната на NIST се очакваше да дава около 13 микрограма, срещу около 3,5 микрограма при сравнението на K20 с копие от Париж⁶. NIST смята, че неопределеността ще намалява с подобряването на техниката. Засега това е очакване.

Не е решено и как точно ще изглежда световната скала на масата. Робинсън и Шламингер пишат, че тя трябва да се изведе от голям брой независими първични измервания и от формални сравнения между тях⁹. Кибъл везните по света са малко: NIST пише за малко над половин дузина работещи уреда⁷. Някои организации може да построят свои, но повечето калибрирания ще се правят с физически тежести¹². Преносът от вакуум към въздух също още се усъвършенства. Новият магнитен сравнител на NIST е опит този пренос да не зависи от допускания за повърхността на материала⁶.

Цилиндърът от Севър получи с новата резолюция нещо, което никога не беше имал: собствена грешка. Масата му вече е 1 кг с относителна неопределеност $1,0 \times 10^{-8}$, като на

КЛЮЧОВИ ЧИСЛА

1879 г.

годината, в която е отлят международният прототип¹

**около 50
микрограма**

средно наддаване на копията спрямо прототипа за 100 години⁴

$6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$

точната стойност на h в джаула по секунда⁸

**9,1 части на
милиард**

неопределеност на канадското измерване на h ⁷

94 мм

диаметър на силициевата сфера на проекта „Авогадро“¹¹

20 май 2019 г.

влизане в сила на новата дефиниция³

всяка друга много добра тежест⁸. Кухненската везна показва същото, което показваше и преди.

Защо часовникът спря да чака Земята

Атомното време, високосната секунда и решението от Версай

В последната нощ на 2016 г. часовниците, сверени по световното време, показаха минута с 61 секунди: след 23:59:59 дойде 23:59:60 и едва след нея 00:00:00¹. В една голяма компания за интернет услуги точно в 00:00 по световно време част от сървърите, които отговарят кой адрес на кой сайт съответства, започнаха да връщат грешки². Инженерите откриха причината в една програма, която приемаше, че времето никога не тече назад. Проблемът продължи до 06:45 сутринта.

Тази допълнителна секунда беше 27-ата от 1972 г. насам и засега остава последната¹. Генералната конференция по мерки и теглилки (CGPM) реши на 15 октомври 2026 г., че от 20 май 2027 г. такива секунди няма да се добавят³, ⁴. Защо изобщо някой е добавял секунди към времето, защо това чупи компютри и какво точно беше решено във Версай?

Земята като часовник

Векове наред секундата беше част от денонощието. До 1960 г. тя се определяше като $1/86\,400$ от времето, за което Земята се завърта веднъж около оста си⁵. Учените обаче все по-ясно виждаха, че въртенето на планетата не е равномерно, и затова секундата не беше постоянна.

Преди атомите най-точните часовници бяха махалови и кварцови. Махаловият часовник на Рифлер, който от 1904 до 1929 г. е еталон за време в Националното бюро за стандарти на САЩ, днешния NIST, греша с около една стотна от секундата на ден, или около 3,5 секунди годишно⁵. През 1929 г. го заменя още по-съвършеният махалов часовник на Шорт, а кварцовите осцилатори стават основен еталон за честота и остават такъв до 1960-те години. И днес кварцът движи милиарди ръчни часовници.

През 1960 г. конференцията по мерки и теглилки опита с по-стабилен небесен часовник, обиколката на Земята около Слънцето⁵. Секундата стана $1/31\,556\,925,9747$ от тропическата година 1900. Определението беше много по-точно, но и изключително тромаво.

Земята е лош часовник по няколко причини наведнъж. Скоростта на въртене се мени, затова времето UT1, което следва действителното ѝ завъртане, понякога изостава, а понякога избързва спрямо равномерен часовник^{6, 7}. Анализ, публикуван в *Nature* през 2024 г., описва две от тези причини. Топенето на ледовете в Гренландия и Антарктида забавя въртенето. Течното ядро на планетата пък от 1972 г. насам забавя своето въртене с постоянно темпо, а това ускорява въртенето на останалата част от Земята.

Атомите като часовник

Атомите се оказват по-добър часовник: те позволяват секундата да се определи точно и така, че да не се променя с времето⁸. Атомът на цезия поглъща и излъчва микровълни с точно определена честота, когато най-външният му електрон обърне посоката на своя спин⁵. Броят на трептенията на тези вълни може да служи като махало, което не зависи от Земята.

Луис Есен (Louis Essen) от Националната физична лаборатория на Великобритания построява през 1955 г. часовник със сноп от цезиеви атоми⁵. Остава да се реши колко трептения да има в една секунда. Астрономите от Военноморската обсерватория на САЩ изчисляват продължителността на ефемеридната секунда по движението на Луната, а Есен и колега броят трептенията на цезия през една такава секунда. Резултатът, публикуван през 1958 г., има грешка от няколко части на милиард.

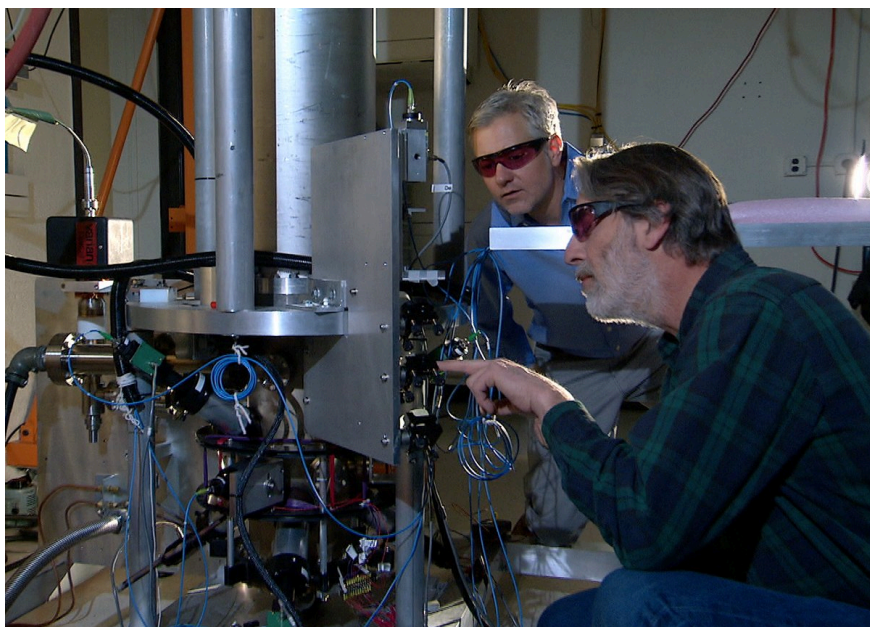
Генералната конференция определя през 1967 г. секундата като продължителността на 9 192 631 770 периода на излъчването при прехода между двете свръхфини нива на основното състояние на атома цезий-133⁹. Числото е избрано така, че атомната секунда да съвпада с астрономическата, която заменя⁵. Оттук насетне секундата идва от атома, а Земята само показва колко е часът спрямо небето.

Цезиевите часовници стават все по-добри. Първите американски еталони от 1959 и 1960 г. не биха избързали или изостанали с една секунда за 3000 години⁵. Часовникът NIST-7 от 1993 г. стига до една секунда за 6 млн. години. Следващата стъпка идва с лазерите. При стайна температура атомите на цезия се движат със стотици метри в секунда, а лазерното охлаждане ги забавя до няколко сантиметра в секунда¹⁰.

Така се появяват фонтанните часовници. В тях облак от охладени почти до абсолютната нула атоми се подхвърля нагоре и пада обратно, а по пътя си минава през микровълновото поле¹⁰. Американският фонтан NIST-F1 започва работа през 1999 г. с точност от една секунда за 20 млн. години. Наследникът му NIST-F2 от 2014 г. стига до една секунда за 300 млн. години, но трябваше да се охлажда с течен азот до около минус 200 °C и през 2015 г. беше спрял.

Две времена и секундата между тях

Днес над 400 атомни часовника в повече от 80 лаборатории от над 60 държави изпращат данните си до Международното бюро за мерки и теглилки (BIPM)¹⁰. BIPM изчислява от тях международното атомно време TAI и координираното



Физиците Стив Джефъртс и Том Хевнър до цезиевия фонтанен часовник на американския Национален институт за стандарти и технологии. Снимка: National Institute of Standards and Technology – Physics Laboratory: Time and Frequency Division, Public domain.

универсално време UTC⁶. UTC върви със същия ход като TAI и се различава от него само с цяло число секунди.

Това цяло число съществува заради договореност. UTC трябва да остава близо до UT1, времето, което описва действителното завъртане на Земята⁶. Службата за въртенето на Земята (IERS) следи разликата UT1 минус UTC. Когато се очаква тя да наближи 0,9 секунди, към UTC се добавя високосна секунда. Така UTC остава в рамките на $\pm 0,9$ секунди от UT1¹.

Първата високосна секунда е добавена на 30 юни 1972 г.¹. От тогава до края на 2016 г. са добавени общо 27. Всички досега са положителни, тоест минутата е получавала допълнителна секунда⁷. Затова днес TAI изпреварва UTC с 37 секунди.

Защо една секунда чупи компютри

Компютрите обикновено броят времето като непрекъснатата поредица от секунди. Минута с 61 секунди не влиза в тази

поредица¹. Различните оператори на мрежи и навигационни системи въвеждат високосната секунда по различни начини, които не следват общ стандарт⁶. Някои големи доставчици използват свои методи, за да избегнат скока в часовниците на сървърите си. Според CGPM това води до разминаване във времето между различните системи⁴.

Нощта срещу 1 януари 2017 г. показва какво може да се обърка². Една програма, която обслужва DNS заявките на компанията Cloudflare, измерва колко време отнема отговорът на други сървъри. Тя вади часа на началото от часа на края, като използва системния часовник. Когато часовникът се върна с една секунда назад, разликата излезе отрицателна. След няколко такива измервания и усредненото време стана отрицателно и стигна до функция, която избира към кой сървър да се обърне, а тази функция при отрицателен аргумент предизвиква авария в програмата.

Последиците бяха ограничени, но видими. В пика около 0,2% от заявките за имена към компанията бяха засегнати, а по-малко от 1% от уеб заявките върнаха грешка². Най-засегнатите машини бяха поправени за 90 минути, а пълната поправка беше готова в 06:45 по световно време. Подобни прекъсвания според CGPM крият риск от сериозни неизправности в сателитната навигация, телекомуникациите и преноса на енергия⁶.

Как го разбраха

Високосната секунда се добавя, когато въртенето на Земята изостане. Затова прогнозата за въртенето решава кога ще трябва следващата. От 1972 г. насам Земята винаги е изоставала и всички прекъсвания на UTC са били добавяне на секунда⁷. Измерванията от последните години обаче сочат друга посока.

Геофизикът Д. К. Агню (D. C. Agnew) от Института по океанография „Скрипс“ в Калифорния разделя причините една от друга⁷. Сателитната гравиметрия показва колко лед губят Гренландия и Антарктида. Топенето забавя Земята по-бързо от преди. Когато този ефект се извади от наблюдаваната

скорост на въртене, остава постоянното забавяне на течното ядро от 1972 г., което ускорява останалата част от планетата.

Ако тенденциите продължат, UTC в сегашния си вид ще има нужда от отрицателно прекъсване до 2029 г., тоест от отнемане на секунда⁷. Без ускореното топене на ледовете това би станало 3 години по-рано. Отрицателна високосна секунда никога не е прилагана и решението от 2022 г. отбелязва, че тя изобщо не е била предвиждана или изпробвана⁶.

През март 2025 г. работна среща на Консултативния комитет по време и честота (CCTF) и IERS стига до свой извод по друг начин⁴. Според нейната оценка вероятността за отрицателна високосна секунда ще расте бързо и до 2035 г. може да достигне 30%. Двете оценки не се сравняват пряко, защото са получени по различни методи. Те обаче сочат една посока.

Мнението на ползвателите също е събрано систематично. Преди решението от 2022 г. комитетът прави широко допитване сред метрологични, научни и технологични институции и други заинтересовани страни⁶. Отговорите потвърждават, че нещо трябва да се направи с прекъсванията в UTC. Според председателя на CCTF Ноел Димарк (Noël Dimarcq) дебатът е продължил 30 години³.

Какво реши конференцията

Резолюция 5 от 2026 г. казва, че непрекъснатото UTC влиза в сила на 20 май 2027 г.⁴. Най-голямата допустима разлика между UT1 и UTC става 3600 секунди, един час. Още през 2022 г. конференцията реши тази граница да бъде увеличена най-късно до 2035 г.⁶. Комитетът CCTF предложи процесът да бъде ускорен³.

Документът изброява и рисковете от отлагане⁴. Подготовката за отрицателна секунда би струвала на индустрията сума, сравнима с подготовката за милениумния бъг. Интернетът на нещата, умните електрически мрежи и разпръснатите сензори правят всяка високосна секунда по-опасна. А ако промяната в UTC се забави, някои организации може да минат към времето на навигационните спътникови системи и да изоставят общия световен стандарт.

Едночасова разлика звучи голяма, но резолюцията напомня, че хората вече живеят с такава⁴. В много държави заради часовите зони местното слънчево време се разминава с гражданското с повече от час, а лятното часово време мести часовниците с цял час. Които се нуждаят от UT1, ще го намират в навигационните съобщения на спътниковите системи и в услугите на IERS. Според решение на Международния съюз по далекосъобщения радиостанциите, които предават разликата, получават преходен период до 2035 г., а при оборудване, което не може да се смени по-рано, до 2040 г..

В същия ден конференцията прие още 2 резолюции за времето³. Резолюция 4 подготвя ново определение на секундата, което да се гласува през 2030 г.. Оптичните честотни еталони вече надминават цезиевите фонтани до 100 пъти по точност⁹. Резолюция 6 започва работа по международна времева скала за Луната, проследима до UTC.

Какво остава отворено

Никой от цитираните документи не казва кога разликата между UTC и въртенето на Земята ще стигне един час. Резолюцията говори за непрекъснатост за няколко века⁴. Председателят на ССТФ в изявлението си говори за няколко хилядолетия³. Нито един от двата документа не дава изчисление зад тази оценка.

Не е известно и как ще се държат всички системи около 20 май 2027 г.⁴. Резолюцията възлага на BIPM да информира ползвателите, да следи разликата UT1 минус UTC и прогнозите за нея и редовно да докладва. Не е решено и как ще изглежда новата секунда. Обсъждат се 2 варианта: един-единствен оптичен преход или претеглено средно от честотите на няколко прехода³. Консенсус още няма, а някои сравнения между оптични еталони показват забележими несъответствия⁹.

Критериите, които трябва да се изпълнят преди гласуването, са строги. Оптичните часовници трябва да покажат неопределеност, равна на по-малко от една секунда грешка за 16 млрд. години, а поне 3 метрологични института трябва да потвърдят това със съгласие на ниво под една секунда

за 6 млрд. години¹¹. Международното атомно време пък трябва всеки месец да се калибрира с поне 3 различни оптични часовника. Председателят на ССТФ признава, че 2 от задължителните критерии са още далеч от изпълнение, сред тях именно приносът на оптичните еталони към атомното време³. Според него те могат реалистично да бъдат изпълнени до 2030 г. с координирани международни усилия.

Лунното време носи свои въпроси. Резолюция 6 насърчава космическите агенции да споделят как свързват лунното време с UTC и как отчитат ефектите на относителността и неопределеностите³. Целта е да няма няколко съперничаещи си лунни времена, а едно, проследимо до UTC.

Последният път, когато часовниците показаха 23:59:60, беше нощта срещу 1 януари 2017 г.¹. Фонтанните часовници продължават да подхвърлят атоми нагоре и да броят трептенията им¹⁰. Земята продължава да се върти малко по-бавно или малко по-бързо от тях. От 20 май 2027 г. тази разлика ще се трупа тихо, без да прекъсва минутата⁴.

КЛЮЧОВИ ЧИСЛА

9 192 631 770

трептения на излъчването на цезий-133 в една секунда⁹

27

високосни секунди, добавени от 1972 г. до края на 2016 г.¹

37 секунди

с толкова атомното време TAI изпреварва UTC

30%

вероятност за отрицателна високосна секунда до 2035 г.⁴

3600 секунди

най-голямата допустима разлика между UT1 и UTC

20 май 2027 г.

датата, от която UTC става непрекъснато

Как се претегля произходът на водата

Тежкият водород като отпечатък: комети, астероиди и газът около младото Слънце

На 6 август 2014 г. европейската сонда „Росета“ стига до кометата 67P/Чурюмов–Герасименко¹. На борда ѝ има масспектрометър, уред, който сортира молекулите по тежест. През следващия месец той събира над 50 спектъра от газа около ледената скала. Целта е една тънка разлика в масата на водородните атоми във водата на кометата.

Въпросът в чашата

Според една от водещите хипотези Земята се е образувала преди около 4,6 млрд. години толкова гореща, че първоначалната ѝ вода би трябвало да се изпари¹. Днес вода покрива около две трети от повърхността ѝ. Значи водата е или дошла покъсно отвън, или е оцеляла скрита някъде в планетата. Откъде е тогава водата на Земята?

Кандидатите са три. Първият са кометите, ледени тела от покрайнините на Слънчевата система. Вторият са астеро-

идите и по-точно онези от тях, чиито парчета падат на Земята като въглеродни хондрити, каменни метеорити с вода, вързана в минералите. Третият е най-неочакваният: газът около младото Слънце, наречен слънчева небула, който е бил главно водород.

Никой не е видял как водата пристига. Затова въпросът се решава по следи, оставени в самата вода. Най-полезната от тях е скрита в атомите на водорода.

Тежкият водород

Обикновеният водороден атом има ядро от един протон. Една малка част от водородните атоми имат в ядрото и неутрон¹. Този тежък водород се нарича деутерий. Химически той се държи почти като обикновения водород и влиза в молекулите на водата по същия начин. Молекулата обаче става малко по-тежка и уред, който мери масата, я различава.

Отношението между двата вида водород се записва като D/H, деутерий към водород. В морската вода то е измерено много точно: на всеки милион водородни атома се падат около 156 атома деутерий². Това число е мярката, с която се сравнява всичко останало.

Отношението не е еднакво навсякъде в Слънчевата система. Теоретичните симулации показват, че D/H би трябвало да се мени с разстоянието от Слънцето и с времето в първите няколко милиона години¹. Тяло, образувано далеч в студа, и тяло, образувано близо до Слънцето, би трябвало да носят различна смес от двата вида водород. Затова отношението работи като пощенски печат: показва горе-долу откъде е тръгнала водата.

Печатът има и слабост. Вода с едно и също D/H може да е дошла от два различни източника, които случайно си приличат. Обратното обаче е по-силно: ако един източник има съвсем различно отношение от земната вода, той не може да е главният ѝ доставчик.

Трите кандигата на кантара

Въглеродните хондрити дават около 140 атома деутерий на милион². Това е близо до морската вода, малко по-ниско.

Затова дълго време астероидите са били любимият кандидат. Те съдържат много по-малко вода от кометите. Но достатъчно много удари биха могли да донесат вода за цели океани¹.

Кометите изглеждаха по-зле. Те идват от два резервоара. Кометите от Оортовия облак са се образували в областта на Уран и Нептун и после са изхвърлени далеч навън¹. Кометите от семейството на Юпитер вероятно са се образували в пояса на Кайпер, отвъд Нептун, и след като бъдат изместени към вътрешната част на системата, орбитите им се управляват от гравитацията на Юпитер. Средното отношение при шест комети от далечния Оортов облак е около 296 на милион, приблизително двойно на земното². Ако океаните бяха дошли главно от такива комети, щяха да са по-тежки.

Слънчевата небула е на другия край на скалата. Газът, от който е възникнало Слънцето, е бил беден на деутерий. Вода с водород от небулата би трябвало да има по-ниско D/H от морската³.

Така отношението подрежда кандидатите на една линия. Отляво е небулата с малко деутерий, в средата са астероидите и Земята, вдясно са кометите. Задачата е да се разбере къде точно на тази линия стои земната вода и дали не е смес от няколко точки.

Как го разбраха

Първият изненадващ резултат дойде от космическия телескоп „Хершел“. През 2011 г. екип с първи автор Паул Хартог (Paul Hartogh) публикува D/H на кометата 103P/Хартли 2². Стойността е около 161 на милион, в рамките на грешката същата като в океана. Кометата е от семейството на Юпитер, тоест от комети с по-къси орбити, за които се смята, че идват от пояса на Кайпер. За кратко изглеждаше, че поне този вид комети може да е донесъл вода като земната. От 11 комети, измерени дотогава, само тя съвпаднаше със земната вода¹.

Измерванията от телескоп гледат кометата отдалеч, през светлината на газа ѝ. „Росета“ можеше да опита газа на място.

Кометата 67P също е от семейството на Юпитер и обикаля Слънцето за около 6,5 години¹. Маспектрометърът на уреда ROSINA разделя молекулите по маса, така че водата с един



Земята, заснета от екипажа на „Аполо 17“ на път към Луната. Снимка: NASA/Apollo 17 crew; taken by either Harrison Schmitt or Ron Evans, Public domain.

деутериев атом се отделя от обикновената. Това е пряко измерване на D/H в такава комета на място⁴. Уредът намери в газа ѝ D/H от около 530 на милион, приблизително три пъти повече от земното. Разликата е голяма. Резултатът е публикуван в списание Science на 10 декември 2014 г.. Ръководителката на уреда Катрин Алтвег (Kathrin Altwegg) обяснява, че находката изключва идеята кометите от семейството на Юпитер да съдържат само вода като земната. Две комети от едно семейство дават стойности, които се различават повече от три пъти².

Третата линия на доказателства идва отвътре. Морската вода не е непременно първоначалната вода на Земята. Тя се изпарява, вали, потъва с плочите в мантията и излиза отново с вулканите. Лидия Халис (Lydia Hallis) и колеги от Хавайския университет търсят през 2015 г. вода, останала изолирана от този кръговрат³. Те анализират лави от остров Бафин и от Исландия, които извира от дълбоката мантия. Отношението там се оказва ниско, с δD под -218 промила, тоест с повече от една пета по-малко деутерий от морската вода. Авторите тълкуват това така: в недрата има съставка, чийто водород е наследен направо от протослънчевата небула.

Четвъртата линия са самите метеорити. Лорет Пиани (Laurette Piani) и колеги измерват през 2020 г. водорода в енстатитни хондрити⁵. Тези метеорити са смятани за почти сухи, защото са се образували в горещата вътрешна част на Слънчевата система. По изотопния си състав за много елементи те приличат на земните скали. Измерването показва, че съдържат достатъчно водород за поне три пъти масата на океаните. Отношенията на водородните и азотните изотопи в тях съвпадат с тези в земната мантия. Ако Земята е изградена главно от подобен материал, голяма част от водата ѝ може да е била в нея от самото начало.

Петата линия дойде от астероид. Японската сонда „Хаябуса 2“ донесе на Земята частици от астероида Рюгу⁶. Ричард Грийнуд (Richard Greenwood) и съавторите му публикуват в края на 2022 г. измерване на кислородните изотопи в 4 от тях. Частиците най-много приличат на редките хондрити от тип CI. Авторите заключават, че подобен материал е широко разпространен сред въглеродните астероиди. Според тях такива астероиди може да са по-важен източник на вода, отколкото личи от метеоритите в музейните колекции.

Пет линии, пет метода. Телескопите мерят комети отдалеч. Сондата мери кометата отблизо. Геохимиците мерят древни лави. Лабораториите мерят паднали метеорити. Друга лаборатория мери астероиден прах. Заедно те стесняват кръга.

Моделът с водорода в ядрото

Ниското D/H в дълбоките лави иска обяснение. Едно такова обяснение дава модел на Джун Ву (Jun Wu), Стивън Деш (Steven Desch) и колеги от Аризонския държавен университет, публикуван през октомври 2018 г.⁷. Моделът им съчетава астероидната вода с водород от небулата.

Единицата, с която работят, е „океан“. Един океан е масата на водата в днешните океани. Така се сравняват източници, които иначе биха се мерили в трудно представими тонове.

Сценарият е следният. Земята е израснала от по-малки тела, наречени планетни зародиши. При сблъсък повърхността на най-големия зародиш се стопява в магмен океан⁸. Около Слънцето още има газ и стопената скала поема водород от него. После желязото потъва към центъра и образува ядрото. Желязото взема със себе си предимно лекия водород, а деутерият остава в магмата, от която става мантията.

Авторите проверяват около 10 000 комбинации от двата източника⁷. Моделът трябва да даде около три океана вода в мантията и на повърхността и D/H на силикатната Земя около 150 на милион. Най-добре пасват комбинации с малко над 0 до половин океан водород от небулата и 7 до 8 океана от хондрити. Около 60 % от целия водород отива в ядрото, а отношението там пада до около 130 на милион.

Делът на небулата в този модел е малък. Ву го описва така: „На всеки 100 молекули земна вода една или две идват от слънчевата небула“⁸. Моделът обаче обяснява защо в материал от границата между ядрото и мантията има по-малко деутерий. Обяснява също защо в недрата има слънчев неон и хелий⁷.

Какво още се спори

Картината се усложни и откъм кометите. Д. К. Лис (D. C. Lis) и колеги измерват през 2019 г. кометата 46P/Виртанен с летящата обсерватория SOFIA⁹. Отношението е около 161 на милион, като в океаните. Екипът забелязва закономерност в наличните данни. Кометите, при които над 0,5 от повърхността е активна и изпуска газ, обикновено имат D/H като земното. Едно обяснение е, че такива комети имат

допълнителен източник на вода, ледени зрънца, изхвърлени от ядрото. Възможно е също такива комети да са се образували точно отвъд снежната линия, границата, отвъд която водата замръзва, или в най-външните части на небулата, от вода, преработена във вътрешната част на диска и пренесена навън. Самите автори посочват довод срещу първия вариант. Друго обяснение е, че отношението се променя при самото изпаряване. Ако е вярно второто, всички комети може да имат вода, подобна на земната, и сравнението трябва да се преосмисли.

Остава и ядрото. Не е известно колко водород наистина е в него. Числото 60 % е резултат от модела, а не измерване⁷. Никой не може да вземе проба от ядрото, а коефициентът, с който желязото разделя двата вида водород, е трябвало да бъде оценен⁸.

Въпросът стига и отвъд Слънчевата система. Ву смята, че ако моделът е верен, водата би се появявала неизбежно на всяка достатъчно голяма скалиста екзопланета⁸. Това е следствие от модела. Наблюдение, което да го потвърди, засега няма.

Днес се обсъждат няколко източника едновременно: въглеродни астероиди, материал като енстатитните хондрити и водород от небулата. Те не се изключват. Спорът е за дяловете и за това кой от тях е бил главният. Единственото, което измерванията отхвърлят доста уверено, е, че океаните са дошли главно от комети като 67P⁴.

Чаша вода от чешмата изглежда еднаква, откъдето и да е дошла. Само уред, който претегля атомите, вижда, че на всеки милион водородни атома в нея около 156 са малко по-тежки². Същата разлика търсеше и уредът на „Росета“ в газа около кометата.

КЛЮЧОВИ ЧИСЛА

около 156 на милион	атоми деутерий на милион водородни в морската вода ²
около 530 на милион	същото отношение в газа на кометата 67P ⁴
пог -218 промила	δD в лави от дълбоката мантия ³
около 10 000	комбинации от източници, проверени в модела от 2018 г. ⁷
около 60 %	дял на водорода, отишъл в ядрото според модела
4	частици от астероида Рюгу с измерени кислородни изотопи ⁶

Континентът, който потъна в учебниците

Лемурия: как се роди една разумна хипотеза и как я провериха

В английското издание на книга на германския биолог Ернст Хекел от 1876 г. има карта на света¹. В Индийския океан, между Африка и Индия, на нея е нарисувана суша, каквато никой атлас днес не показва. Надписът върху нея гласи „Рай“. Хекел я смята за възможната прародина на човека.

Животни на грешното място

Сушата има име и автор. През 1864 г. британският юрист и зоолог Филип Склейтър (Philip Sclater) публикува в *The Quarterly Journal of Science* кратко есе, озаглавено „Бозайниците на Мадагаскар“¹. Есето му е посветено на въпрос, който звучи скромно: защо едни животни живеят тук, а други там.

Мадагаскар му създава проблем. На острова живеят лемури, група примати. Под това име Склейтър включва и сродни на тях примати, а техни вкаменелости има в Мадагаскар и в Индия, но не и в Африка или Близкия изток². Мадагаскар

е отделен от Индия с хиляди километри открит океан. Как сродни животни са се озовали от двете му страни?

Отговорът на Склейтър е смел. Той предполага, че някога голям континент е заемал части от Индийския и Атлантическия океан¹. После континентът е потънал и от него са останали острови. Склейтър предлага и име за изчезналата суша, по животните, заради които я измисля: „Бих предложил името Лемурия“.

Мостове, които потъват

Днес това звучи като фантазия. През XIX век е било нормално научно обяснение. Никой още не знае, че континентите се движат. Ако един вид живее на два бряга, разделени от море, най-простото предположение е, че между тях някога е имало суша.

Склейтър не е първият. Френският естественик Етиен Жофроа Сент-Илер (Étienne Geoffroy Saint-Hilaire) пише за връзка между Мадагаскар и Индия още около 1840 г.¹. Алфред Ръсел Уолъс (Alfred Russel Wallace) предлага през 1859 г. потънал континент, за да обясни животните на остров Сулавеси. По-късно Уолъс става един от най-красноречивите критици на теорията за потънали суши. Геолозите на свой ред търсят обяснение за поразителните прилики между скалите на различни континенти. През 1886 г. първия систематичен опит прави Мелхиор Ноймайр (Melchior Neumayr) в книгата си „История на Земята“².

Самият Склейтър по-късно става по-предпазлив. В книга от 1899 г. той пише само, че Лемурия трябва да се е простирила през Индийския океан и Индийския полуостров до другия бряг на Бенгалския залив¹.

Логиката на мостовете е стройна. Видовете не прелитат океани. Сходните скали на два континента не се образуват случайно. Значи между тях е имало суша, която по-късно е изчезнала. Картите от онова време показват големи мостове през Атлантическия и Индийския океан³.

Хипотезата на Склейтър има и още едно достоинство: тя може да се провери. Ако континент е потънал, той трябва да е оставил следи. Ако не е, друг механизъм трябва да обясни

хипотетична схема на произхода на човека от Лемурия и на разселването му по Земята.

Как го разбраха

Проверката идва от геологията и започва с човек, който не е геолог³. Алфред Вегенер (Alfred Wegener) представя на 6 януари 1912 г. пред Германското геоложко дружество хипотезата, че континентите се движат. През 1915 г. той я разширява в книгата „Произходът на континентите и океаните“.

Вегенер чете подобни доказателства по съвсем друг начин. Вкаменелости на сладководното влечуго мезозавър се намират и в Бразилия, и в Южна Африка³. Вкаменелости на листрозавъра има в скали на една и съща възраст в Африка, Индия и Антарктида. Бреговете на Южна Америка и Африка изглеждат така, сякаш пасват едни с други. Обяснението на Вегенер е, че тези земи някога са били една суша, която после се е разделила и раздалечила.

Картите с мостове не обясняват и друго. В Индия, Австралия и Южна Африка има следи от древни залеждания³. Днес тези земи са далеч една от друга и далеч от полюсите. Мост между тях не прави климата им по-студен.

Срещу потъналите мостове той има и физичен довод. Гранитът на континентите има плътност около $2,7 \text{ г/см}^3$, а скалите под него около 3 г/см^3 ³¹. Континентът е по-лек от онова, върху което лежи, и плава върху него като лед във вода. Цял континент не може просто да потъне.

Геолозите не приемат Вегенер веднага. Той не е геолог, а липсва и правдоподобна сила, която да движи континентите³. Неговата оценка за скоростта, около 250 см годишно, е неправдоподобно висока. Хипотезата обяснява много, но не казва как става.

Липсващото парче идва бавно, през половин век измервания. Артър Холмс (Arthur Holmes) предлага през 1931 г. като двигател бавните течения в мантията³. През 1947 г. експедиция под ръководството на Морис Юинг (Maurice Ewing) потвърждава подводен хребет в средата на Атлантическия океан. Между 1959 и 1963 г. изследователи откриват по океанското дъно магнитни ивици с редуваща се полярност,

подредени като райета на зебра. Те показват, че дъното се ражда в хребетите и се разширява. Робърт Диц (Robert Dietz) нарича процеса разширяване на океанското дъно. Ивиците работят като запис на магнетофонна лента. Всяка ивица е застинала в определено време и пази посоката на тогавашното магнитно поле. Към 1967 г. тектониката на плочите вече е приета като основа на геофизиката. Година по-късно сеизмолозите Брайън Айзакс (Bryan Isacks), Джек Оливър (Jack Oliver) и Лин Сайкс (Lynn Sykes) добавят подкрепа от земетресенията.

Лемурия не е опровергана с един опит. Тя постепенно става излишна за геолозите. Всичко, което обяснява, вече има по-добро обяснение.

Новата теория обяснява лемуриите по-добре от Лемурия. Мадагаскар и Индия наистина са били части от една суша, суперконтинента Гондвана. Мадагаскар се откъсва от Африка преди около 160 млн. години, а от Индия преди около 80–90 млн. години⁴. Индия продължава на север, а Мадагаскар остава на място.

Остава въпросът как лемуриите са стигнали до острова. Най-приетото обяснение е, че предците им са дошли от Африка случайно, върху плаващи маси растителност⁴. Мозамбическият пролив е широк поне около 560 км. Уилям Дилър Матю (William Diller Matthew) предлага такова обяснение за бозайниците на Мадагаскар още през 1915 г.. През 1940-те години Джордж Гейлорд Симпсън (George Gaylord Simpson) нарича подобни редки случайни прехвърляния „лотария“.

Идеята за сал от растения изглежда като отчаян ход, докато не се изчисли. Джейсън Али (Jason Ali) и Матю Хубер (Matthew Huber) моделират през 2010 г. древните океански течения⁵. Според тях през палеогена теченията са текли на изток, от Африка към Мадагаскар, тоест обратно на днешните. Преди около 60 млн. години Мадагаскар и Африка са били с около 1650 км по-на юг⁴. По-силните течения биха съкратили пътуването до 30 дни или по-малко, което малък бозайник може да преживее. По-късно островът се измества на север, теченията се обръщат на запад и пътят се затваря. Според

авторите изчисленията им са и довод срещу алтернативата със сухоземен мост.

Има и ирония. Под Индийския океан наистина има късове потънала континентална кора. Микроконтинентът Маврития се откъсва от Индия преди около 60 млн. години⁶. Луис Ашуал (Lewis Ashwal) и колеги съобщават през 2017 г. за находка от остров Мавриций⁷. В скали, стари 5,7 млн. години, те намират цирконови кристали на 2,5 до 3 млрд. години. Според авторите това показва, че под острова лежи древна континентална кора. Маврития обаче е била част от сушата между Индия и Мадагаскар, преди те да се разделят.

Как една опровергана идея оцеля

Отначало идеята живее и в популярната наука. Хърбърт Уелс (H. G. Wells) допуска в „Очерк на историята“ от 1919 г., че предците на неолитните народи може да са се развили някъде в Югозападна Азия или в област, която днес е под Средиземно море или Индийския океан¹.

Докато геолозите изоставят Лемурия, името ѝ тръгва по друг път. През 1888 г. теософката Елена Блаватска издава „Тайната доктрина“². В нея човечеството минава през поредица „коренни раси“, като третата живее на Лемурия, преди Атлантида.

През 1894 г. в САЩ излиза окултната книга на Фредерик Спенсър Оливър (Frederick Spencer Oliver) „Обитател на две планети“². Според нея оцелели лемурийци живеят в тунели под планината Шаста в Калифорния. Писателят Джеймс Чърчуърд (James Churchward) премества изгубената земя в Тихия океан и я нарича Му в книга от 1926 г.⁸. Самото име Му идва от грешен превод, който Шарл Етиен Брасьор дьо Бурбур (Charles Étienne Brasseur de Bourbourg) прави през 1864 г. на маянския ръкопис, известен днес като Мадридския кодекс.

В Южна Индия тамилски автори започват от края на 1890-те години да обсъждат идеята за потънала тамилска родина⁹. Името Кумари Кандам за нея се появява през 1930-те години. Повечето европейски и американски геолози обаче датират хипотетичното изчезване на Лемурия много преди появата на съвременния човек.

Историята на тази идея показва нещо обикновено. Научната хипотеза се изоставя, когато друга обяснява същите факти по-добре. Името обаче остава в употреба и извън науката, в книги за изгубени раси, тайни знания и прародини на цели народи.

Какво още е отворено

Самата Лемурия не е отворен въпрос. Геолозите са категорични, че континент не може да потъне или да бъде унищожен за краткото време, описано в легендите⁸. По дъното на океаните няма следа от такава суша.

Отворени са въпросите, които Склейтър е искал да реши. Не е ясно кога точно лемуриите са пристигнали в Мадагаскар. Молекулярните изследвания поставят отделянето на лемуриите от лорите преди около 62–65 млн. години⁴. Генетичните тестове заедно с африканските вкаменелости сочат по-скоро 50–55 млн. години. Най-старите вкаменелости на лемури в Мадагаскар са сравнително млади, от късния плейстоцен, така че прякото свидетелство за пристигането липсва.

Моделът със саловите също е модел. Той показва, че пътуването е било възможно, а не че е станало точно така⁴. Не е известно и докъде точно се простира Маврития⁶. Една ивица в гравитационното поле подсказва, че може да е дълга около 1500 км, от Сейшелските острови до Мавриций.

Дори броят на лемуриите се мени. Признатите видове и подвидове са нараснали от 33 през 1994 г. до около 100 през 2008 г.⁴. Някои специалисти смятат, че истинският брой на видовете е по-близо до 50.

Картата на Хекел се пази и днес. Сушата в Индийския океан е там, с надписа „Рай“, откъдето според Хекел хората са се разселили по Земята¹. На съвременна карта на същото място има само вода и разпръснати острови, сред тях Мадагаскар с лемуриите.

КЛЮЧОВИ ЧИСЛА

1864 г.

Склейтър предлага името Лемурия¹

6 януари 1912 г.

Вегенер представя дрейфа на континентите³

2,7 и 3 г/см³

плътност на гранита и на скалите под него

80–90 млн. години

откакто Мадагаскар се е отделил от Индия⁴

30 дни или по-малко

възможното пътуване на сал от Африка до Мадагаскар

2,5–3 млрд. години

възраст на цирконите под остров Мавриций⁷

Как прилепът вижда с ушите си

Вик, ехо и милисекунди: картината на света, сглобена от звук

Италианският естествоизпитател Лацаро Спаланцани (Lazzaro Spallanzani) има опитомена забулена сова¹. На светлината на слаба свещ тя лети из стаята без грешка. Когато свещта угасне, птицата се блъска в стената. Наблюдението подтиква Спаланцани да провери как се справят в пълен мрак прилепите.

Въпросът в тъмната стая

Прилепите ловуват нощем, между клони, под мостове, в пещери. Те хващат комари и молци в полет, без да се блъскат в нищо. Очите им работят, а някои летят и през деня². Но в тъмното очите не могат да им помогнат повече, отколкото помагат на совата на Спаланцани.

Какво тогава замества зрението? Отговорът отне почти 150 години^{3, 4}. Прилепът сглобява картина на света от ехото на собствения си глас. Процесът се нарича ехолокация и при прилепите е изпитан до милисекунди.

Вук и ехо

Принципът е прост. Прилепът издава кратък звук и слуша какво се връща⁵. Звукът се отразява от насекомото, от листата, от стената на пещерата. Ехото носи няколко вида информация едновременно.

Първата е разстоянието. Звукът във въздуха пътува с крайна скорост, затова ехото закъснява. От насекомо на 1 м то се връща за около 6 милисекунди⁵. От насекомо на 2 м закъснението е двойно. Прилепът не мери метри, а време, и мозъкът му превръща времето в разстояние.

Ехото казва също къде е целта и колко е голяма⁵. Формата на външното ухо помага да се улови отражението. По-високите честоти дават по-подробни сведения: размер, разстояние, положение, скорост и посока на полета на плячката.

Викове на повечето прилепи са ултразвук. Обикновено честотата им е между 20 и 200 кХц, а човешкият слух свършва около 20 кХц⁵. Затова нощното небе ни изглежда тихо, макар да е пълно с викове.

Високата честота има причина. Колкото по-къса е звуковата вълна, толкова по-дребни подробности може да опише. Високите честоти обаче имат и цена: въздухът ги поглъща по-силно. При 25 °C и 80 % влажност звукът губи 1,4 децибела на метър при 45 кХц и 4 децибела на метър при 90 кХц⁶. При цел на 5 м звукът изминава 10 м до целта и обратно и губи от въздуха около 14 децибела при по-ниската честота и около 40 при по-високата. Ниските честоти стигат по-далеч, а високите служат за близък и подробен оглед.

Ритъмът на лова

Докато търси, прилепът вика сравнително рядко. Когато засече насекомо, ритъмът се ускорява. Близко до плячката импулсите стават над 160 в секунда⁶. В последната фаза, наречена „бръмчене“, те понякога надхвърлят 200 в секунда.

Цялото преследване често трае под половин секунда⁶. При над 200 вика в секунда между два вика остават под 5 милисекунди. За това време може да се върне ехо само от предмет, по-близък от около 80 см⁵.

Силата на вика също се мени. При предвидим подход прилепът намалява вика с около 6 децибела всеки път, когато разстоянието до целта се намали наполовина⁶. В природата при отделни подходи понижението е много по-рязко, до 30 децибела при всяко намаляване наполовина. Причината е в ехото. При постоянна сила на вика то би ставало с 12 децибела по-силно при всяко намаляване наполовина и между 5 м и 5 см би нараснало с около 80 децибела. Според авторите на прегледа така ехото, което прилепът чува, остава с относително стабилна сила. Плячката пък не получава посилен звук, докато ловецът се приближава.

Накрая на гонитбата гладконосите прилепи свалят честотата с около октава⁶. При водния нощник например тя пада от около 55 на около 27,5 кХц. По-ниската честота разширява значително звуковия лъч в последната фаза на преследването.

Как прилепът не оглушава

Повечето видове създават звука с ларинкса, както ние говорим, а няколко вида щракат с език⁵. Подковоносите и листоносите от Стария свят пускат вика през носа. Месестите израстъци около ноздрите им действат като рупор.

Виковеите могат да бъдат много силни. Ловуващите на открито прилепи достигат 140 децибела и повече, мерено на 10 см от устата⁶. Така наречените „шепнещи“ прилепи стигат до около 110 децибела. Повечето видове могат да менят силата на вика си в обхват поне 30–40 децибела.

Ухо, достатъчно чувствително за слабото ехо, би трябвало да пострада от такъв вик. Защитата е механична. Малък мускул в средното ухо се свива около 6 милисекунди преди вика и отслабва предаването на звука⁵. Той се отпуска 2 до 8 милисекунди по-късно. Слухът се връща почти веднага и заварва слабото ехо.

Кратко щракане и гълъз тон

Сигналите са два основни вида⁵. Единият е честотно „плъзгане“, кратък вик, при който честотата бързо пада. Другият е тон с почти постоянна честота. Повечето видове съчетават двата.



Кафяво прилепче в полет по згряч, един от най-често срещаните гладконоси прилепи в Европа. Снимка: Mikes Makro, CC BY-SA 4.0.

Гладконосите прилепи разчитат на кратките викове. Обикновено те траят под 10 милисекунди и се повтарят до 25 пъти в секунда⁷. Кафявото прилепче вика с пикова честота обикновено между 43 и 50 кХц. Когато няколко прилепчета ловуват заедно, всяко леко измества пиковата си честота спрямо другите.

Подковоносите разчитат на дългия тон. Виковете им траят до 50 милисекунди и повече и са почти с една честота⁷. При големия подковонос тя е малко над 80 кХц, а при малкия около 110 кХц. За 50 милисекунди се връща ехото от всичко в радиус около 8 м⁵. Затова подковоносът не може да отдели вика от ехото по време. Той ги отделя по честота.

Тук влиза ефектът на Доплер. Когато прилепът лети към листата, ехото от тях се връща с малко по-висока честота от вика⁸. Подковоносът компенсира, като сваля честотата на вика си. Така отраженията от фона остават под определена граница. Точно над тази граница е слуховата фовеа, много чувствителна ивица от честоти в слуха му, запазена за

плячката. Някои подковоноси долавят изключително малки разлики в честотата⁵.

Насекомото издава себе си с крилата. Пърхащите крила оставят в ехото ритмични промени на честотата⁸. Неподвижният лист не прави такава следа. Така прилепът отличава храната от фона.

Как го разбраха

Спаланцани започва опитите си с прилепи през 1793 г.³. Той покрива очите им или ги ослепява и ги пуска в стаи с препятствия. Прилепите избягват препятствията и летят толкова ловко, колкото зрящите. Писмата му за тези опити излизат през 1794 г.¹. Спаланцани заключава, че прилепите не се ориентират със зрението, но не открива как точно го правят.

Следващата стъпка прави лекарят и естествоизпитател Луи Жюрин (Louis Jurine) от Женева. Той запушва ушите на прилепи и те напълно губят ориентация³. Спаланцани повтаря опита с по-плътни тапи и се съгласява: запушените уши, за разлика от ослепяването, карат прилепите да се блъскат.

Резултатите на Спаланцани и Жюрин са потвърдени през 1908 г. от Уолтър Луис Хан (Walter Louis Hahn)⁹. Остава загадка какво точно чуват прилепите. Човек до тях не чува почти нищо. През 1912 г. изобретателят Хайръм Максим (Hiram Maxim) предполага, че прилепите използват звуци, пониски от човешкия слух. През 1920 г. английският физиолог Хамилтън Хартридж (Hamilton Hartridge) предлага правилния отговор: честоти над човешкия слух.

Доказателството изисква уред, който да чуе нечуваемото. Доналд Грифин (Donald Griffin) започва да изучава как се ориентират прилепите през 1938 г., докато е студент в Харвардския университет⁴. Физикът Дж. У. Пиърс (G. W. Pierce) е създал апаратура, която улавя такива звуци. С нея се установява, че прилепите издават и чуват звуци, твърде високи за човешкото ухо. Грифин работи заедно с Робърт Галамбос (Robert Galambos) и двамата първи доказват ехолокацията при прилепите. Статията им за сетивната основа на избягването

на препятствия излиза през 1941 г.. Грифин въвежда думата ехолокация през 1944 г..

Днес прилепите се изучават и в природата. Университетът в Тюбинген обявява през 2026 г. резултати от работа с големи подковоноси, уловени в убежищата им в България⁸. Международният екип с участието на Анете Денцингер (Annette Denzinger), Ханс-Улрих Шницлер (Hans-Ulrich Schnitzler) и Йоси Йовел (Yossi Yovel) лепи на гърба им миниатюрни устройства с GPS, микрофон и памет. Устройствата падат сами след 2 до 3 дни. Така може да се чуе какво прави подковоносът над истинските си ловни терени: как сваля честотата и как отделя плячката от листата. Работата е публикувана в списанието на Националната академия на науките на САЩ. „Тези фонове ехота маскират ехото от плячката и затова трябва да бъдат отделени от него“, обяснява Денцингер.

Прилепът и сонарът

Корабният сонар работи на същия принцип. Името му е съкращение от английското „звукова навигация и измерване на разстояние“¹⁰. Уредът изпраща импулс във водата и по времето до ехото определя дълбочината. Многолъчевите системи използват група преобразуватели и сканират широки ивици от дъното.

Средата обаче променя мащаба. Във вода звукът изминава около 1500 м в секунда¹⁰. Ехото от предмет на 1 м се връща за около 1,3 милисекунди, над 4 пъти по-бързо от ехото при прилепа във въздуха⁵. Водата също не е еднаква. Затова корабите мерят температурата и солеността по дълбочина: по-плътната вода огъва звука.

Прилепите не са единствените животни с такъв усет. Ехолокация използват и зъбатите китове, сред тях делфините, някои птици и дребни бозайници като някои землеровки и тенреци⁹. При зъбатите китове тя е описана правилно през 1956 г.. Това става близо две десетилетия след първите опити на Грифин и Галамбос от 1938 г.⁴. Във водата звукът пътува по-бързо и по-далеч, затова китовете работят в друг мащаб от прилепа над поляната.

Голямата разлика между прилепа и кораба е в гъвкавостта. Сонарът се коригира с измервания и изчисления. Прилепът сменя силата, дължината и честотата на вика си от вик на вик, според това какво чува.

Какво още не знаем

Дори броят на видовете с ехолокация зависи от това кой брой. Прегледите по биоакустика говорят за над 1000 вида⁶. Друг обзор посочва около 1400 вида прилепи в света, повечето от които ползват ехолокация. По-стар източник от 1998 г. брой около 900 вида и казва, че над половината ехолоцират. Вероятно разликите идват от различните класификации и от годините, в които са писани източниците.

Силата на виковете също зависи от метода. Грифин оценява през 1958 г. виковете на ловуващите на открито прилепи на около 110 децибела⁶. По-новите записи, отнесени към 10 см от устата, стигат 140 децибела. Насочеността на звуковия лъч е измерена едва при 17 вида от над 1000. За повечето прилепи не се знае точно колко широко „осветяват“ пространството пред себе си.

По звука сам видът не винаги може да се определи. В гора виковете на много видове си приличат, защото всички се приспособяват към гъстата среда⁷. Изследователите с детектор често добавят наблюдение на полета и на мястото, за да са сигурни.

Има и състезание, което продължава. Поне шест разреда насекоми имат уши, чувствителни към ултразвук⁶. Част от тях чуват приближаващия ловец. Как точно се развива тази надпревара между слуха на плячката и тишината на някои прилепи, още се изследва.

В България живеят 33 от 35-те европейски вида прилепи². В летен здрач над река или край уличната лампа може да се види как някой от тях рязко завива след невидимо насекомо. Ухото не чува почти нищо. Само детектор за ултразвук би превърнал тази тишина в бързо, ускоряващо се щракане.

КЛЮЧОВИ ЧИСЛА

20–200 кХц

обичайна честота на виковете на прилепите⁵

**около 6
милисекунди**

закъснение на ехото от насекомо на 1 м

над 200 в секунда

виковете в последната фаза на лова⁶

140 децибела

най-силните виковете, мерени на 10 см от устата

1793 г.

Спаланцани пуска ослепени прилепи сред препятствия³

33 от 35

европейски вида прилепи, които живеят в България²

Защо зебрите са на райета

Опитите с конете в зебрени палта и мухите, които не успяват да кацнат

В конюшня край селцето Дъндри в Югозападна Англия един кон стои облечен в черно-бяло райе покривало¹. Главата му е гола. На метър-два от него човек с бележник брои мухите, които кръжат, докосват козината или кацат. Наблизо са 3 равнински зебри, всичките женски, и около тях се води същото броене.

Въпрос на повече от век

Защо зебрата е на черни и бели ивици? Въпросът звучи като детски, но биолозите го обсъждат от повече от 150 години¹. По него са писали още Алфред Ръсел Уолъс и Чарлз Дарвин, двамата създатели на теорията за естествения подбор². Отговор, който да убеди всички, още няма.

Основните предложения са 5 и всяко звучи разумно¹. Първото е камуфлаж: ивиците разчупват очертанията на тялото в тревата или в трептящия въздух. Второто е объркване на хищника: когато стадото бяга, ивиците се сливат и лъвът трудно избира едно животно. Третото е сигнал между самите

зебри, нещо като подпис, по който се разпознават. Четвъртото е охлаждане: черното и бялото се нагряват различно и може би около тях въздухът се раздвижва. Петото е най-прозаичното: ивиците пречат на хапещите мухи.

Зебрите не могат да се преоблекат. Никой не може да боядиса половин стадо в кафяво и да чака поколения наред, за да види дали боядисаните ще оцелеят по-лесно или по-трудно от останалите. Затова дълго учените работеха със сравнения: гледаха кои видове и подвидове са по-райести и какво има в средата, в която живеят.

Две карти, два различни отговора

През 2014 г. екип на Тим Каро (Tim Caro) от Калифорнийския университет в Дейвис подреди видовете и подвидовете от семейството на конете по това колко ивици имат². После наложи разпространението им върху карти на хищници, температури, насекоми и други условия. Авторите отчетоха общия произход на животните, за да не броят един и същ белег два пъти. Райетата на подвидовете вървяха заедно с местата, където оводите досаждат най-много, а броят на ивиците по корема — с разпространението на мухата цеце. За камуфлажа, хищниците, топлината и общуването не се намери последователна подкрепа. Статията завършваше с твърдението, че решението на загадката е близо.

Година по-късно Бренда Ларисън (Brenda Larison) от Калифорнийския университет в Лос Анджелис и колегите ѝ стигнаха до друго³. Те разгледаха само равнинната зебра, но в цяла Африка: 16 места за обучение на модела и още 8 за проверка. Сравниха изразеността на ивиците с 29 характеристики на средата. Най-добре ивиците се предсказваха от температурата: от т.нар. изотермалност, която сравнява денонощните колебания на температурата с годишните, и от средната температура на най-студеното тримесечие. Средата обясняваше между 30 и 63 % от разликите при 12 от общо 18 измерени белега на рисунката. Разпространението на лъвовете и на цецето не предсказваше нищо.

Ларисън и колегите ѝ допуснаха, че връзката с температурата може да е заобиколна. При по-хладно време мухите цеце

по-рядко носят трипанозоми, едноклетъчните паразити, които предават с ухапването си³. Заключение то им беше, че причините вероятно са много и сплетени, а връзката с температурата сама по себе си не показва причината. Според тях трябва по-реалистични опити.

Двата екипа гледаха един и същ свят и видяха различни неща. Това е обичайното ограничение на сравнението: то показва какво върви заедно, но не и кое какво причинява, а една и съща карта може да се прочете по няколко начина според това какво търсиш в нея. Оставаше да се види какво правят самите мухи.

Как го разбраха

Опитът, публикуван през февруари 2019 г. в списание PLOS ONE, отново е на Тим Каро, вече с колеги от университетите в Ексетър и Бристол¹. Мястото е частна конюшня в Дъндри, графство Северен Съмърсет, където живеят три пленни зебри. Наблюденията са през юли 2016 г. и през юни и юли 2017 г.. Мухите са 2 местни вида оводи: *Haematopota pluvialis* и *Tabanus bromius*. Оводите са големите мухи, чиито женски пробиват кожата и пият кръв.

Първата част е най-простата. Наблюдател стои на един-два метра от животното и записва всичко, което прави всяка муха¹. Общо това са 16,3 часа гледане. Около зебрите и около конете мухите кръжат еднакво и еднакво често ги докосват за миг. Разликата е в кацането: върху зебрите кацат значимо по-малко. Значи мухите намират зебрата без затруднение. Нещо се обърква чак в последния момент.

Втората част е хитрата. Ако зебрите се различават от конете, това може да е заради много неща: миризма, поведение, дебелина на козината. Затова екипът облича 7 коня последователно в 3 покривала: черно, бяло и черно-бяло райе¹. Всяко се носи по 30 минути, а редът е случаен. Главите на конете остават голи и служат за вътрешна проверка. Ако райето покривало пази, по него трябва да кацат по-малко мухи, а по главата на същия кон — колкото обикновено. Точно така става: по райетото покривало има много по-малко докосвания и кацания, а по голите глави разлика няма.

Третата част показва как изглежда провалът на една муха. Камера на около 3 метра снима зебрите и конете, общо почти 19 часа запис на 10 животни¹. Траекторията на всяка муха се проследява кадър по кадър, през 0,02 секунди. Пред кон оводът забавя полета си, преди да го допре, както самолет преди кацане. Пред зебра той не забавя. Често само докосва козината и отлита.

Цифрите от тази част казват най-много за поведението на мухите. Когато все пак кацне, оводът стои върху зебра средно 1,2 секунди¹. Върху кон същите мухи остават средно по 10,1 секунди. Уловката е, че при зебрите кацанията са едва 5, срещу 886. За 5,3 часа гледане на зебри няма нито едно пробиване. За 11,0 часа гледане на коне пробиванията на кожата са 239.

Зебрите помагат и с поведение. За тази четвърта част екипът преглежда още 17,9 часа видео и отбелязва 19 различни движения, с които животните пъдят мухи¹. Зебрите размахват опашка по-често от конете, а когато мухите ги безпокоят, понякога просто се отдалечават. В 10,2 % от случаите зебрата тръгва бързо настрана и в 4,8 % бяга, докато конете в тези наблюдения не правят нито едното, нито другото. Конете пък потрепват с кожата на плешките, холката и корема много по-често от зебрите.

В опита има и една предпазна мярка, която лесно се пропуска. В първите две части наблюдателите знаят коя хипотеза се проверява и могат, без да искат, да броят пристрастно¹. Видеозаписите обаче се разчитат от хора, които не знаят какво се очаква. Когато двата начина на броене дават една и съща посока, резултатът е по-труден за отхвърляне.

Авторите сглобяват картината така. Отдалеч оводът вероятно се води най-вече по миризмата, а със зрението работи едва отблизо¹. По тяхна оценка мухата различава отделните ивици чак от около 2 метра. Тогаво райето вероятно разваля зрителните сигнали, по които насекомото преценява скоростта и разстоянието при кацане. Тази последна стъпка е тълкувание на авторите. Опитът не я проверява пряко.



Планинска зебра в националния парк Етоша, Намибия. Снимка: Yathin S Krishnappa, CC BY-SA 4.0.

Опитът има и слабости, част от които авторите сами отбелязват¹. Зебрите са само 3, а конете са между 7 и 9. Всичко е на една ферма в Англия, с европейски оводи, а африканските мухи, с които живеят зебрите, са други видове. Авторите смятат, че зрението им едва ли е съществено различно, но това е допускане. Бялото покривало е имало сини ремъци, които според авторите вероятно са привличали мухи. Трите покривала са купени готови и са от различен плат.

Крави на райета и кожа в кутия

Опитът в Англия не остана сам. През октомври 2019 г. екип от Селскостопанския изследователски център на префектура Айчи в Япония, с първи автор Томото Коджима (Tomoki Kojima), провери идеята с говеда⁴. В опита участваха 6 бременни крави от породата японско черно говедо, изрисувани на ръка с черно-бели ивици, широки около 4–5 см. Всяка крава мина през три варианта: черно-бели ивици, само черни ивици

за сравнение и без рисунка. Черните ивици проверяват дали ефектът идва от самата боя или от контраста.

Изрисуваните на райета крави събираха почти наполовина по-малко хапещи мухи от другите⁴. Те и по-рядко се браниха: средно 39,8 движения за отпъждане на мухи за 30 минути срещу 53,0 без рисунка и 54,4 с черни ивици. Японският екип имаше практичен мотив. Насекомите често развиват устойчивост към нов препарат за около 10 години след въвеждането му, а рисунката е опит да се мине с по-малко химия. Тук обаче мухите не бяха оводи: 77,9 % от уловените бяха есенни жигалки (*Stomoxys calcitrans*), 21,5 % — рогови мухи, а оводите едва 0,5 %.

През 2022 г. екип от Принстънския университет с първи автор Кая Томбак (Kaia Tombak) пренесе въпроса в Кения⁵. В изследователския център „Мпала“ в края на юли 2017 г. те поставиха прозрачна кутия, дълга 120 см, с по една кожа в двата края. Кожите бяха от животни, намерени мъртви: равнинна зебра, зебра на Гриви и импала, кафява антилопа без ивици. Във всеки опит в кутията пускаха 15–25 гладни жигалки и брояха къде кацат.

Мухите ясно предпочетоха импалата пред двете зебри⁵. Върху кожата на импалата се отчетоха общо 1155 кацания. Върху кожата на двете зебри кацанията бяха 239 и 251. Между двата вида зебри разлика нямаше, макар ивиците им да са различни. Когато муха кацаше на зебра, в 75,4 % избираше черна ивица. Зебрите обаче бяха приближавани толкова често, колкото и импалата. Значи ефектът действа на не повече от 30 см от кожата.

Какво още не е решено

Трите опита казват едно и също. Райетата пречат на хапещите насекоми да кацнат, и то отблизо, в последните сантиметри или метър-два преди допира, когато мухата вече е избрала животното и само трябва да спре. Това е най-сигурната част от историята.

Друг въпрос е дали мухите са създали райетата. Опитите показват полза днес и мълчат за причината в миналото. Картата на Ларисън не откри връзка между ивиците и разпространението на цецето³. Опитът в Кения пък сочи, че

разликите в ширината на ивиците между видовете се дължат на нещо друго⁵. Самият механизъм също не е установен: идеята, че райето обърква зрението на мухата при кацане, е правдоподобна, но никой не я е измерил в полет¹.

Има и пропуск в самите мухи. Английските опити са с местни оводи, японските — главно с жигалки, а в кенийската кутия са били само жигалки^{4, 5}. Африканските оводи и мухите цеце, заради които цялата идея е възникнала, не участват в нито един от трите опита. Ако ефектът е общ за всички хапещи мухи, той трябва да се покаже и при тях.

Остават и малките извадки. Три зебри в Англия, шест крави в Япония, по една кожа от вид в Кения^{1, 4, 5}. Всяко от тези изследвания е честно за границите си, но заедно те са още тясна основа за отговор на въпрос от повече от век. Най-предпазливото, което може да се каже, е, че защитата от мухи е реален ефект и вероятно е част от обяснението. Дали е цялото обяснение, двата лагера още спорят.

Конят в Дъндри не знае нищо от това. Той стои с голата си глава и с райето палто, по което мухите рядко успяват да кацнат, докато по главата му кацат както винаги¹. Отстрани човекът с бележника продължава да брои.

КЛЮЧОВИ ЧИСЛА

над 150 години

откакто се обсъжда защо зебрите имат ивици¹

1,2 срещу 10,1 с

средно време на овод върху зебра и върху кон

0 срещу 239

пробивания на кожата: при зебрите за 5,3 ч, при конете за 11,0 ч

39,8 срещу 53,0

движения срещу мухи за 30 мин: крави на райета и без рисунка⁴

75,4 %

кацания върху черна ивица, когато мухата все пак кацне на зебра⁵

до 30 см

разстоянието, на което ивиците действат върху мухите

На колко години е китовата акула

Как атомните опити оставиха часовник във всеки прешлен

През февруари 2012 г. на брега в Карачи, Пакистан, докарват мъртва китова акула¹. Женска е, дълга около 10 метра, а теглото ѝ се оценява на около 7 тона. За смъртта ѝ статията дава две версии: на едно място, че е загинала, заплетена в рибарски съоръжения, на друго, че е намерена мъртва на брега. От огромното тяло изследователите запазват една малка част: прешлен от гръбнака.

Животно без рождена гата

Китовата акула (*Rhincodon typus*) е най-голямата риба на света¹. Плува бавно, филтрира планктон и обикаля тропическите морета. За нея се знае доста, но дълго не се знаеше нещо основно: колко бързо расте и колко години живее.

Това не е само любопитство. За да се реши колко улов или колко смъртни случаи от корабни витла понася един вид, трябва да се знае колко бързо се подновява. Вид, който узрява за пет години, се възстановява различно от вид, който узрява

за двадесет. А узряването, растежът и продължителността на живота се изчисляват от възрастта.

Въпросът на тази глава е как се определя възрастта на животно, което никой не е видял да се ражда. Отговорът минава през едно неочаквано място: атомните опити от средата на миналия век.

Пръстените в прешлена

Акулите нямат кости в обичайния смисъл. Скелетът им е от хрущял, но прешлените им са частично варовикови и растат на слоеве. Ако се разреже такъв прешлен, в него се виждат редуващи се по-тъмни и по-светли ивици, подобно на годишните пръстени на дърво. Броят им би трябвало да казва възрастта.

Проблемът е в думата „би трябвало“. Никой не беше доказал колко често се образува една двойка ивици при китовата акула. През 2000 г. изследване на 15 акули от Южна Африка брой ивиците по рентгенови снимки и приема, че те са годишни¹. Най-старият мъжки там има 31 ивици. По-късни изследователи обаче напомнят, че при бавнорастящите акули целите прешлени често дават занижена възраст, така че и тази оценка е под въпрос.

През 2014 г. изследване, водено от Хсу (Hsu), разглежда прешлени от тайвански риболов и приема друго правило: по две ивици на година¹. Най-старият мъжки в това проучване е дълъг 988 см и има 42 ивици. По двугодишното правило му отреждат 21 години. Ако ивиците са годишни, същото животно е на около 42. Разликата е двойна, а с нея се удвояват или разполовяват всички изчисления за растежа.

Броенето само по себе си не може да реши спора. Нужен е независим часовник, който да каже кога е образувана поне една ивица.

Часовникът от атомните опити

Във въздуха има съвсем малко радиоактивен въглерод, въглерод-14². Той се образува високо в атмосферата, когато неутрони от космическите лъчи удрят азотни атоми. Оттам влиза във въглеродния диоксид, после в растенията, в морска-

та вода и по хранителната верига във всяко живо същество. Всичко, което расте, вгражда в тъканите си радиовъглерод в съотношението, което има около него в този момент.

През 50-те и 60-те години на XX век това съотношение рязко се променя². Надземните ядрени опити, повечето в Северното полукълбо, произвеждат толкова радиовъглерод, че нивото му в атмосферата почти се удвоява. Излишъкът се смесва сравнително бързо с повърхността на океана и оттам навлиза в планктона, рибите и хищниците³. В Северния Атлантик покачването се усеща от 1958 г.⁴. Всеки организъм, който е растял тогава, носи следата му в тъканите си.

В океана кривата има своя форма. Нивото в повърхностните води се покачва за няколко години до връх, а после спада много по-бавно, защото повърхността се смесва с дълбоката вода, в която бомбеният радиовъглерод почти не е стигнал⁴. Най-полезна за датиране е стръмната част на покачването³. Ако в една ивица радиовъглеродът е още на старото ниво, тя е образувана преди опитите. Ако е по средата на скока, годината ѝ е определена с точност до няколко години.

Остава да се знае как точно е изглеждала кривата в морето. За това служат материали с известна възраст, които също растат на слоеве. Единият са отолитите, малките варовикови камъчета във вътрешното ухо на рибите; при млади риби с известна година на улов те дават стойността за всяка година¹. Другият са коралите, чиито годишни слоеве се броят като пръстени. Тези записи се наричат еталонни хронологии.

Как го разбраха

През април 2020 г. в списание *Frontiers in Marine Science* излиза работата на Джойс Онг (Joyce Ong) от университета „Рътгърс“ в САЩ и колеги¹. Сред съавторите са Марк Мийкан (Mark Meekan) от Австралийския институт за морски науки и Стивън Кампана (Steven Campana) от Университета на Исландия. Атлантическите отолитни данни, по които ще се сверяват пробите, са от по-ранна работа на Кампана.

Изследователите разполагат с два прешлена. Първият е от женската от Карачи, с дължина 1000 см¹. Вторият е от мъжки, дълъг 990 см и тежък по оценка около 8500 кг, докаран в



Китова акула плува близо до повърхността. Снимка: Sylke Rohrlach from Sydney, CC BY-SA 2.0.

Тайван през април 2005 г., също след заплитане в рибарски съоръжения. Двете акули са големи, затова ивиците им покриват десетилетия, включително годините на опитите.

Под микроскоп с увеличение 16 пъти екипът пробива с ръчна бормашина и стоманени свредла, по-тънки от 1 мм, материал от отделни ивици¹. Всяка проба тежи между 5 и 13 мг, а общо пробите са 11. Радиовъглеродът в тях се измерва с ускорителна маспектрометрия, метод, който брои отделните атоми и затова му стигат милиграми.

Авторите проверяват и самото броене. Ивиците в прешлени от общо 20 акули се преброяват повторно, а броят им е между 15 и 50¹. Средното разминаване между отделните преброявания е около 5,5 %. Броенето е повторяемо; остава да се разбере какво точно брои.

Логиката на проверката е проста. Годината на улова е известна. От нея се изваждат толкова години, колкото ивици има между ивицата на раждането и пробата¹. Така всяка проба получава предполагаема година. Ако ивиците наистина са

годишни, измереният радиовъглерод трябва да легне върху еталонната крива за тази година. Ако са по две на година, пробите всъщност ще са образувани по-късно, отколкото предполага броенето, и ще се разминат с кривата.

За еталон авторите ползват два записа: отолитите на млади риби от северозападния Атлантик и коралите от островите Ментавай край Суматра¹. Атлантическата крива е далеч от Пакистан и Тайван, но според авторите тя съвпада добре с повърхностните води и там.

За двете акули резултатът е ясен. Стойностите следват еталонните криви без постоянно изместване в една посока¹. Ивиците се образуват веднъж годишно. Женската от Карачи има 50 ивици, тоест е на около 50 години, а мъжкият от Тайван е на 35. При 50-годишната акула грешка в броенето с повече от около 5 години щеше да се види като разминаване с кривата. Мъжкият не може да е надценен с повече от 10 години.

Подобна проверка вече беше давала изненади. През 2014 г. изследване на бели акули от северозападния Атлантик със същия метод показва, че най-големият мъжки е бил на около 73 години³. По-ранни изследвания в други океани бяха определили най-старите бели акули на 12 до 18 години, но никое не беше доказало, че ивиците им са годишни.

Какво следва от една годишна ивица

Ако ивиците са годишни, китовата акула расте по-бавно, отколкото се смяташе. В обичайния модел на растежа, наречен на биолога Лудвиг фон Берталанфи, скоростта се описва с коефициент¹. При Онг той е 0,014 на година срещу 0,021 при Хсу. Авторите заключават, че по-ранното изследване е надценило растежа.

Бавният растеж и дългият живот имат цена. Такива видове понасят зле улова, защото всяка изгубена възрастна акула се заменя трудно. Естествената смъртност на китовите акули е оценена на 0,09–0,14 на година; толкова ниска смъртност върви с дълъг живот и бавна смяна на поколенията¹. Авторите напомнят за дълбоководната риба *Hoplostethus atlanticus*, позната на английски като orange roughy: при нея подцене-

ната възраст и надцененият растеж са допринесли за срина на запасите от прекомерен улов.

Опасенията не са теоретични. Международният съюз за защита на природата (IUCN) премести китовата акула в категорията „застрашен вид“ през юли 2016 г.⁵ Според съюза броят ѝ е спаднал с повече от половината за 75 години. Причините са уловът, който продължава в южен Китай и Оман, случайният улов от риболовци на тон и ударите от корабни витла. В Индия, Филипините и Тайван големият улов е спрял. По данни на Природонаучния музей в Лондон спадът за последните 75 години е около 63 % в Индийския и Тихия океан и над 30 % в Атлантическия⁶.

През октомври 2024 г. списание *Nature Climate Change* публикува модел, който свързва 15 години спътниково проследяване на почти 350 акули с бъдещите условия в океана⁶. При сценарий с високи емисии местообитанията се изместват към натоварени корабни маршрути, а рискът от сблъсък расте до 15 000 пъти. При ниски емисии ръстът е около 20 пъти. Изходът не е само в климата: според по-ранни изчисления, цитирани от музея, ако корабите намалят скоростта си с до 75 % в най-опасните райони, пътуването им се удължава едва с около 5 %.

Какво още не знаем

Най-голямата неизвестна е колко дълго може да живее китовата акула. Петдесетте години на женската от Карачи са наблюдавана възраст и не са граница¹. В прешлените на по-старите акули ивиците не спират да се образуват, така че няма признак за край.

Несигурен е и максималният размер. Двата модела на растежа, приложени към едни и същи данни, дават много различна крайна дължина: около 21,9 м по фон Берталанфи и около 10,7 м по логистичния модел¹. Причината е, че в извадката зрелите акули са само две. Самите автори наричат оценките си предварителни.

Нови прешлени ще идват трудно. Риболовът в Тайван е закрит, видът е защитен в много страни и пробите ще зависят от случайни събития като изхвърлени на брега животни¹.

КЛЮЧОВИ ЧИСЛА

50 години

най-високата наблюдавана възраст на китова акула¹

42 ивици

у мъжки от 988 см: 21 години по старото правило, 42 по новото

11 проби по 5–13 мг

материал от два прешлена, измерен с масспектрометрия

почти двойно

ръст на радиовъглерода в атмосферата след ядрените опити²

наг 50 %

спад на китовите акули за 75 години по данни на IUCN⁵

до 15 000 пъти

по-висок риск от удар с кораб при сценарий с високи емисии⁶

Авторите виждат друг път: по снимки на едни и същи акули, разпознати по петната им, растежът да се измерва в морето, без да се убива животно.

Има и въпрос към самия часовник. Бомбеният радиовъглерод не се е разпределил равномерно: в Северното полукълбо нивата са били с 100–500 промила по-високи от тези в Южното². Затова изборът на еталонна крива за конкретно море има значение, а грешка в него би изместила годините. В случая с китовата акула измерванията следват и двата независими еталона, атлантическия и суматранския¹.

В прешлена от Карачи има 50 тесни ивици¹. По сметката на изследователите първата от тях е образувана в началото на 60-те, в годините на надземните ядрени опити². Акулата е носила тази дата в гръбнака си през целия си живот, а хората са се научили да я четат едва след смъртта ѝ.

Далакът на морските номади

Как тялото пази кислород под вода и какво морето остави в гените на баджау

Във Филипините петима мъже баджау ловят риба с харпун¹. Гмуркат се на 5–7 метра, остават долу средно по 28 секунди и изплуват за около 19. После отново. Изследователи ги следят с хронометър и с малки уреди, които записват дълбочината и времето. Работният ден на тези рибари трае от 2 до 9 часа, а под водата прекарват около 60 % от него.

Хората, които живеят с морето

Тези мъже принадлежат към група от сродни народи, пръснати из островите на Филипините, малайзийския щат Сабах и Източна Индонезия². Самите те най-често се наричат сама, а „баджау“ е име, използвано главно от външни хора. Във Филипините то често звучи пренебрежително. Морските сама се наричат сама дилаут, „морските сама“. В Сабах обаче много хора днес ползват „баджау“ за себе си. В науката се е наложило двойното име сама-баджау. Общият им брой се оценява грубо на 750 000 до 900 000 души.

Едно от най-ранните европейски описания на хора, живеещи в лодки в тези води, е от 1521 г.³. Антонио Пигафета, летописецът на експедицията на Магелан, пише за жителите на остров Монорипа, че живеят в лодките си и никъде другаде. Част от сама-баджау наистина са живели в лодки, но днес и морските сама живеят предимно в къщи и често работят в градовете². Лодката е останала в центъра на общностния живот. Всяка година в Семпорна, в Сабах, се провежда „Регата лепа“, празник на традиционната лодка лепа, която за случая се украсява с цветни платна и знамена⁴.

Морето обаче остава поминък. Уловът се събира на задържан дъх, без бутилки¹. Изследването с хронометъра заключава, че някои от тези рибари вероятно прекарват под водата повече от 5 часа на ден. Това е най-голямото дневно време на задържан дъх, описано при хора.

Сравнението с друга прочута общност показва мащаба. В същото изследване са засечени 14 японски ама, жени, които събират морски мекотели от дъното¹. Те се гмуркат по-дълбоко, на 5–12 метра, и остават долу по-дълго, средно 38 секунди. Но местните правила ограничават работата им до 4 часа на ден, а под водата прекарват до около 2 часа. Баджау се гмуркат по-плитко и по-кратко, но много повече пъти.

Как човешкото тяло издържа на това и оставило ли е морето следа в самите хора, които живеят от него? За да се отговори, трябва първо да се види къде тялото държи кислорода си.

Три склада за кислород

Когато човек си поеме дъх и се гмурне, той носи кислород на три места. Първото са белите дробове. Второто е кръвта, където кислородът се носи от хемоглобина в червените кръвни клетки. Третото са мускулите, които имат свой пигмент, миоглобин, и пазят малък запас за себе си.

Нито един от тези складове не може да се попълни под водата. Затова гмуркачът има две възможности: да харчи по-бавно или да има по-голям склад. Тялото прави и двете.

Харченето се забавя с рефлекс на гмуркане. Когато лицето е във водата и дъхът е задържан, сърцето забавя ритъма си, а кръвоносните съдове се свиват⁵. Свиват се най-вече съдовете

по периферията на тялото и кръвта се пести за мозъка и сърцето⁶. В опит с 9 доброволци сърдечният ритъм пада с 25 % по време на двуминутно задържане на дъха⁷.

Далакът като резервоар

Далакът лежи вляво в корема, под ребрата, и обикновено се споменава заради ролята си в пречистването на кръвта. Физиолозите го познават и като склад: в него се пазят червени кръвни клетки⁷. Когато дъхът се задържи, далакът се свива и изтласква този запас в кръвообращението⁵.

Това се вижда с ултразвук. Апаратът измерва далака в три посоки и от размерите се изчислява обемът му⁷. В същия опит с 9-те доброволци обемът на далака намалява с 34 % по време на двуминутното задържане на дъха. Когато същите хора дишат 20 минути въздух с намален кислород и стигнат до подобно ниска наситеност на кръвта, далакът се свива само с 16 %. Задържането на дъха значи е по-силен сигнал за далака от самия недостиг на кислород.

Ефектът върху кръвта е малък, но измерим. В друг опит, след серия задържания на дъха, хемоглобинът в кръвта на доброволците се покачва с 3–4 %⁸. За гмуркач, който се спуска стотици пъти на ден, това са допълнителни кислородни носители при всяко гмуркане.

Тогава следва въпросът: ако далакът е резервоар, по-голям далак би трябвало да значи по-голям резерв. При тюлените, които прекарват голяма част от живота си под водата, далакът е непропорционално голям⁵. Хората, които се гмуркат от поколения, също биха могли да носят такава следа, но никой не беше проверил.

Как го разбраха

Проверката направи генетичката Мелиса Иларду (Melissa Ilardo), тогава в Центъра по геогенетика на Копенхагенския университет⁵. Работата ѝ излезе през април 2018 г. в списание Cell, със съавтори сред които Расмус Нилсен (Rasmus Nielsen) и Еске Вилерслев (Eske Willerslev)⁹. В статията авторите отбелязват, че поносимостта на хората към недостиг на кислород дотогава е изучавана само при високопланински



Украсени лодки лена на фестивала „Резата лена“ в Семпорна, Сабах. Снимка: CЕphoto, Uwe Aranas, CC BY-SA 3.0.

народи. Хората, които се гмуркат на задържан дъх, са друг, неизследван модел.

Изследването е в Индонезия, сред баджау, които живеят в този район от около 1000 години⁵. При второто си посещение в общността Иларду носи преносим ултразвуков апарат и комплекти за събиране на слюнка. С ултразвука се измерват далаците на доброволците, а от слюнката се извлича ДНК.

Ключът е в сравнението. Ако далакът на баджау е голям, причината може да е в начина на живот: орган, който се свива при всяко гмуркане, може би расте, както мускулът расте при упражнение. За да се отделят гените от навика, са нужни две проверки. Първата е съседен народ със сходен произход, но без гмуркане. Това са салуан, които живеят на сушата в същия район^{5, 10}. Втората са самите баджау, които не се гмуркат.

Резултатът от ултразвука е ясен. Типичният далак на баджау (медианата на измерванията) е с около 50 % по-голям от този на салуан⁵. Баджау, които не се гмуркат, имат също толкова големи далаци, колкото и активните гмуркачи¹⁰.

Авторите заключават, че разликата е наследствена, а не плод на тренировка.

Остава да се намери кой ген стои зад това. Логиката на такова търсене е следната. Ако един вариант на ген дава предимство, с поколенията той става по-чест в групата, която е под натиск, а в съседната група остава рядък. В генома на баджау авторите търсят именно такива участъци, сравнявайки го с генома на салуан^{5, 9}.

Най-силният сигнал е при гена PDE10A⁹. Вариантите му, които естественият подбор е направил по-чести при баджау, вървят с по-голям далак, а с него и с по-голям запас от червени кръвни клетки. При салуан тази следа липсва⁵. Смята се, че генът влияе на един от хормоните на щитовидната жлеза, а при мишки този хормон е свързан с размера на далака. Вторият силен сигнал, открит само при баджау, е при гена BDKRB2, който влияе на рефлекс на гмуркане.

Иларду и колеги провериха връзката с мишки в статия от 2022 г.¹¹. Те потискат действието на PDE10A с лекарство. При ниска доза в продължение на 9 седмици далаците на мишките растат, но кръвта им не се променя видимо. При висока доза за 1 седмица далаците също растат, а в кръвта има повече червени кръвни клетки и хемоглобин. Вариантите на баджау в големи бази с човешки генетични данни също вървят с по-високи нива на хормона на щитовидната жлеза и с повече червени кръвни клетки.

Този опит показва и нещо неочаквано. Във високите планини тялото отговаря на постоянния недостиг на кислород с хормона еритропоетин¹¹. Той се отделя от бъбреците и подтиква костния мозък да прави повече червени кръвни клетки. При мишките с потиснат PDE10A червените клетки се увеличават без участието на този хормон. В големите човешки бази вариантите на баджау също не вървят с по-високи нива на еритропоетин. Ако това се потвърди, гмуркачите и планинците са стигнали до повече кислород в кръвта по два различни пътя.

Какво още не е ясно

Спорът за наследството и навика не е приключил. Холмстрьом (Holmström) и съавторите му измерват през 2020 г. далаците на шерпи, които живеят високо в планината, на шерпи, които живеят ниско, и на непалци от низините¹⁰. Средният обем е 198 мл при шерпите на височина, 159 мл при шерпите в низината и 129 мл при непалците. Постепенното намаляване подсказва, че размерът на далака зависи и от гените, и от средата, в която човек живее. При двете групи шерпи и свиването на далака по време на задържане на дъха е по-силно, отколкото при непалците от низините. Авторите изрично посочват, че това се разминава със заключението за баджау, според което тренировката няма никакъв дял. Според тях шерпите и баджау може да печелят по сходен начин от способността на далака да вдига хемоглобина при недостиг на кислород.

Опитите с тренировка дават смесена картина. Когато 10 нетренирани доброволци задържат дъха си по 10 пъти на ден в продължение на 2 седмици, издръжливостта им расте с 44 секунди, но свиването на далака остава същото¹². Опитът обаче е кратък и не казва какво правят с далака години на ежедневно гмуркане.

Механизмът също е отворен. Че потиснатият PDE10A уголемява далака, е показано при мишки, но как точно хормоните на щитовидната жлеза влияят на размера на далака, по думите на самите автори от 2022 г., още не е известно¹¹. Освен това, както отбелязва един преглед на изследванията, публикуван в края на 2025 г., сравнителното геномно изследване на баджау засега е единствено по рода си⁶. Резултатът за далака още не е проверен в друга общност от гмуркачи.

Не всичко в живота на морските хора е въпрос на гени. При мокен, друг морски народ от Югоизточна Азия, децата събират храна от морското дъно без маски¹³. Те виждат под водата над 2 пъти по-остро от европейски деца. Те свиват зеницата си докрай и фокусират окото до границата на човешките възможности. В по-късен опит европейски деца

КЛЮЧОВИ ЧИСЛА

над 5 часана ден под водата при някои рибари баджау¹**около 50 %**по-голям типичният (медианен) далак на баджау спрямо салуан⁵**34 %**свиване на далака при двуминутно задържане на дъха⁷**3–4 %**ръст на хемоглобина след серия задържания на дъха⁸**25 %**

спад на сърдечния ритъм при задържане на дъха

1521 г.едно от най-ранните европейски описания на хора, живеещи в лодки³

постигат същата острота след 11 тренировки под вода¹⁴. Тук навикът изглежда е достатъчен.

На 5–7 метра под повърхността рибарят с харпуна дебне риба, а сърцето му бие по-бавно и далакът му се свива^{1, 7}. После той се изтласква нагоре, поема въздух за около 19 секунди и се гмурка отново.

Какво прави сапунът с обвития вирус

Молекула с два края, топчета от мазнина и мембрана, която се разпада

Парчето сапун на ръба на мивката е сол. Получава се, когато животинска мазнина или растително масло се смеси с основа: мазнината се разпада на глицерол и на соли на мастни киселини¹. Основата обикновено е натриева или калиева, а сместа от получените соли е самият сапун.

Коронавирусът SARS-CoV-2 носи около себе си тънка обвивка от мазнини². Сапунът е вещество, което се хваща за мазнини. Какво точно става между двете, на нивото на отделните молекули? Отговорът минава през три неща: формата на сапунената молекула, поведението на водата и начина, по който се разпада една мембрана.

Глава за водата, опашка за мазнината

Мастната киселина е дълга верига от въглеродни атоми с киселинна група на единия край. В лауриновата киселина веригата има 12 въглеродни атома, в палмитиновата 16, а

в стеариновата 18^3 . В 100 г кокосово масло има около 42 г лауринова киселина. В 100 г говежда лой има около 25 г палмитинова и 19 г стеаринова⁴.

Когато основата превърне киселината в сол, краят на веригата остава с електричен заряд. Тази заредена група е главата на молекулата. Тя се разбира с водата и химиците я наричат хидрофилна. Останалата верига е опашката: само въглерод и водород, без заряд. Водата не я приема и опашката е хидрофобна⁵.

Повърхностноактивните вещества, от сапуна до синтетичните детергенти, са построени по този план⁵. Повечето имат относително голяма глава и една опашка, така че молекулата прилича на обърнат конус. Молекулите в клетъчните мембрани, фосфолипидите, също имат глава, но опашките им са две и формата им е по-скоро цилиндър. Тази разлика в геометрията е важна за всичко, което следва.

Защо водата сама не стига

Мазнината по чиния трудно се отмива само с вода⁶. Причината е повече във водата, отколкото в мазнината. Водните молекули се привличат силно помежду си. Около всяка неполярна опашка те се подреждат в обвивка, а подредеността има цена. Когато опашките се съберат на едно място, част от тази вода се освобождава и безпорядъкът в системата расте. Химиците наричат това хидрофобен ефект и именно той кара сапунените молекули да се събират.

Докато сапунените молекули във водата са малко, те плуват поотделно или застават по повърхността. Над определена концентрация, наречена критична концентрация на мицелобразуване, те започват да се събират в топчета⁶. Главите остават навън, към водата, а опашките се скриват в средата. Такова топче се нарича мицела. Под този праг мицели не се образуват.

Сърцевината на мицелата е малко мазно място наред с водата. Капка олио или мазна мръсотия може да влезе в нея⁶. Отвън топчето носи заредените глави и водата го приема без съпротива. Така течащата вода отнася мазнина, която сама

не може да вдигне: сапунът я превръща в емулсия, а водата я отмива¹.

Обвивката на коронавируса

Вирусът SARS-CoV-2 е малък: средният му външен диаметър е 91 ± 11 нанометра⁵. Вътре е генетичният материал, увит в белтъци. Отвън има мембрана, двоен слой липиди, в който са забити шиповете на вируса.

От какво точно е тази мембрана, беше измерено подробно през 2022 г.². Зак Сауд (Zack Saud) и колегите му отгледаха вируса в два вида клетки, пречистиха частиците и анализираха мазнините им. Обвивката се оказва съставена главно от фосфолипиди: фосфатидилхолин, фосфатидилетаноламин и фосфатидилинозитол. Холестерол почти няма: при вируса от едната клетъчна линия съотношението му към фосфолипидите е 0,0005, тоест около 1 молекула на 2000. По състав обвивката прилича най-много на вътрешните мембрани на клетката, не на външната ѝ мембрана.

Има и изненада. В клетъчните мембрани аминокислотни фосфолипидите обикновено стоят от вътрешната страна. В обвивката на вируса около половината от тях са навън: 48 % при едната клетъчна линия и 52 % при другата². За сапуна обаче по-важното е общото. Каквато и да е точната смес, обвивката е двоен слой от молекули с глава и опашки, точно като тези, с които сапунът умее да работи.

Три стъпки до разпадането

Как детергент разтваря мембрана, описва модел на А. Хелениус (A. Helenius) и К. Саймънс (K. Simons) от 1975 г.⁵. Той има три стъпки. Първо единични молекули се вмъкват в двойния слой. Това става още под критичната концентрация, преди във водата да има мицели, и свойствата на слоя се променят.

После слой се насища. Според геометрията, описана в прегледа, конусовидните молекули трудно пасват в плоска мембрана⁵. Тя се къса и се разпада на смесени топчета от детергент и липиди, най-често дълги цилиндрични мицели. Накрая, ако детергентът е достатъчно, съотношението се измества в негова полза. Цилиндриците се свиват до малки



Миене на ръце със сапун под течаща вода. Снимка: Beat Ruest, CC BY-SA 4.0.

сферични мицели, в един пример с жлъчната сол холат с диаметър около 4 нанометра.

В опити с изкуствени мехурчета от липиди детергентът натриев додецилсулфат (SDS) ги разтваря за 10–30 секунди⁵. Вътрешността на вируса е по-защитена. Белтъците около генетичния материал също са уязвими за повърхностноактивни вещества, но молекулите първо трябва да минат през мембраната. А прехвърлянето на молекула от едната страна на двойния слой към другата е много бавно.

Затова при обвитите вируси мишената е мембраната. Анионните повърхностноактивни вещества, към които принадлежи и сапунът, действат главно на вируси с обвивка⁵. Авторите на прегледа, от който идва това описание, четат този факт като знак, че ударът пада върху липидния слой. Точният израз е, че сапунените молекули разрушават обвивката и вирусът губи способността си да заразява.

Колко време трябва на молекулите

В мащаба на една молекула срещата с вируса е почти мигновена. Мириам Саймън (Miriam Simon) и колегите ѝ правят груба сметка в преглед от 2021 г.⁵. При концентрация 0,1 милимола на литър една молекула детергент среща вирус с радиус 50 нанометра за около 130 наносекунди. Обвивката на такъв вирус съдържа около 125 000 липидни молекули. Подмяната на 1 % от тях с детергент би отнела в най-добрия случай около 0,15 милисекунди.

Тези числа са оценки на авторите. Измереното разтваряне на цели мехурчета в лабораторията трае секунди⁵. Изглежда, че бавната стъпка е пренареждането на мембраната, след като молекулите вече са дошли.

Здравните агенции дават свои срокове. Американските Центрове за контрол и превенция на заболяванията (CDC) пишат, че в повечето случаи сапунът и водата са най-добрият начин да се отстранят микробите, и съветват ръцете да се търкат поне 20 секунди⁷. Плакатът на Световната здравна организация от май 2009 г. дава 40–60 секунди за цялата процедура, от намокрянето до подсушаването⁸. Двете числа не си противоречат: едното е за втриването, другото за цялото миене.

Агенциите не извеждат тези срокове от химията. CDC отбелязва, че оптималното време е трудно да се определи, а миене от около 15–30 секунди маха повече микроби от по-краткото⁹. Пак според CDC температурата на водата не изглежда да влияе на отстраняването на микробите. Триенето има своя дял: пяната и търкането създават триене, което помага да се отделят мръсотия, мазнина и микроби.

Как го разбраха

Първата следа идва от електричеството. Джеймс Макбейн (James William McBain) преподава в Бристълския университет от 1906 до 1919 г. и изследва странните свойства на сапунените разтвори¹⁰. Те провеждат ток сравнително добре, а в същото време се държат така, сякаш в тях има много по-малко частици¹¹. Макбейн обяснява противоречието със заредени

групи от молекули, йонни мицели. Идеята, че сапунените молекули се събират в групи, тръгва от измерване на електрическият ток.

Че сапунът може да изключи вирус, също е известно отдавна. Още през 1940 г. в *Journal of Experimental Medicine* излиза изследване за това как сапуни инактивират вируса на епидемичния грип⁵. Авторы са К. Сток (C. C. Stock) и Т. Франсис (T. Francis). Прегледът от 2021 г. отбелязва, че сапун при почти неутрално рН е действал срещу грипа още тогава.

Механизмът се изяснява с мембрани, които могат да се гледат отблизо. Хелениус и Саймънс обобщават през 1975 г. как детергентите разтварят мембрани⁵. В същата година, заедно с Р. Бекер (R. Becker), те разтварят с натриев додецилсулфат обвивката на вируса Семлики форест. Голяма част от това, което знаем за механизма, идва от такива модели и от други обвити вируси: грип, Семлики форест, миши хепатитен вирус, ХИВ и херпес симплекс.

За самия SARS-CoV-2 преките данни са по-малко⁵. Натриев лаурет сулфат с концентрация 0,1 тегловни % го инактивира за 60 секунди върху различни повърхности. Екипът на Сауд разбра от какво е обвивката, като извлече мазнините от пречистени вирусни частици и ги разпозна чрез течна хроматография и маспектрометрия². За да види кои молекули стоят отвън, той закачи химичен етикет за аминокислотите от външната страна и после ги преброи.

Екип с първи автор Халид Иджаз (M. Khalid Ijaz) изпита търговски продукти срещу SARS-CoV-2 и публикува резултатите в *Scientific Reports* през 2021 г.¹². Резултатите са в десетични логаритми на спада на заразния вирус. Спад с 4 логаритмични единици означава 10 000 пъти по-малко заразни частици. Твърд сапун с антимикробната съставка РСМХ, тестван при 0,014 %, намали заразността с поне 4,1 единици, тоест поне около 12 600 пъти, за 30 секунди при 37 °С. Пенлив препарат за ръце с бензалкониев хлорид постигна поне 3,4 единици за минута, а такъв със салицилова киселина — поне 5,0 единици за 30 секунди.

Тук има три уговорки. Продуктите съдържат антимикробни вещества, не са чист сапун. Вирусът е смесен в епруетка с 5 % фетален телешки серум, който имитира органично замърсяване¹². Кожа в опита няма. Изследването е финансирано от компанията Reckitt Benckiser, в която работи и първият автор.

Какво още не е измерено

Авторите на прегледа от 2021 г. пишат направо: „Изследванията на термодинамиката на взаимодействието на повърхностноактивни вещества с вируси са редки“⁵. С други думи, знае се какво се случва, но не и колко енергия струва всяка стъпка и при каква концентрация започва. Дори за добре изучения вирус Семлики форест точната концентрация на натриев додецилсулфат, нужна за инактивирането му, не е могла да бъде определена.

Сместа от мазнини също усложнява картината. Клетките съдържат над 1000 вида липиди, а една вирусна обвивка около 300⁵. Различните вируси имат различни обвивки и не е ясно дали всички се разпадат еднакво лесно. Обвивката на SARS-CoV-2 е измерена при вирус, отгледан в клетъчни култури².

Най-голямата празнина е между епруетката и ръцете. Лабораторните тестове мерят инактивиране на вирус в разтвор или върху стъкло. Препоръките на CDC стъпват на това колко микроби остават по кожата⁹. Никое от изследванията в тази глава не разделя двата ефекта на живи ръце: колко от полезното действие на миенето идва от разрушените обвивки и колко от това, че водата просто отнася всичко, което пияната е вдигнала.

Калъпчето на мивката изглежда същото преди и след миенето. Част от него обаче вече е във водата като малки топчета, с опашки навътре и глави навън. Някои от тях са взели със себе си капка мазнина. Други са разглобили мембрана, дебела колкото две молекули.

КЛЮЧОВИ ЧИСЛА

91 ± 11 нм

среден външен диаметър на частица SARS-CoV-2⁵

10–30 с

за толкова детергентът SDS разтваря изкуствени мехурчета

0,1 %

натриев лаурет сулфат, който изключва вируса за 60 секунди

20 с

най-краткото търкане на ръцете според CDC⁷

40–60 с

цялото миене според плаката на СЗО⁸

~125 000

липидни молекули в обвивката на вирус с радиус 50 нм

Империя, която смяташе с възли

Кипу, бегачите по Андите и сметките на държава без писменост

В Музея на изкуствата в Далас, Тексас, е изложен фрагмент от сноп шнури¹. От един главен шнур висят по-тънки, а от тях още по-тънки. Направени са от памук, растителни влакна и вълна от камилоиди, роднините на ламата, боядисани с индиго и с червена боя. По шнуриите има възли. Предметът е от времето на инките, някъде между 1476 и 1534 г..

Това е кипу, или по-точно парче от кипу. Инките управляват огромна държава без писменост и без колело². В разцвета си тя се простира на около 4000 км по протежение на Андите, от Еквадор и Колумбия на север до Чили, Боливия и Северна Аржентина на юг³. Колко души живеят в нея, не се знае точно, но често се дава оценка над 10 млн.. Как държава с такъв размер води сметка за хората, данъците и складовете си, щом няма нито една написана дума?

Държава, броена на десетици

Самите инки наричат държавата си Тауантинсую, земята от 4 части: Чинчайсую, Антисую, Колясую и Контисую⁴. Голямото ѝ разширение е свързано с владетеля Пачакути, който управлява от 1438 до 1471 г.² За по-малко от век тя покрива дълга ивица по протежение на Андите.

Държавата стои върху труда на поданиците си. Птищата се строят от мобилизирани работници, роби и военнопленници². Поддръжката на всяка къса отсечка е задължение на отделни семейства. Някой трябва да знае кой какво дължи и кой какво е свършил.

За целта работата и производството в общностите са подредени по десетичен принцип⁵. Надзорителите отговарят за групи от 10, 50, 100, 500, 1000, 5000 и дори 10 000 души. Сведенията се записват на кипу и се пращат на управителите.

Инките водят преброявания и пазят резултатите им върху кипу⁶. Компютърен анализ на 21 кипу от административния център Пуручуко, край днешна Лима, показва как данни от преброяване и данъци се обобщават и прехвърлят между различните нива на управлението. Днес обаче със сигурност се четат само числата по шнурите. Останалото, което кипу е пазело, засега е загубено.

Как се пише число с възел

Кипу е сноп шнури, повечето от памук, а част от вълна на камилоиди⁷. От дебел главен шнур висят от 1 до над 1000 потънки шнура³. Значение имат възлите, а вероятно и цветът на шнура, посоката, в която са усукани нишките му, и начинът, по който е закачен.

Възлите следват строго правило. Всеки висящ шнур носи едно число, записано в десетична позиционна система³. Единиците са най-долу, към свободния край. Над тях са десетиците, после стотиците и така нататък, а най-високият разред е най-близо до главния шнур. Мястото на групата показва степента на десетката, а броят на възлите в нея показва цифрата.



Фрагмент от инкско kuyu с главен шнур и висящи от него по-тънки шнури, Музей на изкуствата в Далас. Снимка: Daderot, Public domain.

В горните позиции цифрата се пише с прости възли: 40 са 4 прости възела на мястото на десетиците³. В позицията на единиците се ползва друг възел. Цифрите от 2 до 9 са „дълги възли“, увити толкова пъти, колкото е цифрата: 4 е възел с 4 навивки. Единицата там е възел във формата на осмица. Отделен знак за нула няма: на нейното място просто не се връзва нищо.

Да прочетем един шнур по тези правила. Ако горе има 3 прости възела, по средата нищо, а най-долу дълъг възел с 5 навивки, числото е 305³. Различните видове възли имат практичен смисъл. Дългият възел и осмицата стоят само на мястото на единиците, затова по вида на долния възел личи къде е то. Празните места разделят позициите като интервал между цифрите.

Пазителите на възлите

Кипу не се чете само. Водят го и го четат специалисти, наречени кипукамайок³. Те пазят сметките, числови и други, които са нужни на властта. Още първите конквистадори разпитват такива пазители на шнуриите, за да получат сведения за населението и други данни.

Сметки има и за складовете, а складове има много. Покрай пътищата инките строят хамбари, наречени колка, в които се пази храна⁴. От държавните складове по пътищата се раздават и възнаграждения.

Пътят и безачите

Сметката е безполезна, ако не стига навреме до Куско. Инките изграждат пътна мрежа, която според ЮНЕСКО обхваща над 30 000 км⁸. Тя се основава на 4 главни пътя, които излизат от централния площад на Куско. Инките не започват от нулата: част от мрежата стъпва върху по-стари пътища. По нея векове наред минават кервани, пратеници, армии и цели групи от населението, понякога до 40 000 души. От 2014 г. мрежата, наречена Кхапак Нян, е световно наследство на 6 държави: Колумбия, Еквадор, Перу, Боливия, Чили и Аржентина.

Гръбнакът на мрежата е пътят по Андите, дълъг около 5950 км (3700 мили), от днешна Колумбия до Чили². Край Куско царският път е широк около 3 м. Някои отсечки минават на близо 5000 м надморска височина. Над пропастите висят въжени мостове. В долината на Апуримак 4 общности и днес всяка година изплитат наново мост от тревни въжета, по традиция отпреди половин хилядолетие. Колела по пътя няма, защото инките не използват колело. Всичко, което се пренася, се носи. Затова по пътя стоят станции, наречени тамбо, където пътниците почиват.

Съобщенията пътуват по-бързо от товарите. По пътя тичат бегачи, наречени часки, които си предават щафетно вести и малки пратки⁴. Добрата памет е част от занаята им, защото устното съобщение трябва да стигне до края непроменено. Испански хронисти пишат, че часките носели и кипу, като писма.

Така вестите изминават около 240 км (150 мили) на ден между Кито и Куско². Рибa, уловена в Молендо на брега на океана, стига до Куско, на около 565 км, за 2 дни⁴. Тези числа не идват от съвременни измервания и трябва да се приемат с уговорка. Те показват обаче какво е било възможно по този път.

Как го разбраха

Дълго след завоюването кипу изглеждат като ням предмет. Лесли Лиланд Лок (Leslie Leland Locke), историк на математиката от Бруклин, изучава кипу в Американския природонаучен музей в Ню Йорк³. През 1912 г. той публикува в *American Anthropologist* статията „Древното кипу, перуански запис с възли“. В нея показва, че трите вида възли записват цифри в десетична позиционна система. Лок намира и проверка: на едно кипу числата по горните шнури са сбор от числата по висящите шнури под тях. През 1923 г. музеят издава и книга на Лок. Това е първият надежден ключ.

Следващата крачка е статистика. През 70-те и 80-те години на XX век математичката Марсия Ашър (Marcia Ascher) и антропологът Робърт Ашър (Robert Ascher) увеличават броя на описаните кипу в колекциите по света от малко над 70 до около 400³. Книгата им *Mathematics of the Incas: Code of the Quipu* излиза през 1981 г..

После идват базите данни. Кари Брезин (Carrie Brezine) създава през 2002 г. в Харвард най-голямата база данни за кипу, която днес се поддържа в Чикагския университет³. Гари Ъртън (Gary Urton) и Брезин съобщават през 2005 г. в *Science* за компютърния анализ на кипу от Пуручуко⁶. Някои възли в началото на по-горните кипу оттам може да означават самото място, „Пуручуко“. Публичните данни се събират и в Откритото хранилище на кипу, където към декември 2025 г. номерата стигат до 702⁹.

Археологията отговаря и на въпроса откъде идва самото кипу. Първите кипу, признати от учените, са на по-ранната държава Уари в южните Централни Анди³. Тоест кипу не е изобретение на инките. Шнурите се ползват поне хиляда години, приблизително от 950 до 1950 г.. Инките наследяват

инструмента и го използват в държава с много по-голям мащаб.

Какво още не може да се прочете

Днес са известни поне 1386 кипу в музеи и частни колекции, според преглед от 2021 г.³. Това е с около половина повече от предишната оценка. Много други са унищожени нарочно. В началото на XVII век католическите мисионери получават нареждане да горят кипу в планинското село Каста⁷. Там обаче хората продължават да ги ползват тайно чак до 40-те години на XX век.

Числата по шнурите се четат уверено. Думите са друг въпрос: не се знае дали кипу изобщо са пазели думи. Част от учените смятат, че кипу са само помагало за паметта, което пази числа⁷. Испанските свидетели обаче пишат, че с кипу се разказват истории и се пращат писма.

Сабин Хайланд (Sabine Hyland) изследва през 2015 г. 2 кипу, пазени от селските власти в перуанското село Колата⁷. Местните хора казват, че това са разказни писма за война. Едното има 288 висящи шнура, другото 199, и по тях няма числови възли. За сравнение, около две трети от запазените кипу носят такива възли. Значението тук трябва да е в цветовете, в нишките и в подредбата. Хайланд намира в тях 95 различни символа, повече, отколкото в местните счетоводни кипу. Тя предполага логосилабична писменост, със знаци както за думи, така и за срички. Според старейшините обаче тези кипу са от XVIII век, от колониалната епоха, а не от времето на инките. Дали нещо подобно е съществувало и преди испанците, остава отворено.

Фрагментът в Далас има и горни шнури, и шнури върху шнури¹. Някой е избрал цвета на всеки от тях и е вързал всеки възел на определено място. Ако по шнурите му има числа, те могат да се прочетат и днес. Какво е означавал цветът на всеки шнур, никой не може да каже със сигурност.

КЛЮЧОВИ ЧИСЛА

1438 г.

началото на управлението на Пачакути²

10–10 000

размери на групите в десетичната администрация⁵

над 30 000 км

пътната мрежа според ЮНЕСКО⁸

~240 км

изминати от вестите на часките за 1 ден

1912 г.

Лок показва десетичната система на кипу³

поне 1386

известни кипу в колекциите по света

Два календара и град в езерото

Как мешиките броят дните и как издигат столица върху вода

На 21 февруари 1978 г. работници на Компанията за светлина и енергия на Центъра копаят между улиците Аржентина и Гватемала в историческия център на Мексико Сити¹. Под земята те удрят камък. Това е кръгъл монолит с диаметър между 3,04 и 3,25 м и дебелина 30 см². Тежи около 8 т. По него е изсечена лунната богиня Койолшауки, а находката дава начало на Проекта „Велик храм“.

Храмът е бил сърцето на Теночтитлан, столицата на мешиките, които днес наричаме ацтеки. Най-надеждният писмен източник за техния свят е един ръкопис от XVI век, за който ще стане дума по-нататък³. Градът им стои на сред езеро. Животът в него се движи по два календара наведнъж. Как работят и двете неща и откъде знаем за тях, щом самият град е разрушен и застроен?

Град върху острови

Мешиките издигат столицата си на малък остров в езерото Тескоко, в Мексиканската долина⁴. Островът постепенно става град, който в началото на XVI век заема около 13,5 кв. км⁵. Испанците, които го виждат, описват голямо езеро, осеяно с множество канута, и бял град наред с него. Каналите и реките са гръбнакът на неговото устройство.

В средата на града стои ограден свещен участък. Според изчисленията на археолозите той е заемал около 12,24 хектара⁵. Разкопките от 1978–1982 г. са проучили 1,29 хектара, около 10,5 % от него. Голяма част от свещения участък и днес още лежи под сградите на съвременния град.

След завоюването испанците разрушават островния град, започват да пресушават езерото и строят върху руините му новата столица, Мексико Сити⁴. Руините на Великия храм днес са на няколко крачки от катедралата, най-голямата на континента.

Ниви, които не плуват

Градът трябва и да яде. Част от храната в долината расте в самото езеро, на ниви, наречени чинампи⁶. Често ги наричат „плаващи“ градини, но това са изкуствени острови, изградени в плитката вода.

Изграждат се на слоеве. Във водата се забиват колове от ахухоте, местна върба, така че да се оформят дълги и тесни островчета⁶. Те се запълват с клони, камъни, гниеца водна растителност и тиня от дъното и отгоре се покриват със слоеве глина и пръст. Между островите остава мрежа от канали. Тинята на езерото е богата на органично вещество и затова тези ниви раждат много.

Част от този пейзаж е оцелял. Каналите и изкуствените острови на Шочимилко, на 28 км южно от центъра, заедно с историческия център на Мексико Сити са в списъка на ЮНЕСКО от 1987 г.⁴. Организацията на ООН за прехрана и земеделие (ФАО) обявява през 2018 г. земеделската система на чинампите за световно значимо земеделско наследство⁶. Чинампите и днес дават около 19 000 т царевица и зеленчуци

годишно. Те са в защитена природна зона, създадена през 1992 г.. Зоната обаче е застрашена: от 2215 хектара около 80 % от чинампите не се обработват. Градът се разраства, водата е малко и е замърсена, а хората намират по-добра работа другаде.

Двата броя на гните

Мешиките броят дните по два цикъла едновременно. Първият е ритуалният календар тоналпоуали. Той дава по 13 дни на всеки от 20 знака на дните, като започва със знака Сипактли³. Числата се въртят от 1 до 13, а знаците от първия до двадесетия. Двете коелла се движат заедно, като два зъбни венеца с различен брой зъби. Една и съща двойка число и знак се връща след $13 \times 20 = 260$ дни. Дните се броят на периоди по 13.

Вторият цикъл е слънчевата година. Тя има 18 месеца по 20 дни, или 360 дни³. Последните 5 дни на годината не влизат в нито един месец и се оставят извън броенето като безполезни. Всеки двадесетдневен месец има свой празник.

Двата цикъла се срещат отново в същата точка след най-малкото общо кратно на 260 и 365³. То е 18 980 дни, тоест точно 52 слънчеви години или 73 ритуални цикъла. Мешиките стигат до същото число и по друг път. Те именуват всяка година с един от 4 знака, свързани с посоките на света: Заек за юга, Тръстика за изтока, Кремък за севера и Къща за запада. Към знака се добавя число от 1 до 13. Комбинациите са $4 \times 13 = 52$, след което имената се повтарят.

Такъв кръг от 52 години се нарича „връзка от години“³. Две връзки, 104 години, правят „една старост“. В края на всяка връзка се пали нов огън.

Новият огън

Церемонията е описана подробно в седмата книга на Флорентинския кодекс³. Когато връзката от години се затваря, огньовете навсякъде се гасят. Хората хвърлят във водата домашните си идоли от дърво и камък, чукалата и камъните на огнищата и измитат грижливо къщите.

По залез свещениците, облечени като боговете, тръгват бавно и тържествено от града към хълма Уишачтлан, на 2

левги от Мексико³. За тях казват, че „вървят като богове“. Стигат там към полунощ. Огъня пали свещеникът от квартала Кополко, който по пътя упражнява движенията с инструментите в ръцете си. Огънят се пали със свредел върху гърдите на знатен пленник, а сърцето му се хвърля в пламъка.

Докато чакат, всички се боят³. Вярва се, че ако огънят не пламне, слънцето ще изчезне завинаги, нощта ще трае вечно, а от небето ще слязат чудовища, които ядат хора. Затова всички се качват по покривите. Бременните жени слагат маски от листа на агаве, а децата не ги оставят да заспят, за да не се превърнат в мишки.

Когато огънят пламне, на хълма се пали голяма клада, която се вижда отдалеч³. Щом я видят, хората си порязват ушите и пръскат кръвта към пламъка. Бързи бегачи разнасят огъня с борини до селищата, първо до храмовете, а после до всеки дом. Започва нов кръг от 52 години.

Как го разбраха

Първият източник са самите книги, рисувани от местни художници. Сред тях с календарите си се откроява Кодексът Борбоникус, който показва и ритуалния, и слънчевия календар⁷. Днес той се пази в библиотеката на Националното събрание в Париж, където вероятно е попаднал от испанската библиотека Ескориал по времето на Наполеон. Над рисунките има по-късни бележки на испански. Дали е рисуван преди или след идването на испанците, се спори.

Вторият източник са текстовете, писани след завоюването. Най-големият е Флорентинският кодекс на францисканеца Бернардино де Саагун³. Той го създава заедно с науа старейшини, автори и художници. Текстът е в две успоредни колони, на науатъл и на испански, в 12 книги с близо 2500 рисувани изображения. Ръкописът е завършен през 1577 г. в колежа „Санта Крус“ в Тлателолко и после е изпратен в библиотеката на Медичите във Флоренция. Втората му книга е за календара и празниците, четвъртата за ритуалното броене на дните, а седмата съдържа броенето на годините и новия огън.

Тези текстове имат своя гледна точка. Пише ги испански монах, а старейшините му разказват за свят, който вече е



Руините на Великия храм на Теночтитлан в историческия център на Мексико Сити.
Снимка: Juan Carlos Fonseca Mata, CC BY-SA 4.0.

разрушен. Самият Саагун показва как работи: когато чува различни мнения, той събира хората и ги кара да спорят, докато стигнат до общ отговор³.

Третият източник е под земята. Проектът „Велик храм“ започва веднага след находката¹. Полевите работи тръгват още през март 1978 г., с подкрепата на федералното правителство и на частни дарители⁵. Целта е да се извади наяве цялата главна пирамида на империята. Първият сезон на разкопките трае от 1978 до 1982 г. под ръководството на Едуардо Матос Моктесума, с екип от 600 души. За 4 години са открити 13 разширения на Великия храм, 14 по-малки храмови сгради и 107 ритуални приношения с над 7000 предмета. Оказва се, че храмът не е строен наведнъж, а е обвиван отново и отново с нови, по-големи постройки. Музеят до разкопките е открит на 12 октомври 1987 г.⁸.

Какво още се спори

Най-старият спор е кога всъщност започва годината. Още Саагун записва, че на различни места му казват различно: едни, че започва през януари, други в началото на февруари, трети през март³. Той събира в Тлателолко най-знаещите старейшини и студентите си, които спорят много дни и накрая решават, че годината започва на 2 февруари. Това е тяхното заключение, а не отговор, приет от всички.

Свързан въпрос е как година от 365 дни остава в крак със сезоните³. Ако към 360-те дни на месеците винаги се добавят само 5 дни, календарът бавно се изплъзва спрямо слънцето. Дали и как мешиките са поправяли това разминаване, източниците, които прегледахме, не казват.

Спорна е и датировката на Кодекса Борбоникус⁷. Дори прочутият Камък на слънцето, диск с диаметър около 3,6 м и тегло около 24,5 т в Националния антропологичен музей, често е наричан „ацтекски календар“⁹. Музеят изрично пише, че той не е работил като календар. Камъкът е открит на 17 декември 1790 г.. Календарът е системата от двата цикъла, а не един камък.

Днес руините на Великия храм лежат открити в центъра на Мексико Сити, а до тях стои катедралата, построена след разрушаването на града⁴. Езерото почти го няма. Знаците за

КЛЮЧОВИ ЧИСЛА

260 дни	ритуалният цикъл: 13 числа по 20 знака ³
360 + 5 дни	слънчевата година: 18 месеца по 20 дни и 5 дни извън броенето
52 години	„връзката от години“, след която двата цикъла се срещат
18 980 дни	52 слънчеви години = 73 ритуални цикъла
19 000 m	царевица и зеленчуци от чинампите годишно ⁶
1978–1982 г.	първият сезон на разкопките на Великия храм ⁵

ден и година още стоят по камъните и по страниците на кодексите и се броят по същите две правила.

Как Селкърк оцеля сам на острова

Корабният дневник на Роджърс, есето на Стийл и парче от пергел

Логката на английския корсарски кораб „Дюк“ се връща от брега на остров Мас а Тиера, натоварена с лангусти. В нея седи и един непознат. Капитан Удс Роджърс (Woodes Rogers) записва в дневника си, че мъжът е облечен в кози кожи и „изглеждаше по-див от първите им притежатели“¹. Датата в дневника е 2 февруари 1709 г. Човекът се казва Александър Селкърк и е живял на острова сам 4 години и 4 месеца.

Историята му е известна главно заради един роман. Тук въпросът е по-скромен и по-труден. Как точно е оцелял един моряк сам на пуст остров в Тихия океан и откъде го знаем, след като самият той не е оставил нито ред?

Слизане по собствено желание

Селкърк е роден през 1676 г. в Лоуър Ларго в графство Файф, Шотландия². През 1703 г. постъпва в корсарската експедиция на Уилям Дампиър (William Dampier) като щурман на кораба „Синк Порто“. Капитан на кораба е Томас Страдлинг.

През септември 1704 г.³ „Синк Портс“ спира при Мас а Тиера, на около 670 км от бреговете на Чили⁴. Корабът тече, а Селкърк и капитанът са в лоши отношения. По думите, които Роджърс записва по-късно, Селкърк първо сам предпочита да остане. Когато размисля, капитанът вече не иска да го вземе обратно¹. Той познава острова: бил е там и преди, когато двама души от екипажа са останали на брега 6 месеца.

Роджърс изброява какво е имал при себе си. Дрехи и постеля, пушка с кремъчен механизъм, малко барут и куршуми, тютюн, бравичка, нож, котел, Библия, няколко благочестиви книги, математическите си инструменти и книги¹. Списъкът ще се окаже важен след почти три века, затова си струва да запомните инструментите.

Вода, храна и подслон

Водата не е била проблем. Роджърс описва потоци с кресон в първата равнина на острова, а Селкърк му казва, че през цялото време е пил само вода¹. Когато моряците му предлагат глътка алкохол на борда, той отказва.

С храната е по-сложно. Рибата има в изобилие, но без сол тя му причинява разстройство, затова не я яде¹. Изключение са лангустите край скалите, „големи колкото нашите омари“, които вари или пече. Основната храна идва от дивите кози. Роджърс пише, че първите кози са пуснати нарочно от испанеца Хуан Фернандес, който за известно време се заселва там с няколко семейства. Към тях Селкърк добавя ряпа, засята от хората на Дампиър, „зеле“ от зелевите дървета и плодовете на дърво, което Роджърс нарича пименто и смята за същото като ямайския пипер.

Барутът му стига само за известно време. Роджърс уточнява, че е бил „само един фунт“¹. Преди да свърши, Селкърк вече пали огън, като търка две пръчки от пиментово дърво върху коляното си. После започва да гони козите пеша. Записал си е, че е убил 500 кози и че още толкова е хванал, маркирал на ухото и пуснал.

Климатът помага. Според Роджърс зимата трае само през юни и юли и не е сурова: лек мраз и малко градушка¹. Селкърк му казва, че през юли е виждал и сняг и лед. През ноември пък

брегът се изпълва с тюлени, които излизат да раждат и не се отместват от пътя на човека. Самият Селкърк живее навътре, в планините, а не на плажа.

Подслонът е от същото дърво. Селкърк строи две колиби от пименто, покрива ги с дълга трева и ги облицова с кози кожи¹. В по-малката готви. В по-голямата спи, чете, пее псалми и се моли.

Дрехите не издържат дълго. Обувките и дрехите се износват от тичане из гората, а ходилата му загрубяват толкова, че тича навсякъде бос¹. От кози кожи си прави палто и шапка, които зашива с тънки ремъчета от същата кожа. Игла няма, затова използва пирон. Когато ножът се изтрива до гърба, прави нови от железни обръчи, оставени на брега, които изчуква на тънко и точи на камък.



Статуйата на Александър Селкърк в кози кожи на мястото на родната му къща в Лоуър Ларго, Шотландия. Снимка: SylviaStanley, CC BY-SA 3.0.

Плъховете, котките и празното време

Най-трудни са първите месеци. Според Роджърс през първите 8 месеца Селкърк едва се справя с меланхолията и страха от самотата¹. Яде само когато гладът го принуди и не ляга, докато не може повече да стои буден.

После идват плъховете. Те са слезли от корабите, които спират за дърва и вода, и нощем гризат краката и дрехите му¹. Решението е котките, които също са слезли от корабите. Селкърк ги храни с козе месо, докато много от тях опитомява. Роджърс пише, че накрая котките лежат около него „със стотици“. Опитомява и няколко козлета и понякога пее и танцува с тях и с котките.

Времето запълва и по други начини. Чете Библията, издълбава името си по дърветата заедно с датата, в която е оставен, и колко време е прекарал там¹. Роджърс записва и думите му, че на острова е бил по-добър християнин от когато и да било преди и се опасява, че никога вече няма да бъде такъв.

Два случая показват колко опасен е бил островът. Веднъж, докато гони коза, той я хваща на ръба на пропаст, скрита зад храстите, и пада заедно с нея¹. Зашеметен, лежи там около 24 часа. Колибата му е на около миля и после 10 дни почти не може да излезе. Вторият случай е свързан с хора. Покрай острова минават няколко кораба, но котва пускат само 2. И двата са испански. Испанците стрелят по него и го преследват в гората. Той се качва на дърво, под което те спират, без да го забележат. От французи, казва той на Роджърс, не би се крил. От испанците се страхува, че ще го убият или ще го пратят в мините.

Когато го намират, е на около 30 години¹. Роджърс веднага го взема за помощник-капитан, защото Дампийър, който е с експедицията, го описва като най-добрия човек на „Синк Портс“. Селкърк продължава с корсарите и пристига в Даунс край английския бряг на 1 октомври 1711 г.³ В първите дни на борда екипажът почти не го разбира, защото „сякаш изговаряше думите си наполовина“.

Как го разбраха

Почти всичко дотук идва от един източник.

Роджърс издава книгата си Околосветско каперско плаване (*A Cruising Voyage Round the World*) през 1712 г.² Разказът за Селкърк в нея е преразказ на онова, което Селкърк е казал на капитана в първите дни след спасяването. Роджърс сам отделя чутото от видяното. Видял е например как Селкърк надбягва корабния булдог и най-бързите моряци и донася козите на гръб¹. Видял е как всеки ден хваща по 2 или 3 кози за 21 болни от скорбут на „Дюк“.

Втори свидетел е офицерът Едуард Кук (Edward Cooke) от същата експедиция. Неговата книга излиза също през 1712 г.² Той нарича Селкърк „истински моряк“, чиято единствена грижа на острова е била да се изхрани. Двата текста се допълват, но не са независими: авторите са слушали един и същ човек на един и същ кораб.

Третият източник е по-късен. Есеистът Ричард Стийл (Richard Steele) се запознава със Селкърк и му посвещава брой 26 на вестника си *The Englishman* от 3 декември 1713 г.² Според по-късен преразказ Селкърк казва, че вече има 800 лири, но никога няма да бъде толкова щастлив, колкото е бил, когато не е имал нищо³. Стийл пише, че в погледа му имало „силна, но жизнерадостна сериозност“ и безразличие към обикновените неща наоколо, „сякаш е потънал в мисли“⁵.

Сравнението между разказите показва как се променя една история. Роджърс пише, че след падането Селкърк лежи около 24 часа¹. Биограф от XIX век отбелязва, че у Стийл престоят става 3 дни⁶. При такова разминаване по-голяма тежест има записът, направен най-близо до събитието от човек, който сам е видял поне част от описаното.

Има и четвърти източник, който не е текст. През февруари 2005 г. експедиция на острова разкопава място до наблюдателния пункт, наречен на Селкърк³. Там е намерено парче от медна сплав, част от навигационен пергел от края на XVII или началото на XVIII век. Резултатите са публикувани през 2007 г. от Дайсуке Такахаши (Daisuke Takahashi) и съавтори в списанието *Post-Medieval Archaeology*⁷. Разкопката разкрива

испански барутен склад от XVIII век и следи от лагер на ранен европейски обитател. Авторите изграждат довод, че лагерът е на Селкърк. Той е единственият известен човек на острова по онова време, който вероятно е имал пергел, а Роджърс изрично изброява математически инструменти сред вещите му¹.

Робинзон е друг човек

Даниел Дефо издава Робинзон Крузо на 25 април 1719 г.⁸ Приликите със Селкърк се виждат веднага: самотен моряк, кози, колиба, дрехи от кожи. Разликите са по-големи. Робинзон преживява корабкрушение, докато Селкърк слиза доброволно. Островът на Крузо е тропически и се намира край бреговете на Венецуела и Тринидад, далеч от Тихия океан. Робинзон остава там 28 години, има другар на име Петкан и се бие с канибали. Селкърк е сам и се крие от испанци.

Повечето литературоведи днес приемат, че Селкърк е само един от многото разкази за оцелели, които Дефо е познавал³. Британският „Речник на националните биографии“ от края на XIX век отбелязва, че няма данни Дефо да е знаел за Селкърк повече от публикуваното от Роджърс, Кук и Стийл². Самият Роджърс споменава и друг човек, оставен на същия остров: индианец мискито, който живял там сам 3 години, докато Дампиър не го прибрал през 1684 г.¹ Романът все пак надделява над всички тях. Чили преименува Мас а Тиера на остров Робинзон Крузо през 1966 г.

Какво не знаем

Не знаем какво би разказал самият Селкърк, ако беше писал. Всичко минава през чужда ръка: капитан, който пише собствения си пътепис, офицер от същия кораб и есеист, който търси поука. Роджърс дори прекъсва разказа, за да размишлява за ползата от простия живот, и после сам признава, че това е работа за философ, а не за моряк¹.

Не знаем и колко точни са числата.

Числото 500 за убитите кози е сметка, която Селкърк е водил сам и е съобщил устно¹. Тези около 24 часа след падането са

КЛЮЧОВИ ЧИСЛА

4 г. и 4 мес.	Колко дълго Селкърк живее сам на Мас а Тиера ¹
670 km	Разстояние от острова до бреговете на Чили ⁴
500	Кози, които Селкърк казва, че е убил
1 фунт	Барутът, който е имал при слизането
24 часа	Колко лежи в подножието на пропастта според Роджърс
28 години	Колко време Робинзон прекарва на своя остров ⁸

преценка на човек, който поне част от това време е бил в безсъзнание.

Находката от 2005 г. също оставя място за съмнение³. Резюмето на статията говори за довод в полза на Селкърк⁷. На острова по това време не е известен друг човек, който е могъл да носи навигационен пергел. Но фрагментът няма надпис и не носи име.

Преди да отплава, Роджърс праща лодка за кози до южния край на острова. Селкърк му казва, че от планините, където е живял, никога не е успял да слезе дотам. Ловците се връщат само с 16 кози, макар да са видели над 1000¹. Капитанът записва, че ако някой кораб дойде отново, между козите на острова ще намери стотици с белега, който Селкърк е изрязвал на ухото им.

Чий е гробът в Голямата Косматка

Как археолозите четат неограбена тракийска гробница край Шипка

В Националния археологически музей в София стои бронзова глава на брадат мъж с мустаци, вече не млад¹. Очите му са от бял камък, вероятно алабастр, и стъклена паста в няколко цвята². Главата е била заровена в земята пред входа на тракийска гробница край Шипка. Археолозите я наричат портрет на одриския цар Севт III.

Името не е написано върху главата. В гробницата не е намерено и тяло, което да се свърже с него. Как тогава един екип решава чий е гробът и колко сигурно е това решение?

Могилата отвън и отвътре

Голямата Косматка е на около километър южно от град Шипка, северно от Казанлък³. Могилата е сред най-големите в Тракия: висока до 23 м, с диаметър 130 м¹. В нея е открита една от малкото запазени неограбени тракийски гробници. Насипът е натрупан предварително, а гробницата е вградена в него по-късно, като към фасадата води широка алея.

Разкопките ръководи Георги Китов от Археологическия институт с музей при БАН, където работи от 1971 г.⁴ През 1972 г. той основава Траколожката експедиция за могилни проучвания и през следващите десетилетия разкопава гробници при Стрелча и Александрово и храмов комплекс край Старосел. Голямата Косматка неговият екип проучва през септември и октомври 2004 г.¹

Вътре археолозите намират коридор, наречен с гръцката дума дромос, дълъг 13 м¹. След него идват три помещения. Първото е правоъгълно, покрито с фалшив свод, и в него лежи скелет на кон. Второто е кръгло, с куполен покрив, висок 4,5 м. Входът към него се затваря с двукрила мраморна врата, на чието едно крило има релефен медальон с бога на слънцето Хелиос, а на другото с Горгона Медуза.

Третото помещение е издълбано в монолитен каменен блок с тегло около 60 тона¹. Блокът е оформен като саркофаг, в него е изсечено каменно погребално легло, а в помещението са намерени повечето находки. Историческият музей „Искра“ в Казанлък уточнява, че върху издълбания блок е положен втори, оформен двускатно⁵. Затова туристическият регистър на Министерството на туризма описва камерата като направена от два монолита, единият от които тежи над 60 тона³.

Какво е оставено в камерата

Погребението е богато.

В третата камера на място са намерени златен венец от дъбови листа и жълъди и съдове за вино¹. Сред тях са три глинени амфори, бронзови и сребърни съдове и златен киликс, плитка чаша за вино. Има бронзов шлем със сребърна позлатена апликация, наколенници, нагръдник със златотъкана украса и железен меч в ножница със златни апликации. Има и украса за конска сбруя, кръгла златна апликация с глава на разярен лъв, стъклени пулове за игра и два съда за благовония от алабастр.

Един предмет не прилича на останалите. Това е позлатена сребърна кутийка с форма на черупка от мида *Pecten jacobaeus*, дълга 16 см, широка 17,8 см, висока 4 см и тежка 381,46 г¹.

Археолозите наричат такъв съд пиксида и го причисляват към предметите, свързани с тоалета.

Пред гробницата има още една находка, може би най-известната. На 7 м пред фасадата е заровена бронзовата глава от статуя в естествен ръст^{1, 2}.

Разкопките показват и последователността, в която гробницата е затворена. След като даровете са положени, в първата камера е принесен в жертва кон¹. Мраморната врата към кръглата камера е начупена, а парчетата ѝ са използвани с други камъни, за да се зазидат входовете. Коридорът е опожарен и запълнен с камъни и пръст. Редът се чете от самите находки: парче от вратата в зида означава, че вратата е била счупена преди зазиждането, а не след него. Тъй като никой не е влизал след това, предметите са там, където са били оставени.

Как го разбраха

Неограбената гробница дава на археолозите нещо рядко: предмети на мястото им.

Изводът за собственика се появява много бързо. Още през 2005 г.¹ Китов публикува описание на гробницата в списанието *Archaeologia Bulgarica* под заглавие „Новооткритата гробница на тракийския владетел Севт III“. Името е в заглавието от самото начало. Доводите зад него обаче се градят от няколко отделни нишки, всяка от които сама по себе си не стига.

Първата нишка е надпис. Върху шлема и върху два от сребърните съдове е изписано име в родителен падеж: ΣΕΥΘΟΥ, тоест „на Севт“¹. Археологът Чавдар Цочев разглежда надписите върху съдовете в статия от 2016 г.⁶ Освен името те съдържат теглото на съда в монетни единици. Според Цочев съдовете са претегляни срещу монети по атическия стандарт и надписите са правени, когато съдът постъпва в царската хазна или при по-късна инвентаризация. Надписът казва чий е бил съдът, но не казва кой лежи в гробницата.

Втората нишка е мястото. Могилата е на около 10 км от Севтополис, града, който Севт III основава вероятно около 320 г. пр.н.е. и кръщава на себе си¹. Руините на Севтополис



Бронзовата глава от Голямата Косматка, смятана за портрет на Севт III, в Националния археологически музей в София. Снимка: Ann Wuyts, CC BY 2.0.

са открити през 1948 г. при строежа на днешния язовир „Копринка“⁷. Държавата дава на археолозите 6 години да проучат каквото могат, после градът е наводнен и днес лежи на дъното на язовира. Големият гръцки надпис от Севтополис е намерен през 1953 г. в двореца-цитадела. Той споменава Севт, Береника и синовете им⁸.

Третата нишка е датата. Една от трите амфори носи печат с гръцкото име *Νηροτίμου*, който се датира грубо между 310 и 275 г. пр.н.е.¹ Останалите предмети са от края на IV и началото на III в. пр.н.е. По-точна дата е трудно да се даде, защото металните съдове и оръжия се ползват дълго, преди да попаднат в гроба.

Тази дата трябва да се съпостави с живота на царя. Севт III е засвидетелстван със сигурност в изворите между 324 и 312 г. пр.н.е.⁸ Около 325 г. пр.н.е. се надига срещу македонската власт, а през 322 г. пр.н.е. води битка без победител с Лизимах, който управлява Тракия след смъртта на Александър. Според историка Диодор Севт събира за нея 8000 конници и 20 000 пехотинци⁹. По-късно Севт подкрепя въстанието на град Калатис срещу Лизимах, а след поражението си от Лизимах изчезва от разказите на древните историци. По монети се съди, че вероятно още управлява през 297 г. пр.н.е. Кога умира, не се знае: различните мнения поставят смъртта му между края на IV век и 80-те години на III в. пр.н.е.¹

Четвъртата нишка е лицето. Китов сравнява профила на бронзовата глава с образа на Севт III върху монетите му и намира сходство¹. Археоложката Диана Димитрова публикува през 2015 г. монография за гробницата с химичен анализ на леярската пръст от вътрешността на главата. Според анализа пръстта е от района на Казанлък, тоест статуята е излята на място.

Нито една от четирите нишки не е доказателство сама. Заедно те правят Севт III най-вероятния кандидат, макар че нито един надпис не свързва името му пряко с погребания човек.

В по-кратките текстове тази предпазливост изчезва. Туристическият регистър на министерството пише направо, че надпис показва погребението на Севт III в началото на III в. пр.н.е.³ Научните публикации говорят за най-вероятна идентификация.

Какво остава спорно

Най-голямата празнота е тялото. Без него няма как да се направи нито антропологичен, нито генетичен анализ на погребания.

В гробницата не са открити човешки останки, освен три негорели зъба от дете на 10 до 12 години, разпръснати в кръглата камера¹. Емил Нанков, който изследва пиксидата, отбелязва, че няма данни тялото да е изгорено в дромоса. Къде е било то и дали изобщо е положено тук, не се знае.

Втората празнота е самата постройка. Туристическият регистър на министерството я описва като храм, построен през втората половина на V в. пр.н.е. и използван за погребение едва в началото на III в. пр.н.е.³ Китов допуска, че преди погребението в нея повече от век са се извършвали орфически мистерии¹. За тази идея няма археологически данни, макар че музеят „Искра“ я представя на сайта си като факт⁵. През 2007 г. проучване с георадар, водено от Явор Шопов, показва според него, че в могилата има по-голяма, неразкопана сграда.

Третата е мидената кутийка. Нанков предполага, че е принадлежала на Береника и тя я е оставила в гроба на съпруга си на прощаване¹. Довод за това е, че подобни предмети се срещат в богати женски гробове в Южна Италия и Македония. Големият надпис от Севтополис обаче не позволява да се каже дали Севт е жив, когато е издълбан, и дали Береника тогава е съпруга или вече вдовица⁸.

Спорни са и подробностите около главата. Димитрова свързва техниката на отливане и стила с атинския скулптор Силанион¹. Подпис на майстора няма, затова връзката остава предположение, което другите изследователи могат да приемат или не.

Има и въпрос за метода. Китов работи бързо и често със земекопни машини, за което мнозина колеги го критикуват¹⁰. Самият той вижда в скоростта начин да изпревари иманията. Голямата Косматка е проучена за около два месеца¹. От това колко подробно е документирано положението на всеки предмет зависи колко далеч могат да стигнат следващите изследователи.

Къде са находките днес

Находките днес са разделени между два музея. Каменните камери остават празни на мястото си.

Златният венец, шлемът, наколенниците и златното и сребърното конско снаряжение са в трезорната зала на Историческия музей „Искра“ в Казанлък¹¹. Музеят е основан през 1901 г. и пази над 70 000 оригинални експоната.

Бронзовата глава е в Националния археологически музей в София¹². Тя е сред българските находки, които най-често

се канят за изложби в чужбина. Показвана е в Лувъра, на пролетната изложба за тракийско изкуство, и в изложбата за елинистическа бронзова скулптура в Гети център в Лос Анджелис. Покани за нея има и от Италия, Хърватия, Турция и Мароко.

Самата гробница е отворена за посетители. В началото на 2015 г. свлачище и дъждове повреждат насипа и след 3 март 2015 г. тя е затворена¹. От началото на юни 2016 г. отново приема посетители след ремонт, макар че до могилата няма обществен транспорт³.

Георги Китов не дочаква монографията за гробницата. Той умира от сърдечен удар на 14 септември 2008 г., по време на разкопки край Старосел⁴.

Във входното помещение на защитната постройка пред гробницата е изложено копие на бронзовата глава¹. Посетителят минава покрай него, преди да влезе в коридора към камерите, докато самата глава, с очите от камък и стъкло, стои в музея в София.

КЛЮЧОВИ ЧИСЛА

23 м	Височина на могилата Голямата Косматка ¹
130 м	Диаметър на могилата
13 м	Дължина на коридора към гробницата
около 60 т	Тегло на каменния блок, в който е издълбана погребалната камера
310–275 г. пр.н.е.	Датировка на печата върху една от амфорите
10 km	Разстояние от могилата до Севтополис

Галите в Рим и гъските на Капитолия

Как историците отделят станалото от разказа за него

Галите избират нощ със съвсем слаба светлина. Група от тях се катери по скалата на Капитолийския хълм в Рим, близо до храма на Карментис. Пред тях върви човек без оръжие, който проверява пътя, а останалите си подават оръжията на трудните места и се дърпат един друг нагоре¹. Стражите не ги чуват. Кучетата не се събуждат. Будят се свещените гъски на богинята Юнона, които обсадените не са изяли въпреки глада. Крясъкът им вдига Марк Манлий, бивш консул, и той събаря първия гал от ръба.

Така разказва тази нощ римският историк Тит Ливий. Той пише повече от три века след нея. Как тогава историците решават кое в такъв разказ се е случило и кое е добавено по-късно?

Най-сухият разказ

Най-ранният запазен разказ за превземането на Рим от галите е на гръцкия историк Полибий, живял приблизително между 200 и 118 г. пр.н.е.² Той пише за събитието мимоходом, като увод към войните на Рим с галите в Северна Италия.

Според Полибий галите побеждават римляните и съюзниците им в открита битка. После преследват бягащите и три дни след битката заемат „целия Рим с изключение на Капитолия“³. Накрая сключват договор с римляните и се връщат у дома, защото венетите са нахлули в собствената им земя. Отново се появяват едва 30 години по-късно.

На друго място Полибий дава още едно число. Когато описва една по-късна война на галите с Рим, той разказва как инсубрите и боите викат на помощ гезатите и им напомнят, че предците им са държали Рим 7 месеца и са го върнали доброволно, като се прибрали с плячката „невредими и цели“³. Това е спомен, който Полибий влага в устата на тези гали.

У Полибий няма гъски. Няма меч върху везните, няма спасител в последния момент. Има поражение, обсада, договор и изтегляне. В началото на труда си Полибий казва същото: римляните сключват примирие „при условия, удовлетворителни за галите“, и така си връщат града⁴.

Пълният разказ

Ливий живее от 59 г. пр.н.е. до 17 г. сл.н.е.⁵ Неговата История на Рим от основаването на града дава разказа, който всички помнят.

Според Ливий галите, които идват до Рим, са сеноните, последното галско племе, заселило се в Северна Италия¹. Те обсаждат етруския град Клузиум. Рим изпраща като пратеници трима синове на Марк Фабий Амбуст. Пратениците се включват в боя и Квинт Фабий убива галски вожд. Галите искат виновниците да им бъдат предадени. Вместо това римляните ги избират за военни трибуни с консулска власт за следващата година.

Двете армии се срещат при вливането на рекичката Алия в Тибър, на едва 11 мили от Рим¹. Римляните бягат почти без бой.

Много се дават в Тибър под тежестта на бронята, а повечето оцелели се укриват в съседния град Вейи. Галите стигат до Рим малко преди залез и нощуват пред града, защото се боят от нощен бой по улиците на непознатия град.

Ливий не крие, че разказва с поука. Според него трибуните не укрепили лагер и подредили войската, без да получат благоприятни знамения, като пренебрегнали боговете не по-малко от врага¹. Още при боя край Клузиум той пише, че „съдбата вече тласкала Рим към гибел“. Такъв разказ е подреден така, че поражението да има вина, а спасението да има герой.

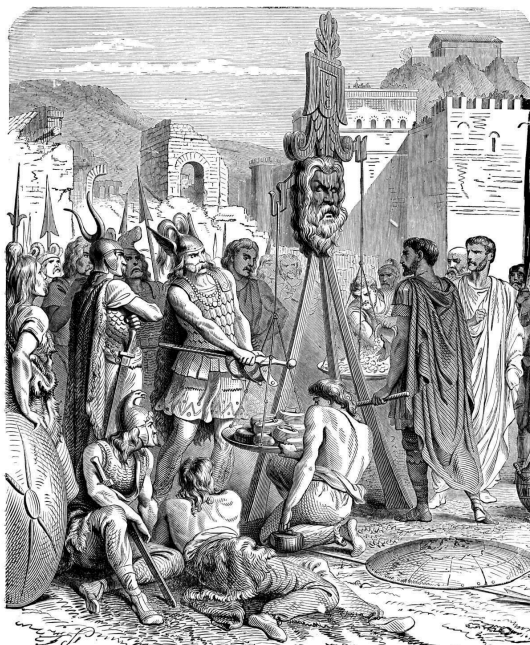
Следва сцената със старите бивши магистрати, останали в града. Те седят пред домовете си в церемониални одежди, на столове от слонова кост. Един гал поглажда брадата на Марк Папирий, той го удря с жезъла си и започва клането¹. После идва нощната атака срещу Капитолия и гъските.

Накрая гладът принуждава защитниците да преговарят. Консулският трибун Квинт Сулпиций (военен трибун с власт на консул) и вождът на галите Брен се договарят за откуп от 1000 фунта злато¹. Галите мерят с фалшиви тежести. Когато трибунът протестира, един надменен гал хвърля меча си върху везните с думите „Горко на победените!“ В този момент пристига диктаторът Марк Фурий Камил. Той обявява сделката за невалидна, разбива галите и при втора битка по пътя за Габии не оставя жив нито един.

Как го разбраха

Първата стъпка на историка е да подреди изворите по възраст и по независимост. Полибий е най-ранният. Диодор Сицилийски пише своята Историческа библиотека през I в. пр.н.е., между 60 и 30 г. пр.н.е.⁶ Ливий е малко по-късен. Плутарх, автор на биография на Камил, е роден преди 50 г. и умира след 120 г. сл.н.е.⁷ Онова, което се повтаря у всички, е най-вероятно ядро. Поражението в открита битка, превземането на града без Капитолия, споразумението с галите и тяхното изтегляне са в този слой.

Втората стъпка е да се попита откъде самите древни автори знаят. Ливий отговаря честно в началото на следващата си



Брен слага меча си върху везните пред военния трибун Сулпиций: сцената, както я разказва Ливий, в по-късна френска илюстрация. Снимка: Paul Lehugueur (1854–1916), Public domain.

книга. Писмените сведения за онези времена били „малко и оскъдни“, а и това, което е имало в записките на понтифиците и в архивите, „почти изцяло загинало при пожара на града“⁸. Подробностите в неговия разказ значи не идват от документи на епохата. Ливий и сам го показва: за някои сцени пише „казват“ или „както се твърди“¹.

Третата стъпка е да се търсят противоречия. Още началото на историята се разказва различно. У Ливий римляните отказват да предадат братята Фабии и ги избират за трибуни¹. У Диодор сенатът първо предлага пари на галите, после гласува да предаде виновника, а бащата на пратеника обжалва пред народното събрание и решението е отменено⁹.

Най-голямото противоречие е около златото. У Ливий Камил спира претеглянето и галите не получават нищо¹. Диодор описва откупа от 1000 фунта злато, но без меча и без Камил при везните⁹. При него Марк Фурий разбива галите

по-късно, когато те обсаждат друг град, и си връща златото. Географът Страбон пише, че жителите на етруския град Цере нападат галите на връщане и им отнемат онова, което римляните доброволно са им дали¹⁰. Плутарх пък съобщава, че философът Аристотел, по думите му добре осведомен за превземането, нарича спасителя на Рим Луций, докато Камил се казва Марк¹¹. Полибий изобщо не споменава спасител. Затова много съвременни историци смятат сцената с Камил при везните за късна добавка¹². У Ливий войниците след победата наричат Камил „Ромул“, „баща на отечеството“ и „втори основател на града“. Колкото по-голяма е ролята на героя в един разказ, толкова по-внимателно трябва да се търси кой и кога я е добавил.

Четвъртата стъпка е датата. Традиционната година е 390 г. пр.н.е.¹² Тя идва от римската хронология на Варон, построена върху разказа на Ливий. Полибий свързва превземането с гръцки събития. Според него то става в 19-ата година след битката при Егоспотами и в 16-ата година преди битката при Левктра⁴. Това е годината на мира на Анталкид между Спарта и персийския цар и на обсадата на Регион от Дионисий Стари. Диодор започва разказа си със същата обсада на Регион⁹. Тези гръцки опорни точки водят до 387 г. пр.н.е., която днешните историци приемат за най-вероятна. Плутарх сам предупреждава, че хронологията е несигурна, „ако може да се вярва“, че изобщо е запазена точна¹¹.

Сверяват се и дребните подробности. Полибий казва, че галите заемат Рим 3 дни след битката³. Плутарх също говори за третия ден¹¹. Диодор пише, че първия ден галите режат главите на убитите, после 2 дни стоят пред празните стени и чак на четвъртия разбиват портите⁹. Ливий ги довежда до града малко преди залез и ги пуска вътре на следващата сутрин¹. Диодор е и единственият древен автор, който поставя битката на десния бряг на Тибър. Разминавания от този вид не опровергават събитието. Те показват, че авторите са ползвали различни по-стари разкази.

Петата стъпка е да се търсят следи извън римската традиция. Плутарх цитира Хераклид Понтийски, живял малко след

събитието¹¹. Хераклид пише за войска на „хиперборейци“, която дошла отдалеч и превзела гръцки град на име Рим. Самият Плутарх нарича Хераклид „толкова баснословен и измислящ“ автор, че не се учудва на хиперборейците му. Разказът е изкривен, но показва, че вестта за превземането е стигнала до Гърция скоро след него, отделно от римската традиция.

Последната стъпка е земята. Историкът Тим Корнел не намира археологически следи от опустошение по това време¹². Слоеви с изгоряло, приписвани някога на галите, впоследствие са датирани в края на царската епоха, повече от век по-рано. Друга следа обаче е налице. Няколко години след нападението Рим започва нова градска стена, дълга около 11 км, от по-здрав жълт туф, добиван на територията на завладения Вейи.

Какво остава прегане

Особено внимание заслужават разказите, които обясняват нещо, видимо по-късно. Диодор пише, че след разрушението всеки римлянин строи къщата си където иска, с керемиди, платени от държавата, и затова улиците на Рим останали тесни и криви⁹. Пак той предава, че римските матрони получили право да се возят из града в колесници, защото дали златните си накити за откуп. Такива истории дават на читателя обяснение за нещо, което той вижда около себе си. Точно затова се проверяват най-трудно.

Гъските са в три разказа: у Ливий, у Плутарх и у Диодор, при когото са посветени на Хера^{1, 9, 11}. И тримата пишат векове по-късно. Проверка няма как да се направи.

Сцената с меч и „Горко на победените!“ е у Ливий и у Плутарх, който изрично приписва жеста на Брен^{1, 11}. Полибий говори само за договор, а Диодор за откуп без меч^{3, 9}.

Числата също не издържат. Диодор дава на сеноните първо около 30 000 души, а за похода към Рим вече над 70 000⁹. Най-добрите римски войници при Алия у него са 24 000. Съвременните оценки са много по-ниски, а една от тях допуска по около 5000 души от всяка страна¹².

Дори денят на битката е спорен. Римският календар отбелязва 18 юли като зловещ ден заради Алия¹². Плутарх пише, че битката е била малко след лятното слънцестоене, при почти пълна луна, в същия ден, в който по-рано 300 мъже от рода Фабии загинали в бой с етруските¹¹. Това поражение, при Кремера, се датира в 477 г. пр.н.е., а традицията за зловещия ден е засвидетелствана едва от I в. пр.н.е. Според едно обяснение ранните римски историци са съчетали двете поражения в един ден.

По-добре засвидетелствано е друго: страхът от галите остава за векове. През 228, 216 и 114 г. пр.н.е., при опасност от нови галски нашествия, римляните заравят живи по двама гали и двама гърци, макар човешките жертвоприношения да не са римски обичай¹².

Ливий пише, че галите, измъчвани от глад и болести, изгаряли мъртвите си на купове в една низина между хълмовете. Мястото после е известно като Busta Gallica, „галските клади“¹.

КЛЮЧОВИ ЧИСЛА

ок. 387 г. пр.н.е.

Най-вероятната година на превземането¹²

390 г. пр.н.е.

Традиционната година по хронологията на Варон

3 дни

Толкова след битката галите заемат Рим според Полибий³

7 месеца

Колко дълго галите държат града според Полибий

1000 фунта

Злато, договорено като откуп у Ливий и Диодор¹

около 11 km

Дължина на новата градска стена след нападението

Източници

Цифрите в текста сочат към източниците на съответната глава. Номерацията започва отначало във всяка глава. Адресите са проверени при подготовката на книгата през октомври 2026 г.

1. Как се снима нещо, което не свети

- 1 Event Horizon Telescope Collaboration (2019) First M87 Event Horizon Telescope Results. IV. Imaging the Central Supermassive Black Hole. ApJL 875, L4 (arXiv:1906.11241). <https://arxiv.org/abs/1906.11241>
- 2 Event Horizon Telescope Collaboration (2019) First M87 Event Horizon Telescope Results. II. Array and Instrumentation. ApJL 875, L2 (arXiv:1906.11239). <https://arxiv.org/abs/1906.11239>
- 3 NSF: Astronomers capture first image of a black hole (10 April 2019). <https://www.nsf.gov/news/astronomers-capture-first-image-black-hole>
- 4 Event Horizon Telescope Collaboration (2019) First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole. ApJL 875, L1 (arXiv:1906.11238). <https://arxiv.org/abs/1906.11238>
- 5 Center for Astrophysics | Harvard & Smithsonian: Astronomers reveal first image of the black hole at the heart of our galaxy (12 May 2022). <https://www.cfa.harvard.edu/news/astronomers-reveal-first-image-black-hole-heart-our-galaxy>
- 6 Event Horizon Telescope Collaboration (2021) First M87 Event Horizon Telescope Results. VII. Polarization of the Ring (arXiv:2105.01169). <https://arxiv.org/abs/2105.01169>
- 7 Event Horizon Telescope Collaboration (2023) First M87 Event Horizon Telescope Results. IX. Detection of Near-horizon Circular Polarization. ApJL 957, L20 (arXiv:2311.10976). <https://arxiv.org/abs/2311.10976>

2. Килограм без парче метал

- 1 NIST: Kilogram - Introduction. <https://www.nist.gov/si-redefinition/kilogram-introduction>
- 2 NIST: Kilogram - The Past. <https://www.nist.gov/si-redefinition/kilogram-past>
- 3 NIST: SI Redefinition - overview. <https://www.nist.gov/si-redefinition>
- 4 NIST: Kilogram - The Present. <https://www.nist.gov/si-redefinition/kilogram/kilogram-present>
- 5 Stock M, Barat P, Davis RS, Picard A, Milton MJT (2015) Calibration campaign against the international prototype of the kilogram in anticipation of the redefinition of the kilogram part I: comparison of the

- international prototype with its official copies. Metrologia 52(2): 310, doi:10.1088/0026-1394/52/2/310. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0026-1394/52/2/310>
- 6 NIST: Kilogram - Disseminating the New Kilogram. <https://www.nist.gov/si-redefinition/kilogram/kilogram-disseminating-new-kilogram>
 - 7 NIST: Kilogram - Mass and Planck's Constant. <https://www.nist.gov/si-redefinition/kilogram-mass-and-plancks-constant>
 - 8 BIPM: Resolution 1 of the 26th CGPM (2018) - On the revision of the International System of Units (SI). <https://www.bipm.org/en/committees/cg/cgpm/26-2018/resolution-1>
 - 9 Robinson I A, Schlamminger S (2016) The watt or Kibble balance: a technique for implementing the new SI definition of the unit of mass. Metrologia 53(5): A46, doi:10.1088/0026-1394/53/5/A46. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8752041/>
 - 10 NIST: Kilogram - The Kibble Balance. <https://www.nist.gov/si-redefinition/kilogram/kilogram-kibble-balance>
 - 11 NIST: Kilogram - Silicon Spheres and the International Avogadro Project. <https://www.nist.gov/si-redefinition/kilogram/kilogram-silicon-spheres-and-international-avogadro-project>
 - 12 NIST: Kilogram - The Future. <https://www.nist.gov/si-redefinition/kilogram/kilogram-future>
- 3. Защо часовникът спря да чака Земята**
- 1 NIST: Leap seconds. <https://www.nist.gov/pml/time-and-frequency-division/time-realization/leap-seconds>
 - 2 Cloudflare blog: How and why the leap second affected Cloudflare DNS (January 2017). <https://blog.cloudflare.com/how-and-why-the-leap-second-affected-cloudflare-dns/>
 - 3 Statement by the CCTF President (Noël Dimarcq), 28th CGPM, Versailles, 15 October 2026. <https://www.bipm.org/documents/d/guest/statement-cctf-president-cgpm-2026>
 - 4 Resolution 5 of the 28th CGPM (2026): On the technical actions needed to ensure the continuity of UTC. <https://www.bipm.org/en/cgpm-2026/resolution-5>
 - 5 NIST: Second - The Past. <https://www.nist.gov/si-redefinition/second/second-past>
 - 6 Resolution 4 of the 27th CGPM (2022): On the use and future development of UTC. <https://www.bipm.org/en/cgpm-2022/resolution-4>
 - 7 Agnew D C (2024) A global timekeeping problem postponed by global warming. Nature 628(8007): 333-336, doi:10.1038/s41586-024-07170-0. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38538793/>
 - 8 NIST: Second - Introduction. <https://www.nist.gov/si-redefinition/second-introduction>
 - 9 Resolution 4 of the 28th CGPM (2026): On the future definition of the second. <https://www.bipm.org/en/cgpm-2026/resolution-4>
 - 10 NIST: Second - The Present. <https://www.nist.gov/si-redefinition/second/second-present>
 - 11 NIST: Second - The Future. <https://www.nist.gov/si-redefinition/second/second-future>

4. Как се претегля произходът на водата

- 1 Rosetta fuels debate on origin of Earth's oceans (10 December 2014). https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Rosetta/Rosetta_fuels_debate_on_origin_of_Earth_s_oceans
- 2 Hartogh P. et al. (2011) Ocean-like water in the Jupiter-family comet 103P/Hartley 2. *Nature* 478(7368): 218–220, doi:10.1038/nature10519. <https://www.ebi.ac.uk/europepmc/webservices/rest/search?query=DOI:10.1038/nature10519&resultType=core&format=json>
- 3 Hallis L. J. et al. (2015) Evidence for primordial water in Earth's deep mantle. *Science* 350(6262): 795–797, doi:10.1126/science.aac4834. <https://www.ebi.ac.uk/europepmc/webservices/rest/search?query=DOI:10.1126/science.aac4834&resultType=core&format=json>
- 4 Altwegg K. et al. (2015) 67P/Churyumov-Gerasimenko, a Jupiter family comet with a high D/H ratio. *Science* 347(6220), doi:10.1126/science.1261952. <https://www.ebi.ac.uk/europepmc/webservices/rest/search?query=DOI:10.1126/science.1261952&resultType=core&format=json>
- 5 Piani L. et al. (2020) Earth's water may have been inherited from material similar to enstatite chondrite meteorites. *Science* 369(6507): 1110–1113, doi:10.1126/science.aba1948. <https://www.ebi.ac.uk/europepmc/webservices/rest/search?query=DOI:10.1126/science.aba1948&resultType=core&format=json>
- 6 Greenwood R. C., Franchi I. A., Findlay R. et al. (2022) Oxygen isotope evidence from Ryugu samples for early water delivery to Earth by CI chondrites. *Nature Astronomy*, doi:10.1038/s41550-022-01824-7. <https://api.crossref.org/works/10.1038/s41550-022-01824-7>
- 7 Wu J., Desch S. J., Schaefer L., Elkins-Tanton L. T., Pahlevan K., Buseck P. R. (2018) Origin of Earth's Water: Chondritic Inheritance Plus Nebular Ingassing and Storage of Hydrogen in the Core. *Journal of Geophysical Research: Planets* 123(10): 2691–2712, doi:10.1029/2018JE005698 (abstract record, Arizona State University). <https://asu.elsevierpure.com/en/publications/origin-of-earths-water-chondritic-inheritance-plus-nebular-ingassing>
- 8 Scientists theorize new origin story for Earth's water (press release, 7 November 2018). <https://news.agu.org/press-release/scientists-theorize-new-origin-story-for-earths-water>
- 9 Lis D. C. et al. (2019) Terrestrial deuterium-to-hydrogen ratio in water in hyperactive comets. *Astronomy & Astrophysics* 625, L5 (arXiv:1904.09175). <https://arxiv.org/abs/1904.09175>

5. Континентът, който потъна в учебниците

- 1 Bressan D. (2013) A Geologist's Dream: The Lost Continent of Lemuria. *Scientific American*, History of Geology blog, 10 May 2013. <https://www.scientificamerican.com/blog/history-of-geology/a-geologists-dream-the-lost-continent-of-lemuria/>
- 2 Lemuria (Wikipedia, revision 1375522208, 18 September 2026). <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lemuria&oldid=1375522208>

- 3 Continental drift (Wikipedia, revision 1376987312, 27 September 2026). https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Continental_drift&oldid=1376987312
- 4 Lemur (Wikipedia, revision 1380253826, 14 October 2026). <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lemur&oldid=1380253826>
- 5 Ali J. R., Huber M. (2010) Mammalian biodiversity on Madagascar controlled by ocean currents. *Nature* 463(7281): 653–656, doi:10.1038/nature08706. <https://www.ebi.ac.uk/europepmc/webservices/rest/search?query=DOI:10.1038/nature08706&resultType=core&format=json>
- 6 Mauritia (microcontinent) (Wikipedia, revision 1328190772, 18 December 2025). [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Mauritia_\(microcontinent\)&oldid=1328190772](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Mauritia_(microcontinent)&oldid=1328190772)
- 7 Ashwal L. D., Wiedenbeck M., Torsvik T. H. (2017) Archean zircons in Miocene oceanic hotspot rocks establish ancient continental crust beneath Mauritius. *Nature Communications* 8: 14086, doi:10.1038/ncomms14086. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5290313/>
- 8 Mu (mythical lost continent) (Wikipedia, revision 1371513363, 26 August 2026). [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=M_\(mythical_lost_continent\)&oldid=1371513363](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=M_(mythical_lost_continent)&oldid=1371513363)
- 9 Kumari Kadam (Wikipedia, revision 1352611284, 5 May 2026). https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Kumari_Kadam&oldid=1352611284

6. Как прилепът вижда с ушите си

- 1 Lazzaro Spallanzani (Wikipedia, revision 1378631363). https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lazzaro_Spallanzani&oldid=1378631363
- 2 Нощта на прилепите отбелязват „Зелени Балкани“ в Ловеч (11 октомври 2018). <https://www.bta.bg/bg/news/96383-Noshtta-na-prilepите-otbelyazvat-Zeleni-Balkani-v-Lovech>
- 3 Griffin D. R. (2001) Return to the Magic Well: Echolocation Behavior of Bats and Responses of Insect Prey. *BioScience* 51(7): 555–556. <https://academic.oup.com/bioscience/article/51/7/555/268231>
- 4 Donald Griffin (Wikipedia, revision 1371987269). https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Donald_Griffin&oldid=1371987269
- 5 Van Ruckeghem A. (1998) How do bats echolocate and how are they adapted to this activity? *Scientific American*, 21 December 1998. <https://www.scientificamerican.com/article/how-do-bats-echolocate-an/>
- 6 Jakobsen L., Brinkløv S., Surlykke A. (2013) Intensity and directionality of bat echolocation signals. *Frontiers in Physiology* 4: 89. <https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2013.00089/full>
- 7 Cornes R. G. Key to the echolocation calls of British bats, version 5 (revised 29 September 2019). <https://www.wildlifebcn.org/sites/default/files/2021-01/Key-to-echolocation-calls-v5.pdf>
- 8 Horseshoe bats use echolocation to separate background echoes from those of fluttering prey (press release, 23 June 2026; paper: Yovel et al., PNAS, doi:10.1073/pnas.2525520123). <https://uni-tuebingen.de/en/university/news-and-publications/press-release/horseshoe-bats-use-echolocation-to-separate-background-echoes-from-those-of-fluttering-prey/>

- 9 Animal echolocation (Wikipedia, revision 1379852632). https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Animal_echolocation&oldid=1379852632
- 10 Sonar (Nautical charts tutorial: tools). https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_nautical_charts/nautical_charts06_tools_6b.html

7. Защо зебрите са на райета

- 1 Caro T. et al. (2019) Benefits of zebra stripes: Behaviour of tabanid flies around zebras and horses. PLOS ONE 14(2): e0210831. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0210831>
- 2 Caro T., Izzo A., Reiner R. C., Walker H., Stankowich T. (2014) The function of zebra stripes. Nature Communications 5: 3535 (abstract and affiliations, Europe PMC record PMID 24691390). <https://europepmc.org/article/MED/24691390>
- 3 Larison B., Harrigan R. J., Thomassen H. A. et al. (2015) How the zebra got its stripes: a problem with too many solutions. Royal Society Open Science 2(1): 140452. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4448797/>
- 4 Kojima T., Oishi K., Matsubara Y. et al. (2019) Cows painted with zebra-like striping can avoid biting fly attack. PLOS ONE 14(10): e0223447. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0223447>
- 5 Tombak K. J., Gersick A. S., Reisinger L. V., Larison B., Rubenstein D. I. (2022) Zebras of all stripes repel biting flies at close range. Scientific Reports 12: 18617. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9633588/>

8. На колко години е китовата акула

- 1 Ong J. J. L., Meekan M. G., Hsu H. H., Fanning L. P., Campana S. E. (2020) Annual Bands in Vertebrae Validated by Bomb Radiocarbon Assays Provide Estimates of Age and Growth of Whale Sharks. Frontiers in Marine Science 7: 188. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2020.00188/full>
- 2 Raj H., Ehrlich Y., Regev L., Mintz E., Boaretto E. (2023) Sub-annual bomb radiocarbon records from trees in northern Israel. Scientific Reports 13. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10620229/>
- 3 Hamady L. L., Natanson L. J., Skomal G. B., Thorrold S. R. (2014) Vertebral bomb radiocarbon suggests extreme longevity in white sharks. PLOS ONE 9(1): e84006. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3885533/>
- 4 Garde E., Ditlevsen S., Olsen J., Heide-Jørgensen M. P. (2024) A radiocarbon bomb pulse model for estimating the age of North Atlantic cetaceans. Biology Letters 20. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11597397/>
- 5 IUCN (8 July 2016) Whale sharks, winghead sharks and Bornean orangutans slide towards extinction. <https://iucn.org/news/secretariat/201607/whale-sharks-winghead-sharks-and-bornean-orangutans-slide-towards-extinction>
- 6 Natural History Museum, London (October 2024) Whale sharks 15,000 times more likely to be hit by ships in warming oceans. <https://www.nhm.ac.uk/discover/news/2024/october/whale-sharks-15000-times-more-likely-hit-ships-warming-oceans.html>

9. Далакът на морските номади

- 1 Schagatay E., Lodin-Sundström A., Abrahamsson E. (2011) Underwater working times in two groups of traditional apnea divers in Asia: the Ama

- and the Bajau. *Diving and Hyperbaric Medicine* 41(1) (abstract, PMID 21560982). <https://europepmc.org/article/MED/21560982>
- 2 Nagatsu K. (2001) Pirates, Sea Nomads or Protectors of Islam?: A Note on 'Bajau' Identifications in the Malaysian Context. *Asia-Africa Area Studies* 1: 212-230. <https://hdl.handle.net/2433/79972>
- 3 Pigafetta A. Primo viaggio intorno al mondo, English translation in Blair E. H., Robertson J. A. (eds.) *The Philippine Islands, 1493-1898*, vol. 33 (1906), public domain. <https://www.gutenberg.org/ebooks/42884>
- 4 Tourism Malaysia (14 March 2003) Regatta celebration during water festival month. <https://www.tourism.gov.my/media/view/regatta-celebration-during-water-festival-month>
- 5 Gibbens S. (19 April 2018) 'Sea Nomads' Are First Known Humans Genetically Adapted to Diving. *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.com/science/article/bajau-sea-nomads-free-diving-spleen-science>
- 6 Paganini M., Moon R. E., Camporesi E. M., Bosco G. (2025) Advances in breath-hold diving research: a state-of-the-art review. *European Journal of Applied Physiology* 126(3): 1223-1243 (epub 19 Dec 2025, issue 2026), CC BY 4.0. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC13013280/>
- 7 Lodin-Sundström A., Schagatay E. (2010) Spleen contraction during 20 min normobaric hypoxia and 2 min apnea in humans. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 81(6) (abstract, PMID 20540444). <https://europepmc.org/article/MED/20540444>
- 8 Richardson M. X., Engan H. K., Lodin-Sundström A., Schagatay E. (2012) Effect of hypercapnia on spleen-related haemoglobin increase during apnea. *Diving and Hyperbaric Medicine* 42(1) (abstract, PMID 22437969). <https://europepmc.org/article/MED/22437969>
- 9 Ilardo M. A., Moltke I., Korneliussen T. S. et al. (2018) Physiological and Genetic Adaptations to Diving in Sea Nomads. *Cell* 173(3): 569-580.e15, doi:10.1016/j.cell.2018.03.054 (abstract, PMID 29677510). <https://europepmc.org/article/MED/29677510>
- 10 Holmström P., Mulder E., Starfelt V., Lodin-Sundström A., Schagatay E. (2020) Spleen Size and Function in Sherpa Living High, Sherpa Living Low and Nepalese Lowlanders. *Frontiers in Physiology* 11: 647. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7339931/>
- 11 Ilardo M., Dos Santos M. C. F., Grote Beverborg N. et al. (2022; epub 27 Jan 2022, vol. 12 dated 2021) An Erythropoietin-Independent Mechanism of Erythrocytic Precursor Proliferation Underlies Hypoxia Tolerance in Sea Nomads. *Frontiers in Physiology* 12: 760851. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8846933/>
- 12 Engan H., Richardson M., Lodin-Sundström A., van Beekvelt M., Schagatay E. (2013) Effects of two weeks of daily apnea training on diving response, spleen contraction, and erythropoiesis in novel subjects. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* (abstract, PMID 23802288). <https://europepmc.org/article/MED/23802288>
- 13 Gislén A., Dacke M., Kröger R. H., Abrahamsson M., Nilsson D. E., Warrant E. J. (2003) Superior underwater vision in a human population of sea

gypsies. *Current Biology* 13(10): 833-836 (abstract, PMID 12747831). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12747831/>

- 14 Gislén A., Warrant E. J., Dacke M., Kröger R. H. (2006) Visual training improves underwater vision in children. *Vision Research* 46(20): 3443-3450 (abstract, PMID 16806388). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16806388/>

10. Какво прави сапунът с обвития вирус

- 1 Preparation and Properties of a Soap (laboratory handout, adapted from Bettelheim et al.), Chemistry for the Life Sciences II. <https://blogs.stockton.edu/chemlifesci2/files/2016/01/PreparationSoap.pdf>
- 2 Saud Z., Tyrrell V. J., Zaragkoulias A. et al. (2022) The SARS-CoV2 envelope differs from host cells, exposes procoagulant lipids, and is disrupted in vivo by oral rinses. *Journal of Lipid Research* 63(6): 100208. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9010312/>
- 3 USDA FoodData Central, SR Legacy: Oil, coconut (FDC ID 171412), fatty acid profile per 100 g. <https://fdc.nal.usda.gov/food-details/171412/nutrients>
- 4 USDA FoodData Central, SR Legacy: Fat, beef tallow (FDC ID 171400), fatty acid profile per 100 g. <https://fdc.nal.usda.gov/food-details/171400/nutrients>
- 5 Simon M., Veit M., Osterrieder K., Gradzielski M. (2021) Surfactants – Compounds for inactivation of SARS-CoV-2 and other enveloped viruses. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 55: 101479 (incl. its reference list: Helenius & Simons 1975, *BBA* 415:29–79; Becker, Helenius & Simons 1975, *Biochemistry* 14:1835–1841; Stock & Francis 1940, *J Exp Med* 71:661–682). <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8196227/>
- 6 Juhász Á., Torma B., Várkonyi E. F. et al. (2026) Physicochemical Aspects of Mixed Micelle Formation Between Amphiphilic Drugs and Surfactants. *International Journal of Molecular Sciences* 27(12): 5400 (CC BY 4.0). <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC13300237/>
- 7 CDC: Clean Hands – About handwashing. <https://www.cdc.gov/clean-hands/about/index.html>
- 8 WHO: How to Handwash? (poster, May 2009). <https://www.who.int/docs/default-source/patient-safety/how-to-handwash-poster.pdf>
- 9 CDC: Handwashing Facts (Clean Hands, data and research). <https://www.cdc.gov/clean-hands/data-research/facts-stats/index.html>
- 10 Stanford Chemistry: James William McBain (department history page). <https://chemistry.stanford.edu/people/james-william-mcbain>
- 11 Hope J. (1940) The properties of aqueous solutions of the phenanthrene sulphonic acids: a contribution to the study of colloidal electrolytes. PhD thesis, University of Edinburgh (Introduction). <https://era.ed.ac.uk/bitstreams/27e33725-add4-4620-b36e-57d48b9059f9/download>
- 12 Ijaz M. K., Nims R. W., Zhou S. S. et al. (2021) Microbicidal actives with virucidal efficacy against SARS-CoV-2 and other beta- and alpha-coronaviruses and implications for future emerging coronaviruses and other enveloped viruses. *Scientific Reports* 11: 5626. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7952405/>

11. Империя, която смяташе с възли

- 1 Wikimedia Commons: Fragmentary quipu (khipu), a main cord with top, subsidiary & tertiary cords, Inca, Peru, Late Horizon, 1476–1534 AD – Dallas Museum of Art (file description page). [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fragmentary_quipu_\(khipu\),_a_main_cord_with_top,_subsidiary,_%26_tertiary_cords,_Inca,_Peru,_Late_Horizon,_1476-1534_AD,_cotton,_plant_%26_camelid_fiber,_indigo_%26_red_dye_-_Dallas_Museum_of_Art_-_DSC04704.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fragmentary_quipu_(khipu),_a_main_cord_with_top,_subsidiary,_%26_tertiary_cords,_Inca,_Peru,_Late_Horizon,_1476-1534_AD,_cotton,_plant_%26_camelid_fiber,_indigo_%26_red_dye_-_Dallas_Museum_of_Art_-_DSC04704.jpg)
- 2 What It's Like to Travel the Inca Road Today. Smithsonian Magazine (2015). <https://www.smithsonianmag.com/innovation/what-its-like-travel-inca-road-today-180955740/>
- 3 Medrano M. (20 October 2021) Knot Just Numbers: Mathematics and More in Andean Khipu Strings. Gresham College lecture transcript (with references: Locke 1912, 1923; Ascher & Ascher 1981; Brezine & Villacorta 2020). https://www.gresham.ac.uk/sites/default/files/transcript/2021-10-20-1600_MEDRANO_BSHM-T.pdf
- 4 The Great Inka Road: Engineering an Empire - Activity Guide (bilingual family guide to the exhibition). <https://americanindian.si.edu/caminoinka/pdf/Inka-ActivityGuide-Web.pdf>
- 5 Inca Administration and Khipus (online exhibition story). <https://artsandculture.google.com/story/lgXB50G3LBykzg>
- 6 Urton G., Brezine C. J. (2005) Khipu accounting in ancient Peru. *Science* 309(5737): 1065-1067 (abstract, PMID 16099983). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16099983/>
- 7 Hyland S. (2017) Writing with twisted cords: the inscriptive capacity of Andean khipus. *Current Anthropology* 58(3): 412-419 (University of St Andrews research repository: record and accepted manuscript). <https://research-repository.st-andrews.ac.uk/handle/10023/12326>
- 8 UNESCO World Heritage Centre: Qhapaq Ñan, Andean Road System (1459), inscribed 2014. <https://whc.unesco.org/en/list/1459/>
- 9 The Open Khipu Repository, release v2.1.0 (22 December 2025). <https://zenodo.org/records/18025748>

12. Два календара и граг в езерото

- 1 INAH, Dirección de Medios de Comunicación: Boletín No. 84 (16 February 2024), 46 years since the discovery of Coyolxauhqui; also Boletín No. 84 (20 February 2023). <https://inah.gob.mx/images/boletines/2024/84/Boletin%2084.pdf>
- 2 Flores R. (INAH), Domínguez M. (2022) Del mito y la piedra: descripción semiótica del monolito de Coyolxauhqui. *Actes Sémiotiques* 126. <https://unilim.fr/actes-semiotiques/7379&file=1>
- 3 Sahagún B. de et al. (1577) *Historia general de las cosas de Nueva España* (Florentine Codex), Biblioteca Medicea Laurenziana; Digital Florentine Codex, ed. Richter, Houtrouw, Terraciano et al. (Getty Research Institute, 2023): home page; Book 2 'To the sincere reader'; Book 4 fols. 1-3; Book 7 fols. 14-22 (English translations). <https://florentinecodex.getty.edu/en/book/7/folio/17r>

- 4 UNESCO World Heritage Centre: Historic Centre of Mexico City and Xochimilco (412). <https://whc.unesco.org/en/list/412/>
- 5 López Luján L. (с. 2017) El Proyecto Templo Mayor (1991-2017): recuento de cinco lustros de actividades (author's copy). https://www.mesoweb.com/es/articulos/sub/PTM_1991-2017.pdf
- 6 Guibrunet L., Mondragón Segura R., Flores Abreu I. N., Heindorf C., Rubio M. (2021) Modos de producción y comercialización en las chinampas de Xochimilco. Reporte técnico, IIES-UNAM. https://iies.unam.mx/proyectos/SistemasSocioecologicos/wp-content/uploads/2024/06/ModosProduccionComercializacion_ChinampasXochimilco.pdf
- 7 Ministère de la Culture: L'examen du codex Borbonicus (Sciences du patrimoine, étude des matériaux). <https://www.culture.gouv.fr/fr/thematiques/sciences-du-patrimoine/thematiques-de-recherche/etude-des-materiaux/L-examen-du-codex-Borbonicus>
- 8 García Aguirre D. (2012) Museo del Templo Mayor: 25 años exhibiendo el pasado. Gaceta de Museos (INAH). <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/gacetamuseos/article/download/1066/1020/1834>
- 9 Piedra del Sol (Sun Stone), object page. <https://artsandculture.google.com/asset/piedra-del-sol-unknown/9QF3u2yNtD8ufQ>

13. Как Селкърк оцеля сам на острова

- 1 Woodes Rogers, A Cruising Voyage Round the World (1712), ed. G. E. Manwaring (Seafarers' Library), Project Gutenberg eBook #55538. <https://www.gutenberg.org/ebooks/55538>
- 2 Dictionary of National Biography, 1885–1900, vol. 51: Selkirk, Alexander (G. A. Aitken). https://en.wikisource.org/wiki/Dictionary_of_National_Biography_1885-1900/Selkirk_Alexander
- 3 Wikipedia (en): Alexander Selkirk, revision 1379184021. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Alexander_Selkirk&oldid=1379184021
- 4 Wikipedia (en): Robinson Crusoe Island, revision 1371715327. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Robinson_Crusoe_Island&oldid=1371715327
- 5 J. Ross Browne, Crusoe's Island: A Ramble in the Footsteps of Alexander Selkirk (1864), ch. XXVI, quoting Richard Steele's Englishman essay; Project Gutenberg eBook #39918. <https://www.gutenberg.org/ebooks/39918>
- 6 John Howell, The Life and Adventures of Alexander Selkirk, the Real Robinson Crusoe (M. Day & Co. edition, 1841); Project Gutenberg eBook #70639. <https://www.gutenberg.org/ebooks/70639>
- 7 Takahashi D., Caldwell D. H., Cáceres I., Calderón M., Morrison-Low A. D., Saavedra M. A., Tate J. (2007) Excavation at Aguas Buenas, Robinson Crusoe Island, Chile, of a gunpowder magazine and the supposed campsite of Alexander Selkirk, together with an account of early navigational dividers. *Post-Medieval Archaeology* 41(2): 270–304, doi:10.1179/174581307x236157 (abstract). <https://doi.org/10.1179/174581307x236157>
- 8 Wikipedia (en): Robinson Crusoe, revision 1371490207. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Robinson_Crusoe&oldid=1371490207

14. Чий е гробът в Голямата Косматка

- 1 Уикипедия (bg): Голяма Косматка, ревизия 12206400 (2024-04-18); цитира Д. Димитрова, „Гробницата на цар Севт III в могила Голяма Косматка“ (Арос, 2015), Kitov 2005 (*Archaeologia Bulgarica* 9/2), Nankov 2011 (*Archaeologia Bulgarica* 15/3), Tzochев 2016 (*Hesperia* 85/4), Китов, Първин, Шопов 2008 (АОР 2007). https://bg.wikipedia.org/w/index.php?title=Голяма_Косматка&oldid=12206400
- 2 Wikimedia Commons: National Archaeological Museum Sofia – Bronze Head from the Golyama Kosmatka Tumulus near Shipka (file description). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:National_Archaeological_Museum_Sofia_-_Bronze_Head_from_the_Golyama_Kosmatka_Tumulus_near_Shipka.jpg
- 3 Министерство на туризма, Национален туристически регистър: Golyamata Kosmatka Mound. <https://tourism.government.bg/en/tourist-destinations/2800/5752>
- 4 Уикипедия (bg): Георги Китов, ревизия 12992324 (2026-08-14). https://bg.wikipedia.org/w/index.php?title=Георги_Китов&oldid=12992324
- 5 Исторически музей „Искра“ – Казанлък: Могила Голяма Косматка – Гробница Севт III. http://www.muzei-kazanlak.org/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=88&lang=bg
- 6 Tzochев Ch. (2016) Accounts from the Treasury of Seuthes III: Inscribed Silver Plate Found in the Tomb of the Golyama Kosmatka Mound. *Hesperia* 85(4): 779–794, doi:10.2972/hesperia.85.4.0779 (abstract). <https://api.openalex.org/works/doi:10.2972/hesperia.85.4.0779>
- 7 Wikipedia (en): Seuthopolis, revision 1362455353 (2026-07-04). <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Seuthopolis&oldid=1362455353>
- 8 Wikipedia (en): Seuthes III, revision 1371634854 (2026-08-27). https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Seuthes_III&oldid=1371634854
- 9 Diodorus Siculus, Library of History XVIII.14 (Loeb, transl. R. M. Geer, 1947), LacusCurtius. https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Diodorus_Siculus/18A*.html
- 10 e-vestnik, „Георги Китов – българският Индиана Джоунс“, 15.09.2008. <https://e-vestnik.bg/4629/>
- 11 Министерство на туризма, Национален туристически регистър: Исторически музей „Искра“, Казанлък. <https://tourism.government.bg/bg/tourist-destinations/2800/5731>
- 12 БТА, Bronze Seuthes III Portrait, Panagyurishte Gold Treasure Most Frequently Invited for Exhibitions Abroad, 31.12.2015. <https://www.bta.bg/en/news/160066-Bronze-Seuthes-III-Portrait-Panagyurishte-Gold-Treasure-Most-Frequently-Invited>

15. Галите в Рим и гъските на Капитолия

- 1 Livy, History of Rome, Book V, chs. 35–49, tr. Canon Roberts (Dutton, 1912), Perseus Digital Library. <https://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.02.0026:book=5:chapter=47>
- 2 Wikipedia (en): Polybius, revision 1368375539 (lead). <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Polybius&oldid=1368375539>

- 3 Polybius, *Histories*, Book II, tr. W. R. Paton (Loeb, 1922), LacusCurtius.
https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Polybius/2*.html
- 4 Polybius, *Histories*, Book I, tr. W. R. Paton (Loeb, 1922), LacusCurtius.
https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Polybius/1*.html
- 5 Wikipedia (en): Livy, revision 1379597690 (lead). <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Livy&oldid=1379597690>
- 6 Wikipedia (en): Diodorus Siculus, revision 1380363816 (lead). https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Diodorus_Siculus&oldid=1380363816
- 7 Wikipedia (en): Plutarch, revision 1379460291 (lead). <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Plutarch&oldid=1379460291>
- 8 Livy, *History of Rome*, Book VI, ch. 1, tr. Canon Roberts (Dutton, 1912), Perseus Digital Library. <https://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.02.0026:book=6:chapter=1>
- 9 Diodorus Siculus, *Library of History* XIV.113–117, tr. C. H. Oldfather (Loeb vol. VI, 1954), LacusCurtius. https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Diodorus_Siculus/14G*.html
- 10 Strabo, *Geography* V.2.3, tr. H. L. Jones (Loeb), LacusCurtius. https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Strabo/5B*.html
- 11 Plutarch, *Life of Camillus*, tr. B. Perrin (Loeb, 1914), LacusCurtius. https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Plutarch/Lives/Camillus*.html
- 12 Wikipedia (en): Battle of the Allia, revision 1377862448 (2026-10-01). https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Battle_of_the_Allia&oldid=1377862448

Снимки

Всички снимки са от Wikimedia Commons. Авторът и лицензът са взети от страницата на файла; лицензите CC BY и CC BY-SA позволяват повторно ползване при посочване на автора и лиценза.

- 1 Event Horizon Telescope. „Black hole - Messier 87.jpg“. CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_hole_-_Messier_87.jpg (c. 9)
- 2 BIPM. „International prototype of the kilogram aka Le Grand K.jpg“. CC BY-SA 3.0 igo (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/deed.en>). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:International_prototype_of_the_kilogram_aka_Le_Grand_K.jpg (c. 19)
- 3 National Institute of Standards and Technology - Physics Laboratory: Time and Frequency Division. „NIST-F2 cesium fountain atomic clock.jpg“. Public domain. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NIST-F2_cesium_fountain_atomic_clock.jpg (c. 26)
- 4 NASA/Apollo 17 crew; taken by either Harrison Schmitt or Ron Evans. „The Earth seen from Apollo 17.jpg“. Public domain. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Earth_seen_from_Apollo_17.jpg (c. 34)
- 5 Popular Graphic Arts collection, Library of Congress (lithograph, 1876). „Hypothetical sketch of the monophylitic origin and of the diffusion of the 12 varieties of men from Lemuria over the earth LCCN2014649358 (cropped).jpg“. Public domain. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hypothetical_sketch_of_the_monophylitic_origin_and_of_the_diffusion_of_the_12_varieties_of_men_from_Lemuria_over_the_earth_LCCN2014649358_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hypothetical_sketch_of_the_monophylitic_origin_and_of_the_diffusion_of_the_12_varieties_of_men_from_Lemuria_over_the_earth_LCCN2014649358_(cropped).jpg) (c. 42)
- 6 Mikes Makro. „Fliegende Zwergfledermaus Naturschutzgebiet Frankfurter Grüngürtel.jpg“. CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fliegende_Zwergfledermaus_Naturschutzgebiet_Frankfurter_Gr%C3%BCng%C3%BCrtel.jpg (c. 51)
- 7 Yathin S Krishnappa. „Equus zebra hartmannae - Etosha 2015.jpg“. CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Equus_zebra_hartmannae_-_Etosha_2015.jpg (c. 60)
- 8 Sylke Rohrlach from Sydney. „Whale shark (Rhincodon typus) (15603514463).jpg“. CC BY-SA 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0>). [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Whale_shark_\(Rhincodon_typus\)_\(15603514463\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Whale_shark_(Rhincodon_typus)_(15603514463).jpg) (c. 65)

- 9 CЕphoto, Uwe Aranas. „Semporna Sabah Regatta-Lepa-2015-12.jpg“. CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Semporna_Sabah_Regatta-Lepa-2015-12.jpg (c. 72)
- 10 Beat Ruest. „Washing hands with soap (1).jpg“. CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>). [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Washing_hands_with_soap_\(1\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Washing_hands_with_soap_(1).jpg) (c. 80)
- 11 Daderot. „Fragmentary quipu (khipu), a main cord with top, subsidiary, & tertiary cords, Inca, Peru, Late Horizon, 1476-1534 AD, cotton, plant & camelid fiber, indigo & red dye - Dallas Museum of Art - DSC04704.jpg“. Public domain. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fragmentary_quipu_\(khipu\),_a_main_cord_with_top,_subsidiary,_%26_tertiary_cords,_Inca,_Peru,_Late_Horizon,_1476-1534_AD,_cotton,_plant_%26_camelid_fiber,_indigo_%26_red_dye_-_Dallas_Museum_of_Art_-_DSC04704.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fragmentary_quipu_(khipu),_a_main_cord_with_top,_subsidiary,_%26_tertiary_cords,_Inca,_Peru,_Late_Horizon,_1476-1534_AD,_cotton,_plant_%26_camelid_fiber,_indigo_%26_red_dye_-_Dallas_Museum_of_Art_-_DSC04704.jpg) (c. 87)
- 12 Juan Carlos Fonseca Mata. „Ruinas del Templo Mayor - Centro Histórico de Ciudad de México.jpg“. CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ruinas_del_Templo_Mayor_-_Centro_Hist%C3%B3rico_de_Ciudad_de_M%C3%A9xico.jpg (c. 96)
- 13 SylviaStanley. „Alexander Selkirk Statue.jpg“. CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alexander_Selkirk_Statue.jpg (c. 102)
- 14 Ann Wuyts. „National Archaeological Museum Sofia - Bronze Head from the Golyama Kosmatka Tumulus near Shipka.jpg“. CC BY 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0>). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:National_Archaeological_Museum_Sofia_-_Bronze_Head_from_the_Golyama_Kosmatka_Tumulus_near_Shipka.jpg (c. 108)
- 15 Paul Lehugeur (1854-1916). „Brennus and Sulpicius (illustration).jpg“. Public domain. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brennus_and_Sulpicius_\(illustration\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brennus_and_Sulpicius_(illustration).jpg) (c. 115)

Колофон

„Как работи светът. Най-добрите обяснения на годината“
Първо издание, ноември 2026 г. Безплатно електронно издание.

Редакция на Knowledge.bg · kontakt@knowledge.bg

Главите са написани за книгата. Текстът е подготвен с помощта на езиков модел и всяко число е сверено с източниците, посочени в края на книгата.

Снимки: Wikimedia Commons, със свободни лицензи; автор, лиценз и адрес на всяка снимка са в раздела „Снимки“.

Набрано с шрифтовете Literata и Sofia Sans (SIL Open Font License).