

ны въ прошедшія времена, должны были дать солнцу количество тепла, вполнѣ достаточное для того, чтобы можно было объяснить все то, что мы знаемъ о прошедшемъ излученіи солнца и настоящей его температурѣ.

Въ данную минуту не представляется необходимости входить подробно въ детали, касающіяся метеорной теоріи, которая, кажется, впервые была предложена въ опредѣленной формѣ Майеромъ и потомъ, независимо, Ватерстономъ,—или въ детали, касающіяся видоизмѣненной гипотезы метеорныхъ вихрей, которая, какъ показалъ авторъ настоящей статьи, необходима для того, чтобы длина года, какъ она известна за послѣдніе 2,000 лѣтъ, могла не измѣниться замѣтно вслѣдствіе тѣхъ приростовъ, которые масса солнца должна была получать втечение этого периода, еслибы тепло, излучаемое отъ него, всегда пополнялось тепломъ, порождаемымъ метеорнымъ потокомъ.

Вслѣдствіе причинъ, упомянутыхъ въ первой части настоящей статьи, мы можемъ теперь признать, что всѣ теоріи полнаго или почти полнаго современного метеорного пополненія тепла должны быть откинуты; но мы тѣмъ не менѣе можемъ придерживаться того мнѣнія, что

«Не только доказано, что... метеорное дѣйствіе... существуетъ, какъ причина солнечного тепла, но это—единственная изъ всѣхъ постижимыхъ причинъ, въ существованіи которыхъ мы убеждаемся изъ независимыхъ доказательствъ¹⁾.

Тотъ видъ метеорной теоріи, который кажется теперь наиболѣе вѣроятнымъ и который былъ впервые разобранъ на основаніи истинныхъ принциповъ термодинамики Гельмгольцемъ²⁾, состоитъ въ предположеніи, что солнце и его тепло произошли отъ соединенія менѣе значительныхъ тѣлъ, упавшихъ другъ на друга вслѣдствіе взаимнаго тяготѣнія и породившихъ, какъ они и должны были сдѣлать это согласно съ великимъ зако-

¹⁾ „Механическія energіи солнечной системы“. Смотри примѣчаніе 1 на стр. 245. (Прим. автора).

²⁾ Популярная лекція, прочтеная 1-го февраля 1854 г. въ Кенигсбергѣ по случаю чествованія памяти Канта³⁾. (Прим. автора).

³⁾ Munch. gel. Anz., 41, 2, стр. 59—61. (Прим. перев.).

ЧАСТЬ III.

О происхожденіи и общей суммѣ солнечного тепла.

Если принимать, по причинамъ, выше указаннымъ, что солнце есть накаленное добѣла жидкое тѣло, теряющее тепль тепло, то естественно приходитъ въ голову вопросъ «Откуда произошло это тепло?» Достовѣрно, что оно не могло существовать въ солнцѣ втечение бесконечно-большаго прошедшаго времени, таѣтъ какъ оно все время, пока солнце существовало такимъ образомъ, должно было испытывать разсѣяніе, а конечность солнца исключаетъ возможность предположенія существованія бесконечно-большаго первоначального запаса тепла въ этомъ тѣлѣ.

Поэтому, или солнце верховнымъ повелѣніемъ должно было быть создано, какъ активный источникъ тепла, въ нѣкоторое время не неизмѣримой древности; или же тепло, которое оно уже излучило изъ себя и которымъ оно до сихъ поръ обладаетъ, должно было быть приобрѣто вслѣдствіе нѣкоторыхъ естественныхъ процессовъ, подчиняющихся неизмѣнно установленнымъ законамъ. Не объявляя первого предположенія такимъ, которому нельзѧ было бы, по существу его, вѣрить, мы можемъ спокойно сказать, что оно въ высшей степени невѣроятно, если мы сможемъ показать, что другое предположеніе не противорѣчить извѣстнымъ физическимъ законамъ. А мы дѣйствительно можемъ показать это, обративъ только вниманіе на нѣкоторыя явленія, которыя продолжаются на нашихъ глазахъ въ настоящее время и которыя, если они были достаточно изобиль-

номъ, доказаннымъ Джулемъ, точный тепловой эквивалентъ движения, потеряного при соудареніи¹⁾.

Въ томъ, что какой нибудь видъ метеорной теоріи представляеть собой, навѣрное, истинное и полное объясненіе солнечного тепла, врядъ ли можно сомнѣваться, если принять во вниманіе слѣдующія причины:

(1). Нельзя допустить никакого другого естественного объясненія, за исключениемъ объясненія химическимъ дѣйствіемъ.

(2). Химическая теорія вполнѣ неудовлетворительна, потому что, если бы наиболѣе энергичное химическое дѣйствіе, какое мы знаемъ, произошло между веществами, размѣры которыхъ доходили бы до массы цѣлаго солнца, то оно породило бы количество тепла, достаточное для излученія его втеченіе только около 3,000 лѣтъ²⁾.

(3). Не представляетъ никакого затрудненія объяснить метеорной теоріей получение тепла, достаточного на 20,000,000 лѣтъ.

Чтобы объяснить вполнѣ тѣ принципы, на которыхъ основана эта послѣдняя оцѣнка, пришлось бы слишкомъ растянуть настоящую статью и потребовалось бы ввести нѣкоторыя математическія вычислениія. Достаточно сказать, что тѣла, каждое изъ которыхъ много меньше солнца, падая другъ на друга изъ состоянія относительного покоя со взаимныхъ разстояній, которыя всѣ велики по сравненію съ ихъ діаметрами, и образуя шаръ однородной плотности, равный по массѣ и по діаметру солнцу, породили бы такое количество тепла, что, если точно вычислить его на основаніи принциповъ Джуля и опытныхъ данныхъ, то оно оказывается какъ разъ въ 20,000,000 разъ больше годового размѣра солнечного излученія по опредѣленію Пулье. Плотность солнца должна, по всѣмъ вѣроятнѣямъ, очень сильно увеличиваться по направленію къ его центру и потому нужно предполагать, что значительно большее количество тепла, чѣмъ это, было бы порождено, если бы вся его масса образовалась

¹⁾ См. слѣдующую статью „О солнечномъ теплѣ“, гдѣ этотъ вопросъ разбирается подробнѣе.
(Прим. перев.).

²⁾ „Механическая энергія солнечной системы“. Смотри примѣчаніе 1 на стр. 245.
(Прим. автора).

изъ соединенія сравнительно небольшихъ тѣлъ. Съ другой стороны, мы не знаемъ, сколько тепла могло быть разсѣяно на сопротивленіе и болѣе мелкія столкновенія до окончательнаго соединенія; но есть причины предполагать, что даже самое быстрое соединеніе, какое мы можемъ представить себѣ имѣвшимъ, вѣроятно, мѣсто, могло оставить этому законченному шару только приблизительно половину всего того тепла, которое произошло на счетъ потерянной потенціальной энергіи взаимнаго тяготѣнія. Мы можемъ, поэтому, принять за наименьшую оцѣнку начального тепла солнца взятый 10,000,000 разъ годовой расходъ тепла при настоящей скорости потери его, а вслѣдствіе большей плотности солнца въ его центральныхъ частяхъ мы можемъ за возможную оцѣнку принять отъ 50,000,000 до 100,000,000 разъ большее количество, чѣмъ то, которое ежегодно имъ излучается¹⁾.

Въ этой статьѣ, выше приведенные разсужденія, относительно возможной теплоемкости, скорости охлажденія и температуры солнца, дѣлаютъ вѣроятнымъ, что миллионъ лѣтъ тому назадъ оно было очень замѣтно теплѣе, чѣмъ теперь; и, следовательно, если оно существуетъ, какъ свѣтило, десять или двадцать миллионовъ лѣтъ, то оно должно было излучить изъ себя количество тепла, значительно большее, чѣмъ увеличенный въ это число разъ настоящій годовой размѣръ потери тепла.

Поэтому, въ концѣ концовъ, кажется наиболѣе вѣроятнымъ, что солнце не освѣщаетъ земли 100,000,000 лѣтъ, и почти достовѣрнымъ, что оно не освѣщаетъ ея 500,000,000 лѣтъ. Чѣмъ же касается до будущаго, то мы, съ одинаковой достовѣрностью, можемъ сказать, что обитатели земли не будутъ въ состояніи еще много миллионовъ лѣтъ продолжать наслаждаться свѣтомъ и тепломъ, существенно необходимыми для ихъ жизни, если только въ великихъ кладезяхъ мірозданія не запасены еще неизвѣстные намъ источники ихъ.

¹⁾ Принимая числа Лэнглэя или Ангстрёма, мы получимъ не 10, 50 и 100 миллионовъ, а 6, 30 и 60 или 4, 20 и 40 миллионовъ.
(Прим. перев.).

О солнечномъ теплѣ.

(Пятничное вечернее чтеніе въ Великобританскомъ Королевскомъ Институтѣ 21 января 1887 г.: смотри также Good Words за мартъ и апрѣль 1887 года).

Изъ исторіи народовъ мы знаемъ, что втеченіе нѣсколькихъ тысячъ лѣтъ солнце давало тепло и свѣтъ землѣ такъ же, какъ и въ настоящее время,—причемъ, можетъ быть, происходили нѣкоторыя значительныя колебанія и, можетъ быть, нѣкоторое, не очень малое, прогрессивное измѣненіе. Лѣтописи земледѣлія и естественная исторія растеній и животныхъ въ предѣлахъ историческаго времени изобилуютъ очевидными указаніями на то, что за послѣдніе три тысячи лѣтъ не произошло никакихъ чрезвычайно большихъ измѣненій въ напряженіи солнечнаго тепла и свѣта; но однако во всякомъ случаѣ могли быть измѣненія, доходящія до 5 или 10 процентовъ, какъ мы можемъ судить, если примемъ во вниманіе, что напряженіе солнечнаго излученія землѣ на $6\frac{1}{2}$ процентовъ больше въ январѣ, чѣмъ въ іюлѣ, — а ни у экватора, ни въ сѣверномъ или южномъ полушаріяхъ эта разница не была обнаружена какимъ либо опытомъ или простымъ наблюденіемъ. Но, что касается до самаго возраста солнца, независимо отъ вопроса о равнотѣрности излученія, то у насъ есть доказательства промежутка времени, значительно большаго, чѣмъ три тысячи лѣтъ,—въ геологической исторіи, съ ея неопровергимо очевидными указаніями непрерывности жизни на землѣ въ прошедшія времена втеченіе десятковъ тысячъ и вѣроятно втеченіе миллионовъ лѣтъ.

Вотъ, слѣдовательно, намъ превосходный предметъ для размышенія и изслѣдованія въ Натуральной Философіи или Физикѣ—наукѣ о мертвѣй матерії. Солнце, простой кусокъ вещества тѣхъ умѣренныхъ размѣровъ, которые, мы всѣ знаемъ, оно имѣть, ограниченное со всѣхъ сторонъ холоднымъ эфиромъ¹⁾, совершало работу со скоростью четырехсотъ семидесяти шести тысячъ трилліоновъ лошадиныхъ силъ²⁾ втеченіе трехъ тысячъ лѣтъ и, можетъ быть, съ большей и, навѣрное, съ не многимъ менѣшой скоростью втеченіе нѣсколькихъ миллионовъ лѣтъ. Какимъ образомъ это объяснить? Натуральная философія не можетъ избѣжать этого вопроса и ни одинъ физикъ, который не попытался попробовать отвѣтить на него, не можетъ имѣть никакого иного оправданія, какъ только то, что все его рабочее время занято изслѣдованіями надъ какимъ либо другимъ предметомъ или предметами его области,—изслѣдованіями, при посредствѣ которыхъ онъ можетъ надѣяться нѣсколько болѣе подвинуть впередъ науку.

Можетъ быть принято, какъ установленный результатъ на-

¹⁾ Солнце согрѣваетъ и освѣщаетъ землю чрезъ посредство волнобразнаго движенія, возбуждающаго вслѣдствіе его бѣло-калильной температуры и передающагося черезъ вещество, обыкновенно называемое свѣтоноснымъ эфиромъ,—вещество, которое наполняетъ все пространство до самыхъ отдаленныхъ звѣздъ и имѣть свойство передавать лучистое тепло (или свѣтъ), не нагрѣваясь само при этомъ. Я думаю, что я имѣю право опустить прилагательное свѣтоносный, потому что среда, находящаяся очень высоко надъ поверхностью земли, черезъ которую до насъ доходитъ солнечное тепло (или свѣтъ) и чрезъ которую двигаются планеты, была названа эфиромъ за 2,000 лѣтъ до того, какъ химики стали злоупотреблять этимъ названіемъ для «сѣрнаго эфира», «хлористаго эфира» и другихъ соединеній, которыя почему то считали особенно эфирными; и я уповаю, что химики нынѣшихъ дней не разсердятся на меня, если я буду употреблять слово эфиръ, просто на просто, для обозначенія той среды, волнобразнаго движенія которой составляютъ лучистое тепло (или свѣтъ).

(Прим. автора.)

²⁾ 476×10^{21} horse-power = 482×10^{21} лошадиныхъ силъ; замѣтимъ снова, что, если взять числа Лэнглэя и Ангстрома (см. прим. 1 на стр. 248), то вместо 482 получится 839 и 1095 тысячъ трилліоновъ лошадиныхъ силъ.

(Прим. перев.).

учныхъ изысканій, что солнце *не* есть горячій огонь, но что *оно есть* просто раскаленная добѣла жидкая охлаждающаяся масса, причемъ въ этой массѣ происходитъ иѣкоторое небольшое добавленіе свѣжей энергіи метеорами, случайно падающими въ нее,—добавленіе, имѣющее однако очень небольшое значеніе по сравненію со всей той тепловой энергией, которую солнце отдаетъ изъ года въ годъ. Гельмгольцевскую форму метеорной теоріи происхожденія солнечнаго тепла можно признать теоріей, имѣющей высшую степень научнаго вѣроятія, какую только можно приписать какому либо предположенію, касающемуся событий доисторическихъ временъ. Существенное основаніе этого объясненія заключается въ слѣдующемъ: въ иѣкоторый періодъ времени, въ далекомъ прошедшемъ, начальное тепло солнца было порождено столкновеніемъ, предварительно находившихся на разстояніи въ пространствѣ, кусковъ вещества, притянувшихся затѣмъ другъ къ другу вслѣдствіе взаимнаго тяготѣнія и образовавшихъ настоящую массу солнца; и уменьшеніе объема солнца, зависящее отъ охлажденія, даетъ, благодаря работѣ, совершающей взаимнымъ притяженіемъ всѣхъ частей сжимающейся массы, тотъ обширный источникъ выданія тепла, вслѣдствіе которой охлажденіе было, и продолжаетъ быть, такимъ медленнымъ.

Въ иѣкоторыхъ, въ иномъ отношеніи превосходныхъ, книгахъ «парадоксально» излагается, что солнце становится горячѣе вслѣдствіе уплотненія¹⁾). Парадоксы не имѣютъ мѣста

¹⁾ [Примѣчаніе отъ 21-го февраля 1887 г. Тотъ «парадоксъ», на который я ссылаюсь здѣсь, есть, какъ я теперь вижу, просто невѣрное изложеніе (ошибочное и очевидно парадоксальное вслѣдствіе пропуска одного существеннаго условія) поразительного и въ высшей степени важнаго заключенія, находящагося въ статьѣ Дж. Гомера Лэна, которая появилась въ *American Journal of Science* за іюль 1870 г. (болѣе подробная ссылка на нее ниже, на стр. 282). Въ Ньюкомбовской *Популярной Астрономіи* [Popular Astronomy], первое изданіе, стр. 508, этотъ пропускъ пополненъ въ выносѣ, дающей ясное популярное изложеніе механическихъ основъ заключенія Лэна; этотъ вопросъ подобнымъ же образомъ объясненъ въ *Исторіи Небесъ* [Story of the Heavens] Болла, стр. 501, 502 и 503, съ полнымъ исключеніемъ этого „парадокса“. И я теперь пользо-

въ наукѣ. Удаленіе ихъ есть подстановка вмѣсто ложныхъ положеній и мыслей—истинныхъ, подстановка, не всегда выполняемая такъ легко, какъ въ настоящемъ случаѣ. Здѣсь истина заключается въ слѣдующемъ: солнце становится менѣе горячо *въ мѣстахъ равной плотности*, — и вотъ вслѣдствіе этого-то масса его и можетъ постепенно поддаваться уплотняющему дѣйствію силы тяжести; и такимъ образомъ изъ году въ годъ охлажденіе и уплотненіе продолжаются совмѣстно.

Существенная подробность Гельмгольцевской теоріи солнечнаго тепла заключается въ томъ, что солнце должно быть жидкимъ тѣломъ; потому что, будь оно твердымъ тѣломъ, то, даже если бы въ какой либо данный моментъ оно было на столько горячо—отъ поверхности до любой глубины, какъ бы велика ни была эта глубина,—чтобы быть ярко накаленнымъ, проводимость тепла извнутри черезъ твердое вещество наивысшей проводящей способности, какую только мы знаемъ, была бы недостаточна, чтобы поддержать накаленность поверхности добѣла долѣ иѣсколькихъ часовъ, послѣ чего наступила бы полная темнота. Наблюденіе подтверждаетъ это заключеніе, поскольку дѣло идетъ о вѣнчнемъ видѣ солнца, но оно является недостаточнымъ, чтобы опровергнуть мысль, которая была такъ краснорѣчиво высказана сэромъ Джономъ Гершелемъ и которая господствовала еще тридцать или сорокъ лѣтъ тому назадъ,—мысль, что солнце представляетъ собой твердое ядро, заключенное въ оболочку изъ бурно волнуемаго пламени. Въ дѣйствительности, вещество наружной скорлупы солнца, отъ которой излучается тепло во вѣнчнее пространство, должно, охлаждаясь, становиться болѣе плотнымъ и, становясь такимъ образомъ неустойчивымъ въ своемъ верхнемъ положеніи, должно падать внизъ, а болѣе горячая жидкость извнутри должна устремляться наверхъ, чтобы занять ея мѣсто. Ужасные потоки, непрерывно проходящіе такимъ образомъ въ этой громадной массѣ пылаю-

зуюсь случаемъ исправить сдѣланную мною второпяхъ поправку этого „парадокса“ напечатаніемъ курсивомъ четырехъ словъ, прибавленныхъ къ 8 строкѣ этого отрывка.—В. Т.].

(Прим. автора).

щей жидкости, составляютъ область недавно развившейся науки,—физики солнца,—которая, съ ея дивнымъ приборомъ для изслѣдованія,—спектроскопомъ,—съ каждымъ годомъ и днемъ даетъ намъ все больше и больше свѣдѣній о теперешнихъ движеніяхъ различныхъ составныхъ частей солнца и о вызываемыхъ этими движеніями великотѣпныхъ и имѣющихъ огромное значеніе явленіяхъ.

Чтобы составить себѣ нѣкоторое понятіе о количествѣ тепла, которое непрерывно подымается на поверхность солнца и излучается съ нея въ пространство, и о механическихъ соотношеніяхъ между нимъ и солнечнымъ тяготѣніемъ, раздѣлимъ сначала это чудовищное число (476×10^{21}) лошадиныхъ силъ на число ($6 \cdot 1 \times 10^{18}$) квадратныхъ метровъ¹⁾ поверхности

¹⁾ Квадратный метръ есть приблизительно $10^3/4$ (ближе, 10·764) квадратныхъ футовъ или одинъ и одна пятая квадратного ярда (ближе, 1·196 квадратного ярда). Метръ немного меньше 40 дюймовъ (39·37 дюймовъ = 3·281 фута = 1·094 ярда). Километръ, который намъ скоро придется употреблять, будучи равенъ тысячѣ метровъ, представляетъ собой, такъ сказать, короткую милю (0·6214 англійской казенной мили). Такимъ образомъ, въ круглыхъ числахъ 62 казенныхъ мили равны 100 километрамъ и 161 километръ равенъ 100 казеннымъ милямъ. Ужасный и пенизный налогъ на умственныя способности и траты ихъ, вызываемые употребленіемъ англійской системы дюймовъ, футовъ, ярдовъ, першой или жезловъ или шестовъ [perches or rods or poles], цѣпей [chains], фёрлонговъ [furlongs], англійскихъ казенныхъ миль, морскихъ миль, квадратный жезль [rod] ($30^{1/4}$ квадратныхъ ярдовъ)! рута [rood] (1210 квадратныхъ ярдовъ)! акръ (4 руты)²⁾, — могутъ служить мнѣ защитой, но это есть только часть причинъ, вслѣдствіе которыхъ я не считаю поверхность солнца въ акрахъ, его дѣятельность въ лошадиныхъ силахъ на квадратный дюймъ или на квадратный футъ, и его радиусъ и разстояніе земли отъ него въ англійскихъ казенныхъ миляхъ и употребляю исключительно систему съ однимъ наименованіемъ, введенную французами девяносто лѣтъ назадъ и находящуюся теперь въ общемъ употребленіи во всѣхъ цивилизованныхъ странахъ свѣта за исключеніемъ Анг-

²⁾ Русская система миль, верстъ, сажень, аршинъ, футовъ, вершковъ, дюймовъ, сотокъ, линій, десятинъ и проч. врядъ ли уступить въ запутанности англійской.

(Прим. перев.).

солнца; мы найдемъ 78,000 лошадиныхъ силъ¹⁾, какъ механическій эквивалентъ излученія съ квадратнаго метра. Вообразите, затѣмъ, что паровыя машины съ восьми броненосцевъ приспособлены, при посредствѣ идеальнаго механизма изъ безчисленнаго множества стержней, блоковъ и ремней, къ тому, чтобы затрачивать всю свою полезную работу, скажемъ, 10,000 лошадиныхъ силъ каждая, на непрерывное приведеніе въ движение одной небольшой лопасти въ жидкости, содержащейся въ кадкѣ въ квадратный метръ. Въ этомъ случаѣ то же самое количество тепла издавалось бы квадратнымъ метромъ поверхности жидкости, какое издается каждымъ квадратнымъ метромъ поверхности солнца.

Но теперь, чтобы перейти отъ практическіи невозможной комбинаціи паровыхъ машинъ и физически невозможной лопасти и жидкости и содержащей ее кадки къ болѣе практической комбинаціи матерьяловъ, которая производила бы то же самое дѣйствіе,—удержите еще идеальную лопасть и жидкость, но помѣстите лопасть на поверхность холоднаго, твердаго, однороднаго шара тѣхъ же размѣровъ (697,000 километровъ радиусомъ), какъ солнце, и плотности (1·4), равной средней плотности солнца. Вместо того, чтобы употреблять паровую силу, пусть лопасть приводится въ движение грузомъ, опускающимся въ шахту, выкопанную подъ кадкой. Какъ самый простой возможный механизмъ, возьмите длинный вертикальный стержень, на верхушкѣ котораго придаана лопасть, такъ, чтобы

ліи и Соединенныхъ Штатовъ Сѣверной Америки²⁾. Англійская тонна равна 1·016 французской тонны или вѣса кубического метра холодной воды (1·016 килограммовъ). Французская тонна, въ 1000 килограммовъ, есть 0·9842 англійской тонны. Такимъ образомъ для многихъ практическихъ вычислений, таковыхъ, какъ вычислениія настоящей статьи, можно пренебречь разницу между англійской и французской тонной.

(Прим. автора).

¹⁾ 78,000 horse-power = 79,100 русскихъ лошадиныхъ силъ; если же принять число Лэнглэя или Ангстрома, то получается 138,000 и 175,000 лошадиныхъ силъ.
(Прим. перев.).

²⁾ Россію Томсонъ, по всей вѣроятности, не причисляетъ къ цивилизованнымъ странамъ.
(Прим. перев.).

она вращалась горизонтально. Пусть грузомъ будетъ гайка, работающая на винтовой нарезкѣ, сдѣланной на этомъ вертикальномъ стержнѣ, съ направителями, которые бы препятствовали гайкѣ вращаться,—причемъ винтъ и направители всѣ безусловно лишены тренія. Пусть шахта будетъ въ квадратный метръ у своего верхняго конца и пусть она будетъ прорыта внизъ до самаго центра солнца, будучи вездѣ квадратнаго поперечнаго сѣченія и равномѣрно заостряясь въ точку въ центрѣ. Пусть грузомъ будетъ самое вырытое вещества массы солнца, снабженное только небольшимъ просвѣтомъ между нимъ и четырьмя сторонами шахты и отрѣзанное на километръ или около того у нижняго остроконечнаго конца, чтобы было мѣсто для его спуска. Масса этого груза есть 326 миллионовъ тоннъ. Его вѣсъ, три четверти вѣса равной ему массы у поверхности солнца ¹⁾, есть 244 миллиона тоннъ вѣса на поверхности солнца. Далѣе, лошадина сила, въ часъ, есть 270 тоннъ-метровъ вѣса

¹⁾ Пусть средняя плотность солнца ρ , радиусъ — R ; тогда масса нашей пирамиды будетъ $\frac{1}{3} \rho R^3$ (основаніе равно 1), масса солнца $\frac{4}{3} \pi \rho R^3$, — и вѣсъ массы этой пирамиды на поверхности солнца, въ единицахъ системы всемирного тяготѣнія, будетъ:

$$P = \frac{\frac{1}{3} \rho R \cdot \frac{4}{3} \pi \rho R^3}{R^2} = \frac{4}{9} \pi \rho^2 R^2.$$

Чтобы получить истинный вѣсъ пирамиды, P' , раздѣлимъ ее на рядъ слоевъ концентрическими поверхностями сферами. Масса отрѣзка пирамиды, заключенного между сферами радиусовъ r и $r + dr$, будетъ $\rho \cdot \frac{r^2}{R^2} \cdot dr$, а такъ какъ на него дѣйствуетъ только сфера радиуса r , то ея вѣсъ будетъ:

$$dP' = \frac{\rho \frac{r^2}{R^2} dr \cdot \frac{4}{3} \pi \rho r^3}{r^2} = \frac{4}{3} \pi \rho^2 \frac{r^2}{R^2} dr.$$

Отсюда:

$$P' = \int dP' = \frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^2} \int_0^R r^2 dr = \frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^2} \cdot \frac{R^4}{4} = \frac{1}{3} \pi \rho^2 R^2,$$

а слѣд., $P' = \frac{3}{4} P$.

(Прим. перев.).

на земной поверхности; или 10 тоннъ-метровъ вѣса на поверхности солнца, потому что тонна матеріи въ двадцать семь разъ тяжелѣе на поверхности солнца, чѣмъ на поверхности земли. Чтобы совершать работу со скоростью 78,000 лошадиныхъ силъ или 780,000 тоннъ-метровъ вѣса на поверхности солнца въ часъ, нашъ грузъ долженъ поэтому опускаться со скоростью одного метра въ 313 часовъ или около 28 метровъ въ годъ ¹⁾.

Чтобы сдѣлать, все еще при посредствѣ не осуществимыхъ на практикѣ механизмовъ, слѣдующій шагъ впередъ по направленію къ тому практическому процессу, посредствомъ котораго на самомъ дѣлѣ производится солнечное тепло, положимъ, что крутизна нарезки винта будетъ равномѣрно уменьшаться отъ поверхности внизъ, такъ, чтобы скорость груза, когда онъ станетъ опускаться, вращая винтъ, была прямо пропорціональна разстоянію отъ центра солнца. Это вызоветъ равномѣрное уплотненіе вещества груза, но уплотненіе, настолько чрезвычайно незначительное втечение даже десятковъ тысячъ лѣтъ, что, каково бы ни было это предполагаемое вещество груза, металль или камень, упругое сопротивленіе уплотненію будетъ крайне неощутимо въ сравненіи съ тѣми силами тяготѣнія, съ которыми мы имѣемъ дѣло. Работа, совершаемая при опусканіи на одинъ метръ верхняго конца груза, будетъ равна какъ разъ четыремъ пятымъ той величины, которую она имѣла, когда нарезка винта была равномѣрной ²⁾.

¹⁾ Если взять числа Лэнглэя и Ангстрѣма, то получаются скорости одного метра въ 176 и 138 часовъ или 49 и 64 метровъ въ годъ.

(Прим. перев.).

²⁾ Въ послѣднемъ случаѣ всѣ слои опускаются на одинаковую длину и, слѣдовательно, работа, совершаемая опусканіемъ на ΔR слоя между сферами радиусовъ r и $r + dr$, будетъ равна $\frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^2} r^3 dr \cdot \Delta R$, а отсюда работа, совершаемая всей пирамидой при опусканіи на ΔR верхняго слоя, равна

$$T = \Delta R \int_0^R \frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^2} r^3 dr = \frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^2} \cdot \frac{1}{4} R^4 \cdot \Delta R.$$

Такимъ образомъ, чтобы совершать 78,000 лошадиныхъ силь работы, верхній конецъ груза долженъ опускаться со скоростью 35 метровъ въ годъ или 70 километровъ въ 2,000 лѣтъ¹⁾.

Пусть далѣе вся поверхность нашего холдаго твердаго солнца будетъ раздѣлена на квадраты, — напримѣръ, на квадраты, какъ можно болѣе близко равные, каждый, одному квадратному метру по площади, — и пусть вся масса солнца будетъ раздѣлена на длинныя опрокинутыя пирамиды или остроконечные шесты, — каждый въ 697,000 километровъ длиною, — сходящіеся своими остріями у его центра. Пусть каждый такой шестъ будетъ помѣщенъ на винтъ, какъ уже было описано для длиннаго заостреннаго груза, который мы рассматривали сначала; и пусть лопасть на верхнемъ концѣ каждого винта-стержня вращается въ жидкости, теперь уже не заключеной въ кадку, а покрывающей всю поверхность солнца на глубину нѣсколькихъ метровъ или километровъ. Подгоните вязкость жидкости и размѣры каждой лопасти такъ, чтобы лопасть вращалась какъ разъ съ такою быстротою, которая позволяла бы верхнему концу каждого остроконечнаго шеста опускаться со скоростью 35 метровъ въ годъ. Работа, совершаемая надъ жидкостью лопастями, доведеть всю ее до бѣлаго каленія, и она будетъ испускать тепло и свѣтъ, приблизительно какъ разъ въ тѣхъ же размѣрахъ, какъ въ настоящемъ

Во второмъ случаѣ, если верхній слой опускается на ΔR , то слой, находящійся на разстояніи r отъ центра, опускается на $\frac{r}{R} \Delta R$, а потому работа этого слоя, при опусканіи верхняго слоя на ΔR , будетъ равна $\frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^2} r^3 dr \cdot \frac{r}{R} \Delta R$; слѣд., работа, совершаемая всей пирамидой, при опусканіи на ΔR верхняго слоя, равна:

$$T = \Delta R \int_0^R \frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^3} r^4 dr = \frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^3} \cdot \frac{1}{5} R^5 \cdot \Delta R = \frac{4}{5} T.$$

(Прим. перев.).

¹⁾ Принимая числа Лэнглэя и Ангстрёма, получимъ 61 и 80 метровъ въ годъ или 122 и 180 километровъ въ 2,000 лѣтъ.

(Прим. перев.).

время дѣлаетъ это солнце. Если бы жидкость простиралась въ глубину на нѣсколько тысячъ метровъ подъ лопастями, было бы невозможно, при посредствѣ какого бы то ни было изъ средствъ, которыми располагаетъ физика солнца, усмотреть разницу между нашей механическою моделью солнца и истиннымъ солнцемъ.

Чтобы уничтожить послѣдніе признаки неосуществимаго на практикѣ механизма, въ которомъ вся всѣхъ частей каждого длиннаго шеста поддерживаются на нарѣзкѣ идеального винта, сделанной на вертикальномъ стержнѣ изъ идеального вещества, абсолютно твердаго и абсолютно лишенаго тренія: — во-первыхъ, вернитесь на одинъ шагъ къ нашему предположенію существованія только одного такого шеста и винта, работающаго въ единственной шахтѣ, прорытой внизъ до центра солнца, и предположите затѣмъ, что вся остальная масса солнца крѣпка и абсолютно непроницаема для тепла. Подогрѣте вещество этого пирамидальнаго шеста до такой температуры, чтобы матерьяль его расплавился и испытывалъ въ себѣ столько «отталкивателнаго движенія» сэра Гѣмфри Дэви, сколько нужно, чтобы поддержать его уравновѣшеннѣмъ, какъ жидкость, не опускающимся и не поднимающимся отъ того положенія, въ которомъ онъ удерживался нарѣзкой винта. Когда вещество шеста поддерживается такимъ образомъ безъ винта, уберите винтъ или дайте ему расплавиться на мѣстѣ.

Такимъ образомъ мы имѣли бы шахту отъ поверхности солнца до его центра, въ одинъ квадратный метръ поперечнаго сѣченія у поверхности, полную накаленой добѣла жидкости, которую мы можемъ предположить состоящею изъ дѣйствительныхъ составныхъ частей вещества солнца. Эта жидкость, имѣя въ первый моментъ ту температуру, съ которой ее оставила лопасть, продолжала бы втеченіе этого момента излучать тепло совершенно такъ же, какъ она дѣлала это, когда лопасть продолжала двигаться; но эта жидкость скоро стала бы много холоднѣе у своей поверхности и на глубинѣ нѣсколькихъ метровъ. Опускающіеся внизъ потоки менѣе горячей жидкости и поднимающаяся снизу болѣе горячая жидкость уносили бы

въ неправильныхъ вихревыхъ сраженіяхъ охлажденную жидкость съ поверхности внизъ и приносили бы снизу наверхъ болѣе горячую жидкость, но такое смыщеніе не могло бы распространяться на глубину очень многихъ метровъ и удерживать температуру жидкости достаточно близкой къ той высокой температурѣ, которую поддерживала лопасть; по прошествіи нѣсколькихъ часовъ или дней началось бы отвердѣваніе жидкости у ея поверхности. Если отвердѣвшее вещество плаваетъ на жидкости, имѣя ту же самую температуру, какъ и жидкость, находящаяся подъ нимъ, въ такомъ случаѣ кора начнетъ утолщаться, какъ дѣлается толще ледъ на озерѣ въ морозную погоду; но, если, что болѣе вѣроятно, твердое вещество, состоящее изъ тѣхъ составныхъ частей, изъ какихъ составлено солнце, тонеть въ жидкости, когда оба, и жидкость, и образовавшееся изъ нея твердое тѣло, находятся при температурѣ плавленія этого тѣла, въ такомъ случаѣ тонкія пленки верхней коры упадутъ внутрь и станутъ падать внутрь до тѣхъ поръ, пока вся масса перемѣшанного твердаго и жидкаго тѣла не сдѣлается на нѣсколько метровъ вглубь достаточно густой (вродѣ густоты тѣста или патоки), чтобы воспрепятствовать отвердѣвшей пленкѣ опускаться внизъ съ поверхности. Поверхностная пленка станетъ тогда быстро утолщаться и по прошествіи нѣсколькихъ часовъ или дней сдѣлается раскаленною у своей верхней поверхности, менѣе, чѣмъ докрасна, а вся шахта, полная жидкости, будетъ продолжать охлаждаться съ крайней медленностью, до тѣхъ поръ, пока, послѣ, можетъ быть, около миллиона миллионовъ миллионовъ лѣтъ или вродѣ того, она не приметъ ту же самую температуру, какъ и пространство, въ которое излучаетъ тепло ея верхній конецъ.

Пусть именно тотъ процессъ, который мы сейчасъ рассматривали, совершается съ каждымъ изъ нашихъ пирамидальныхъ шестовъ, имѣющихъ однако, — и это должно быть на первомъ планѣ,—тонкія перегородки изъ вещества, непроницаемаго для тепла, отдѣляющія каждую шахту отъ четырехъ окружающихъ ее соседнихъ шахтъ. Точно такой же рядъ собы-

тій, который мы сейчасъ разсмотрѣли, будетъ имѣть мѣсто въ каждой изъ этихъ шахтъ.

Предположите, что вся эта сложная масса вращается со скоростью одного полнаго оборота втеченіе двадцати пяти дней, что представляетъ собой—почти съ тою точностью, съ какою мы его знаемъ,—время обращенія солнца вокругъ собственной оси.

Положимъ далѣе, что въ тотъ моментъ, когда лопасть останавливается, уничтожается всѣ перегородки, такъ что у потоковъ получится полная свобода течь въ любомъ направленіи, не встрѣчая сопротивленія,—за исключеніемъ только того, которое оказываетъ вязкость жидкости,—и затѣмъ предоставимъ этотъ кусокъ вещества, который мы можемъ теперь назвать солнцемъ, самому себѣ. Этотъ кусокъ вещества немедленно начнетъ выказывать всѣ явленія, известныя въ физикѣ солнца. Конечно, наблюдателю, можетъ быть, придется прождать нѣсколько лѣтъ появленія солнечныхъ пятенъ и нѣсколько четвертей столѣтія, чтобы открыть периоды солнечныхъ пятенъ, но это все, — я думаю, я могу сказать, вѣроятно,— получится совершенно въ томъ же видѣ, въ какомъ оно существуетъ въ дѣйствительности, ибо, я думаю, мы можемъ считать въ высшей степени вѣроятнымъ, что всѣ подобныя дѣйствія зависятъ отъ собственного вещества солнца, а не отъ вѣнчихъ вліяній какого бы ни было рода. Тѣмъ не менѣе, совершенно возможно,—и, въ самомъ дѣлѣ, многіе знатоки этого предмета считаютъ это вѣроятнымъ,—что нѣкоторые изъ главныхъ явленій, зависящихъ отъ солнечныхъ пятенъ, происходятъ отъ дѣйствія потоковъ метеорного вещества, вращающагося вокругъ солнца.

Энергія химического соединенія представляетъ собою какъ бы ничто въ сравненіи съ происходящей отъ взаимнаго притяженія энергіей уменьшенія объема солнца, отъ которой почти полностью зависитъ дѣятельность солнца. Тѣло, падающее съ сорока шести километровъ на поверхность солнца *или черезъ атмосферу солнца*, совершаетъ вслѣдствіе силы притяженія такую работу, которая соответствуетъ самой большой химической энергіи горѣнія горючихъ матерьяловъ¹⁾). Но химическое соединенія

¹⁾ См. прим. 2 на стр. 217.

(Прим. перев.).

и разложений могутъ, какъ настаиваетъ на этомъ Локъеръ въ его только что выпущенной въ свѣтъ книгѣ, о «Химии Солнца» [Chemistry of the Sun], быть достаточно мощными, чтобы оказывать вліяніе на нѣкоторыя явленія той неоднородности въ яркости, которая замѣчается въ величественныхъ явленіяхъ солнечныхъ пятенъ, водородныхъ пламенъ и короны, составляющихъ область физики солнца. Но эти вопросы принадлежать однако къ той великолѣпнейшей отрасли науки о солнцѣ, на которую въ настоящее время можно дѣлать только намеки.

Заключенія, относящіяся къ интересующему насъ вопросу объ объясненіи солнечного свѣта и солнечного тепла, могутъ быть сведены къ двумъ предложеніямъ:

1) Во всей жидкой массѣ солнца непрерывно поддерживаются гигантскіе потоки вслѣдствіе опусканія съ поверхности внизъ жидкости, охладившейся отъ излученія, и поднятія на верхъ болѣе горячей жидкости, стремящейся занять мѣсто нервой.

2) Работа, совершающаяся въ какой либо промежутокъ времени взаимнымъ притяженіемъ всѣхъ частей жидкости, когда эта жидкость уменьшается въ своемъ объемѣ вслѣдствіе пониженія температуры, только немного меныше (настолько немного меныше, что мы можемъ считать ее даже столь же великой), чѣмъ механическій эквивалентъ тепла, которое излучается солнцемъ за то же самое время.

Скорость сжатія, которая соотвѣтствуетъ настоящей скорости солнечного излученія, какъ мы вывели изъ разсмотрѣнія нашей механической модели, равна уменьшенію радиуса на 35 метровъ въ годъ или на одну десятитысячную его собственной длины въ двѣ тысячи лѣтъ. Отсюда слѣдуетъ, что, если солнечное излученіе было почти такимъ же, какъ въ настоящее время, двѣсти тысячи лѣтъ назадъ, то радиусъ солнца долженъ былъ быть двѣсти тысячи лѣтъ тому назадъ на одинъ процентъ больше, чѣмъ въ настоящее время. Если бы мы хотѣли повести наши вычисления много больше, чѣмъ на двѣсти тысячи лѣтъ назадъ или впередъ, то мы должны были бы вычислять разности величинъ, обратныхъ радиусу

солнца, а не просто разности радиусовъ, для того, чтобы принять во вниманіе измѣненіе плотности (которое, напримѣръ, будетъ равно тремъ процентамъ для одного процента измѣненія радиуса). Такимъ образомъ получается слѣдующее правило, которое легко вывести на основаніи принциповъ, иллюстрируемыхъ нашей механической моделью:

Равныя разности величинъ, обратныхъ радиусамъ, соотвѣтствуютъ равнымъ количествамъ тепла, излучаемымъ изъ миллиона въ миллионъ лѣтъ¹⁾.

Возьмите два примѣра:

1) Если въ прошедшія времена было излучено солнцемъ въ пятнадцать миллионовъ разъ больше тепла, чѣмъ въ настоящее время излучается въ одинъ годъ, то солнечный радиусъ

¹⁾ Мы вывели (стр. 265 прим. 1), что работа, совершающаяся пирамидой, имѣющей верхнее сѣченіе въ 1 кв. метр., при опусканіи верхняго конца на ΔR , выражается чрезъ

$$T' = \frac{4}{15} \pi \rho^2 R^2 \Delta R.$$

Отсюда слѣдуетъ, что работа, совершающаяся при этомъ всѣмъ шаромъ, будетъ

$$\Sigma T' = 4\pi R^2 T' = \frac{16}{15} \pi^2 \rho^2 R^4 \Delta R.$$

Если мы будемъ разсматривать тотъ же шаръ при другомъ радиусѣ R_1 (а слѣд. и иной плотности ρ_1), то работа, совершающая всѣмъ шаромъ при опусканіи верхняго конца на ΔR_1 , будетъ выражаться формулой

$$\Sigma T'_1 = \frac{16}{15} \pi^2 \rho_1^2 R_1^4 \Delta R_1.$$

Замѣтивъ, что масса шара осталась той же, получимъ

$$\frac{4}{3} \pi \rho_1 R_1^3 = \frac{4}{3} \pi \rho R^3,$$

откуда

$$\frac{\rho_1}{\rho} = \frac{R^3}{R_1^3}, \text{ а слѣд.}$$

$$\frac{\Sigma T'_1}{\Sigma T'} = \frac{\rho_1^2 R_1^4 \Delta R_1}{\rho^2 R^4 \Delta R} = \frac{R^2 \Delta R_1}{R_1^2 \Delta R} = \frac{\Delta \frac{1}{R_1}}{\Delta \frac{1}{R}},$$

откуда и получается вышеуказанное правило. (Прим. перев.).

долженъ быть въ четыре раза больше, чѣмъ въ настоящее время¹⁾.

2) Если бы дѣйствующая нагревательная способность солнца могла поддерживаться сжатiemъ до тѣхъ поръ, пока не будетъ излучено изъ него двадцать миллионовъ разъ настоящее годовое количество тепла, то радиусъ солнца долженъ стать половиной того, что онъ представляетъ собой теперь²⁾. Но надо замѣтить, что плотность, которую предполагало бы это, будетъ въ 11·2 раза больше плотности воды или какъ разъ близкой къ плотности олова и будетъ, вѣроятно, слишкомъ велика, чтобы позволить продолжаться свободному сжатию массы, подобному сжатию охлаждающаго газа, безъ препятствий, зависящихъ отъ слишкомъ большого скопленія молекулъ. Поэтому кажется наиболѣе вѣроятнымъ, что мы не можемъ расчитывать для будущаго на такое количество солнечного излученія, которое было бы больше,—если еще можно расчитывать настолько,—взятаго двѣсти миллионовъ разъ годового излученія въ настоящее время. Нужно также замѣтить, что сильно уменьшившаяся излучающая поверхность, обладая много низшей температурой испускала бы ежегодно много меньше тепла, чѣмъ даетъ солнце въ его настоящемъ состояніи. Тѣ же самыя разсужденія привели Ньюкомба къ заключенію, что «врядъ ли

¹⁾ Въ 200,000 лѣтъ радиусъ уменьшается на одинъ процентъ; можно считать, что и величина, обратная радиусу, за этотъ періодъ измѣняется также на одну сотую. Отсюда, если обозначимъ первоначальный радиусъ солнца черезъ R_0 , а теперешній—черезъ R , то получимъ

$$\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_0}\right) : \frac{1}{100} \frac{1}{R} = 15,000,000 : 200,000$$

$$\text{или } \frac{1}{R} - \frac{1}{R_0} = \frac{15,000,000}{100 \times 200,000} \frac{1}{R} = \frac{3}{4} \frac{1}{R},$$

откуда $R_0 = 4R$.

(Прим. перев.)

²⁾ Обозначая черезъ R_1 радиусъ солнца черезъ 20,000,000 лѣтъ, получимъ опять

$$\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R}\right) : \frac{1}{100} \frac{1}{R} = 20,000,000 : 200,000$$

$$\text{или } \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R} = \frac{1}{R}, \text{ откуда } R_1 = \frac{R}{2}.$$

(Прим. перев.).

вѣроятно, что солнце будетъ въ состояніи продолжать давать достаточно тепла, чтобы поддерживать жизнь на землѣ (такую жизнь, по крайней мѣрѣ, съ какою мы теперь знакомы), втечение десяти миллионовъ лѣтъ отъ настоящаго времени».

Во всѣхъ нашихъ вычисленіяхъ мы до сихъ поръ для простоты принимали плотность одинаковою на всемъ протяженіи и равною истинной средней плотности солнца, которая приблизительно въ 1·4 раза больше плотности воды или равна около четверти средней плотности земли. Въ дѣйствительности, плотность въ верхнихъ частяхъ массы солнца должна быть нѣсколько меныше этой величины и значительно больше ея—въ центральныхъ частяхъ, вслѣдствіе существующаго внутри давленія, увеличивающагося до нѣкоторой безмѣрно большой величины въ центрѣ. Если бы мы знали распределеніе внутренней плотности, мы могли бы легко измѣнить соотвѣтственно наши вычисленія, но кажется мало вѣроятнымъ, чтобы эта поправка могла, при какомъ либо вѣроятномъ предположеніи относительно громадности плотности на протяженіи значительной части внутренности солнца, прибавить болѣе, чѣмъ нѣсколько миллионовъ лѣтъ къ прошедшему солнечному теплу, и то, что могло бы быть прибавлено къ прошедшему, должно было бы быть взято отъ будущаго.

Въ нашихъ вычисленіяхъ мы принимали число Пулье для полной дѣятельности солнечного излученія,—число, которое практически согласуется съ числомъ Гершеля. Форбесъ¹⁾ показалъ необходимость исправленія того способа принманія въ расчетъ атмосферного поглощенія, который употребляли его два предшественника при опредѣленіи полнаго количества солнечного излученія, и онъ такимъ образомъ пришелъ къ числу, въ 1·6 раза большему, чѣмъ ихъ число. Черезъ сорокъ лѣтъ послѣ этого Лэнглэй²⁾ въ прекрасно разработанномъ изслѣдованіи

¹⁾ Edin. New Phil. Journal, т. XXXVI, 1844. (Прим. автора).

²⁾ American Journal of Science, т. XXVI, Мартъ, 1883³⁾.

(Прим. автора).

³⁾ The Selective Absorption of Solar Energy (Селективное поглощеніе солнечной энергіи), стр. 169—196. (Прим. перев.).

всего вопроса о поглощении нашей атмосферой лучистого тепла всѣхъ длинъ волнъ, принимаетъ и подтверждаетъ разсужденіе Форбеса и изъ новыхъ наблюденій на Маунтъ Уитнэй [Mount Whitney], на высотѣ 15,000 футовъ надъ уровнемъ моря ⁴⁾, находить число, которое еще нѣсколько больше, чѣмъ число Форбеса (въ 1·7 вмѣсто 1·6 раза больше числа Пулье). Такимъ образомъ измѣреніе Лэнглэемъ солнечного излученія соотвѣтствуетъ 133,000 лошадиныхъ силъ на квадратный метръ ²⁾ вмѣсто тѣхъ 78,000 лошадиныхъ силъ, которыя мы брали, и уменьшается каждый изъ нашихъ периодовъ времени въ отношеніи 1 къ 1·7. Такимъ образомъ вмѣсто Гельмгольцевскихъ двадцати миллионовъ лѣтъ, основанныхъ на опредѣленіи Пулье, мы получаемъ только двѣнадцать миллионовъ ³⁾ и подобнымъ же образомъ надо поступить со всѣми другими нашими вычисленіями времени, основанными на результатахъ Пулье. При обстоятельствахъ дѣла и если вполнѣ принять во вниманіе всѣ эти возможности большей плотности во внутренности солнца и большей или меньшей активности излученія въ прошлыхъ времена, то было бы, я думаю, крайне опрометчиво считать вѣроятнымъ что либо, превышающее двадцать миллионовъ лѣтъ солнечного свѣта въ прошлой истории земли, или разсчитывать болѣе, чѣмъ на пять или шесть миллионовъ лѣтъ солнечного свѣта на будущія времена.

Мы видѣли, что солнце не черпаетъ ни изъ какого внешняго источника то тепло, которое оно излучаетъ отъ себя изъ года въ годъ, и что вся энергія этого тепла происходитъ отъ взаимнаго притяженія между его частями, взаимодѣйствующими сообразно съ ньютоновскимъ закономъ тяготѣнія. Мы видѣли, какимъ образомъ идеальный механизмъ, легко воображаемый и

⁴⁾ 4500 метровъ.

²⁾ $78,000 \times 1.7 = 132,600$ horse-power = 134,600 лошадиныхъ силъ. Мы получили 138,000 (прим. 1 на стр. 265), потому что взяли болѣе точное (1·740) отношеніе между числами Лэнглэя и Пулье.

(Прим. перев.).

³⁾ Если же принять число Ангстрома, то получимъ всего 8·8 миллионовъ лѣтъ.

(Прим. перев.).

понимаемый, хотя безконечно далекій отъ возможности осуществленія, могъ бы направлять работу, совершающую взаимнымъ тяготѣніемъ между всѣми частями стягивающейся массы, на то, чтобы ея тепловой эквивалентъ появлялся въ океанѣ накаленной добѣла жидкости, покрывающей поверхность солнца, и такимъ образомъ удерживалъ ее накаленной добѣла, несмотря на постоянное излученіе ею тепла со скоростью, которая соотвѣтствуетъ настоящей теплоиспускательной дѣятельности солнца. Разсмотримъ болѣе подробно дѣйствительныя силы и движения, съ которыми мы, на самомъ дѣлѣ, имѣемъ дѣло въ процессѣ охлажденія вслѣдствіе излученія съ самой вѣнчайшей области солнца,—паденіе внутрь охлажденной такимъ образомъ жидкости, послѣдующее перемѣшиваніе между собой всѣхъ частей массы солнца, происходящее отсюда уменьшеніе упругаго сопротивленія давленію въ мѣстахъ одинаковой плотности и послѣдующее сжатіе всей массы подъ влияніемъ взаимнаго тяготѣнія. Я долженъ сначала объяснить, что это «упругое сопротивленіе давленію» зависитъ отъ тепла и есть, на дѣлѣ, то, что я, въ настоящей лекціи, назвалъ «отталкивателеннымъ движениемъ сэра Гѣмфри Дэви» (стр. 269). Я назвалъ его такъ потому, что Дэви первый употребилъ выраженіе «отталкивателное движеніе», чтобы описать тѣ тонкія междучастичные движения, которымъ онъ и другие основатели Кинетической Теоріи Тенла приписывали упругое сопротивленіе сжатію, представляемое газами и жидкостями.

Вообразите, вмѣсто атомовъ и молекулъ различныхъ веществъ, которыхъ составляютъ массу солнца, большое число упругихъ шаровъ вродѣ шариковъ школьнниковъ [schoolboys' marbles] или билльярдныхъ шаровъ. Представимъ себѣ сначала гдѣ нибудь на нашей землѣ нѣсколько миллионовъ такихъ шаровъ, расположенныхъ въ комнату, достаточно большую, чтобы вмѣстить въ тысячу разъ больше этого числа шаровъ, съ совершенно твердыми стѣнами и потолкомъ, но съ настоящимъ деревяннымъ поломъ; или, что было бы еще удобнѣе для нашей цѣли, съ поломъ изъ тонкой упругой листовой стали, поддерживаемой перекладинами, достаточно близкими другъ къ другу

чтобы не дать полу возможность неловко провиснуть въ камъ нибудь мѣстѣ. Положимъ, въ началѣ шарики лежали безъ движенія на полу. Въ этомъ состояніи они представляютъ атомы газа, какъ, напримѣръ, кислорода, азота или водорода, безусловно лишенного тепла и потому лежащаго замороженнымъ¹⁾, или молекулярную пыль, посыпанную на днѣ заключающаго ее сосуда.

Если теперь приложить лампу снизу къ кислороду, азоту или водороду, вещество это, нагрѣваясь тѣмъ тепломъ, которое проходитъ черезъ полъ, возстанетъ изъ своего состоянія абсолютно холоднаго тѣла или безсвязной молекулярной пыли и распространится въ видѣ газа по всему заключенному пространству. Если прилагать при посредствѣ лампы все больше и больше тепла, давленіе газа изнутри наружу во всѣхъ направленияхъ, т. е. давленіе на внутренность заключающаго сосуда, будетъ становиться все больше и больше.

Какъ къ грубому механическому подобію этого согрѣванія газа тепломъ, проходящимъ черезъ полъ заключающаго его сосуда, отъ лампы, которую держать подъ нимъ, возвратитесь къ нашей комнатѣ съ поломъ, усыпанымъ шариками, и найдите работниковъ, чтобы они пошли подъ полъ и сильно колотили по его нижней сторонѣ въ очень большомъ числѣ мѣстъ деревянными молотками. Шарики, находящіеся въ непосредственномъ прикосновеніи съ поломъ, начнутъ отпрыгивать отъ него и снова живо падать назадъ (подобно водѣ въ горшкѣ на огнь, кипящей потихоньку передъ тѣмъ, какъ закипѣть). Если работники будутъ работать достаточно энергично, то въ этой грудѣ будетъ накапляться все больше и больше движенія, пока каждый изъ шаровъ не придется въ состояніе неправильнаго колебанія вверхъ и внизъ, или наклонно, или горизонтально, но отнюдь не въ какомъ нибудь определенномъ направленіи; и благодаря взаимнымъ толчкамъ куча будетъ вздуваться вверхъ, пока потолокъ комнаты не удержитъ ея

¹⁾ Т. е. при температурѣ абсолютнаго нуля (-273° Д.).

(Прим. перев.).

отъ всякаго дальнѣйшаго вздуванія. Предположите теперь, что полъ сталь, подобно стѣнамъ и потолку, абсолютно крѣпкимъ. Работники могутъ прекратить ихъ работу колоченіемъ молотками, которая помогала бы теперь увеличенію движеній шариковъ, находящихся внутри, столько же, сколько приложенная снаружи лампа помогала бы согрѣванію содержимаго сосуда, если бы этотъ сосудъ былъ сдѣланъ изъ непроницаемаго для тепла идеального вещества. Шарики, будучи совершенно упругими, будутъ вѣчно продолжать¹⁾ летать по своей комнатѣ, нанося удары стѣнамъ, и полу, и потолку, и другъ другу, и оставаясь въ некоторомъ постоянномъ среднемъ состояніи болѣе плотнаго скопища непосредственно надъ поломъ и менѣе и менѣе плотнаго по направленію вверхъ до потолка.

При этомъ постоянномъ среднемъ состояніи средняя скорость шариковъ будетъ одной и той же во всемъ скопищѣ, отъ потолка до пола, и будетъ той же самой по всѣмъ направленіямъ, горизонтальному, вертикальному или наклонному. Непрерывно повторяющіеся толчки, наносимые каждой части стѣнѣ или потолка, будутъ въ суммѣ равносильны непрерывному давленію, которое будетъ находиться въ прямой пропорціональности со средней плотностью скопища въ этомъ мѣстѣ. Уменьшеніе давленія и плотности отъ пола вверхъ будетъ совершенно та-

¹⁾ Чтобы оправдать это утвержденіе, я долженъ предостеречь читателя, что эти идеальные совершенно упругіе шары, которые мы воображаемъ, должно предполагать имѣющими какое нибудь такое строеніе, что каждый воспринимаетъ только опредѣленную среднюю часть своей доли кинетической энергіи всѣхъ шаровъ, такъ что въ среднемъ всегда постоянная часть энергіи заключается въ поступательныхъ движеніяхъ шаровъ; другую же часть составляютъ колебательные и вращательные движения частей каждого шара. Мы предполагаемъ также для простоты, что шары совершенно мягки и лишены тренія, такъ что намъ не доставить хлопотъ необходимость разсматривать ихъ имѣющими какія либо вращательные движения, какія приобрѣли бы настоящіе шары съ настоящими, сопровождаемыми треніемъ столкновеніями. Отношеніе этихъ двухъ родовъ энергіи для обыкновенныхъ газовъ, согласно съ Клаузіусомъ, которому мы обязаны этимъ существеннымъ вкладомъ въ кинетическую теорію, такое: поступательной—три пятыхъ всей энергіи, колебательной—две пятыхъ.

(Прим. автора).

кое же, какъ уменьшениe плотности и давлениe въ нашей атмосферѣ, вычисленное въ предположениe равной температуры на всѣхъ высотахъ, по общеизвѣстнымъ формуламъ и таблицамъ для нахождениe высотъ при посредствѣ барометра.

Въ дѣйствительности, температура атмосферы вверхъ отъ земли не является одинаковой, но уменьшается со скоростью около 1° Ц. на каждые 162 метра вертикального подъема въ свободномъ воздухѣ, не возмущаемомъ горами,—согласно съ наблюденіями, сдѣланными на воздушныхъ шарахъ покойнымъ г. Уэльшемъ, изъ Кью [Kew], на большомъ протяженіи высотъ. Это уменьшениe температуры по направленію вверхъ въ нашей земной атмосферѣ имѣть въ высшей степени важное значеніе и вызываетъ многія соображенія по отношенію къ строенію солнечной атмосферы,—и не только атмосферы или вѣнчанной оболочки солнца, но и всей внутренней жидкой массы, съ которой она непрерывна. Эти два случая имѣютъ много общаго въ томъ, что въ каждомъ изъ нихъ происходитъ потеря тепла изъ вѣнчанихъ частей атмосферы вслѣдствіе излученія въ пространство и что вслѣдствіе этого во всей жидкости получаются циркуляціонные потоки, которыми постоянно производится полное перемѣшиваніе верхнихъ и нижнихъ частей. Въ земной атмосферѣ самая нижняя части получаютъ тепло, чрезъ прикосновеніе, отъ твердой земли, нагреваемой ежедневно солнечнымъ излученіемъ. Такъ какъ, въ среднемъ за ночь и день, воздухъ въ итогѣ не становится теплѣе, онъ долженъ излучать изъ себя въ пространство столько же тепла, сколько тепла онъ всего получаетъ, какъ отъ земли чрезъ прикосновеніе и черезъ излученіе, такъ и отъ солнца чрезъ излученіе послѣднимъ тепла, которое перехватывается воздухомъ на своемъ пути къ землѣ. Въ солнцѣ, тепло, излучаемое вѣнчаними частями атмосферы, полностью получается изнутри. Въ обоихъ случаяхъ, вся жидкая масса постоянно вполнѣ перемѣшивается потоками болѣе холодной жидкости исходящей внизъ, и болѣе теплой жидкости, поднимающейся, чтобы занять ея мѣсто и въ свою очередь охладиться и опуститься.

Но газы и жидкости вообще (за исключеніемъ нѣкоторыхъ

особенныхъ случаевъ, какъ случай воды въ предѣлахъ нѣсколькихъ градусовъ отъ ея температуры замерзанія, въ которыхъ жидкость подъ постояннымъ давлениемъ сжимается съ повышениемъ температуры), какъ известно, имѣютъ то свойство, что уплотненія и разрѣженія, производимыя увеличеніями и уменьшеніями вѣнчаного давления, вызываютъ повышенія и пониженія температуры въ тѣхъ случаяхъ, когда газъ предохраненъ, какъ отъ восприиманія тепла отъ какого либо вещества, вѣнчаного относительно него, такъ и отъ отдаванія тепла таковому. Такимъ образомъ, нѣкоторое количество воздуха или другого газа, взятаго при обыкновенной температурѣ (скажемъ, 15° Ц. или 59° Ф.) и расширявшагося до удвоенія своего объема, становится на 71° Ц. холоднѣе; и если расширение продолжается до увеличенія первоначального объема газа въ тридцать два раза, то этотъ газъ охлаждается еще на 148° Ц. или градусовъ на 200 Ц. ниже температуры замерзанія воды или до температуры, отстоящей отъ абсолютного холода всего на 73° . Такого же рода измѣненія на самомъ дѣлѣ происходятъ въ массахъ воздуха, поднимающихся въ нашей атмосферѣ на высоту восьми или девяти километровъ и на высоту двадцати или двадцати пяти километровъ. Соответствующія разности температуръ имѣются также, понятно, и во всей жидкой массѣ солнца, но эти разности на солнцѣ много больше, чѣмъ въ земной атмосферѣ, вслѣдствіе того, что сила тяжести на поверхности солнца въ двадцать семь разъ больше, вслѣдствіе того, что пространство, въ которомъ происходитъ свободная циркуляція жидкости на солнцѣ, несравненно обширнѣе, и, напослѣдокъ, хоть это и не послѣдняя причина¹⁾, вслѣдствіе того, что температура солнечной жидкости безмѣрно выше температура земной атмосферы, въ мѣстахъ одинаковой плотности ихъ обоихъ. Этотъ взглядъ на строеніе солнца былъ съ большимъ искусствомъ математически разработанъ г. Дж. Гомеромъ Лэномъ, изъ Вашингтона, въ его очень важномъ изслѣдованіи.

¹⁾ У Томсона здѣсь игра словъ: last, though not least...

(Прим. перев.).

дованиі, прочитанномъ передъ Національной Академіей Наукъ Соединенныхъ Штатовъ въ апрѣль 1869 года и напечатанномъ съ дальнѣйшими развитіями въ American Journal of Science, за Іюль 1870 года¹⁾). Г. Лэнъ изъ строго математическихъ разсужденій находитъ законъ распределенія плотности и температуры на всемъ протяженіи шара однороднаго газа, предоставленного самому себѣ и теряющаго тепло излученіемъ во внѣшнее пространство такъ медленно, что несущие тепло потоки вызываютъ только незначительныя отклоненія отъ шарообразной формы.

Одинъ очень замѣчательный и важный результатъ, изъ тѣхъ, къ которымъ онъ приходитъ, заключается въ томъ, что плотность въ центрѣ разъ въ двадцать²⁾ больше средней плотности; и это—независимо отъ того, будеть ли масса шара велика или мала и будеть ли она изъ кислорода, азота, водорода, или другого вещества, если только она будеть на всемъ протяженіи изъ одного рода газа и если только плотность въ центральныхъ частяхъ не настолько велика, чтобы уплотненіе не могло уже происходить согласно съ обыкновеннымъ закономъ о плотности, относящимся къ газамъ, т. е. прямо пропорционально давленію для одинаковыхъ температуръ. Мы знаемъ, что этотъ законъ вѣренъ съ довольно большой точностью для обыкновенного воздуха, для каждой изъ его главныхъ составныхъ частей, кислорода и азота, въ отдельности, и для водорода, до плотностей, разъ въ двѣsti болѣшихъ, чѣмъ ихъ плотности при нашемъ обыкновенномъ атмосферномъ давленіи. Но, когда сжимающая сила достаточно увеличилась, всѣ эти газы выка-

¹⁾ J. Homer Lane. On the Theoretical Temperature of the Sun; under the Hypothesis of a Gaseous Mass, maintaining its Volume by its Internal Heat and depending on the Laws of Gases as known to Terrestrial Experiment. [О теоретической температурѣ солнца, — въ предположеніи газообразной массы, поддерживающей свой объемъ своимъ внутреннимъ тепломъ и подчиняющейся тѣмъ законамъ газовъ, какіе известны на основаніи земныхъ опытовъ]. Amer. Jour. of Science, (2), 50, 57—74.

(Прим. перев.).

²⁾ Разработывая независимо задачу Лэна, я нашелъ $22\frac{1}{2}$, какъ число, очень близкое къ точному,

(Прим. автора).

зываютъ большее сопротивленіе уплотненію, чѣмъ слѣдуетъ по закону простой пропорциональности, и, кажется, въ высшей степени вѣроятно, что для каждого газа есть предѣлъ плотности, свыше котораго ее нельзя увеличить никакимъ давленіемъ, какъ бы оно велико ни было. Лэнъ замѣчаетъ, что плотность въ центрѣ солнца была бы «почти на одну треть больше плотности металлической платины», если бы законъ, относящейся къ газамъ, оставался вѣрнымъ для составныхъ частей массы солнца, вплоть до такой большой степени уплотненія; но онъ не выдаетъ этого предположенія за вѣроятное, и, безъ сомнѣнія, согласенъ съ общимъ мнѣніемъ, что, по всей вѣроятности, составные части массы солнца при тѣхъ дѣйствительныхъ ихъ температурахъ, которые соответствуютъ ихъ положеніямъ внутри солнца, подчиняются простому закону газовъ на сравнительно небольшомъ пространствѣ внутрь отъ поверхности и что въ центральныхъ областяхъ они много меныше уплотнены, чѣмъ слѣдовало бы по этому закону. По простому закону газовъ центральная плотность солнца была бы въ тридцать одинъ разъ больше плотности воды; но, по всей вѣроятности, мы можемъ принять, что она гораздо меныше этого, хотя значительно больше средней плотности, 1·4. Все это представляетъ собой широкіе предѣлы неизвѣстности, но было бы неразумно въ настоящее время суживать ихъ, при томъ невѣдѣніи, въ какомъ мы находимся, относительно главныхъ составныхъ частей всей массы солнца и законовъ давленія, плотности и температуры, даже для извѣстныхъ веществъ, при очень большихъ давленіяхъ и очень высокихъ температурахъ.

Вопросъ «становится ли солнце холоднѣе или горячѣе?» есть вопросъ, крайне сложный, и, въ самомъ дѣлѣ, поставить его или отвѣтить на него, представляется уже парадоксомъ, если только мы не опредѣлимъ точно, температуру какихъ частей солнца нужно рассматривать. Если мы спрашиваемъ: «какимъ образомъ измѣняется изъ года въ годъ температура частей солнца равной плотности?», то отвѣтъ, понятно, будетъ тотъ, что то вещество солнца, плотность котораго имѣть любую опредѣленную величину,—напримѣръ, обыкновенную плотность нашей

атмосфера,—становится все время менѣе и менѣе горячимъ, каково бы ни было его мѣсто въ жидкости и каковъ бы ни былъ законъ сжатія жидкости, будеть ли это простой законъ газовъ или нѣчто, заключающееся между этимъ закономъ и абсолютной несжимаемостью. Но разстояніе внутрь отъ поверхности, на которомъ можно найти нѣкоторую постоянную плотность, уменьшается при сжатіи, и такимъ образомъ можетъ быть, что на постоянныхъ глубинахъ внутрь отъ граничайшей поверхности температура становится выше и выше. Такъ, конечно, было бы въ томъ случаѣ, если бы законъ уплотненія газовъ былъ вѣренъ на всемъ протяженіи солнца, но даже тогда та дѣйствующая температура излученія, вслѣдствіе которой солнце изливаетъ свое тепло во вѣнчее пространство, могла бы понижаться, потому что температуры частей равной плотности становятся, очевидно, ниже при всякихъ обстоятельствахъ.

Оставляя эти сложные и трудные вопросы ученымъ изслѣдователямъ, посвящающимъ себя на то, чтобы двигать впередъ науку физики солнца, обсудите просто понимаемый вопросъ: «какова температура центра солнца въ какое либо время и повышается ли она, или понижается съ теченіемъ времени?» Если мы мысленно перенесемся назадъ на нѣсколько миллионовъ лѣтъ, къ тому времени, когда по всей вѣроятности солнце было вполнѣ газообразно до самого центра, то въ это время, конечно, центральная температура должна была увеличиваться: съ другой стороны, если бы,—что въ настоящее время возможно, хотя мало вѣроятно, но что можетъ, вѣроятно, случиться въ нѣкоторомъ будущемъ времени,—тамъ было твердое ядро, то тогда, конечно, центральная температура увеличивалась бы, потому что проводимость тепла черезъ твердое тѣло была бы слишкомъ медленна, чтобы компенсировать увеличеніе давленія, происходящее отъ увеличенія силы тяжести въ сжимающейся жидкости, облагающей собою твердое тѣло. Но мнѣ кажется достовѣрнымъ, что въ этой исторіи вполнѣ жидкаго шара, первоначально бывшаго во всемъ своемъ объемѣ достаточно разрѣженнымъ, чтобы быть газообразнымъ,

и затѣмъ сжимающагося подъ вліяніемъ своего собственного тяготѣнія и своего излученія тепла наружу въ холодное окружающее пространство,—тогда, когда центральная части сдѣлаются настолько уплотненными, чтобы онѣ стали противодѣйствовать дальнѣйшему уплотненію въ гораздо большей степени, чѣмъ следовало бы это по закону простой пропорціональности, относящемуся къ газамъ,—настанетъ моментъ, когда тотъ первоначальный процессъ нагреванія, который былъ доказанъ Лэномъ, Ньюкомбомъ и Болломъ, долженъ будетъ прекратиться и когда центральная температура должна будетъ начать уменьшаться по причинѣ охлажденія вслѣдствіе излученія съ поверхности и проникновенія этой охлажденной жидкости во внутреннее пространство.

Теперь мы подходимъ къ самой интересной части нашего предмета—древней исторіи солнца. Пять или десять миллионовъ лѣтъ тому назадъ, оно могло быть раза въ два большаго диаметра, чѣмъ теперь, и могло имѣть одну восьмую теперешней средней плотности или 0·175 плотности воды; но мы не можемъ непрерывно ити много дальше этого, сохранивъ при этомъ какую либо вѣроятность доводовъ или умозрѣній. И всетаки мы не можемъ не поставить вопроса: «каково было состояніе матеріи солнца передъ тѣмъ, какъ она соединилась въ одно цѣлое и сдѣлалась горячей?» Это могли быть двѣ холода твердыхъ массы, которые столкнулись между собой со скоростью, зависящую отъ ихъ взаимнаго тяготѣнія; и,—хотя это безмѣрно менѣе вѣроятно,—это могли быть двѣ массы, столкнувшись между собой со скоростями, значительно большими, чѣмъ скорости, зависящія отъ взаимнаго тяготѣнія. Послѣднее предположеніе предполагаетъ, что, когда разстояніе между тѣлами *A* и *B* (назовемъ эти два тѣла для краткости чрезъ *A* и *B*) было велико, движеніе центра инерціи *B* по отношенію къ *A* происходило такъ, что центръ инерціи *B* направлялся прямо чрезъ центръ инерціи *A* съ такой большой точностью, что моментъ вращенія или «главный моментъ количествъ движенія» [«moment of momentum»]¹⁾ послѣ столкновенія получился такой, ко-

¹⁾ Это есть техническое выражение, которое означаетъ въ механикѣ

торый соответствует настоящему медленному вращению солнца. Эта крайне точная прицелька, такъ сказать, одного тѣла въ другое, по простой теоріи вѣроятности, крайне невѣроятна. Съ другой стороны, есть увѣренность въ томъ, что два находящихся въ покой въ пространствѣ тѣла *A* и *B*, будучи предоставлены самимъ себѣ и не будучи подвержены влиянию другихъ тѣлъ, а находясь только подъ влияниемъ своего взаимнаго притяженія, столкнутся, непосредственно ударившись другъ въ друга, причемъ вслѣдствіе этого и ихъ центръ инерціи послѣ столкновенія не будетъ имѣть никакого движенія, и все сложное тѣло—никакого момента вращенія. Такимъ образомъ мы видимъ, что простая вѣроятность столкновенія между двумя сосѣдями изъ большого числа взаимно притягивающихъ тѣлъ, широко раскинутыхъ по пространству, много больше, если тѣла эти вѣдь даны въ покой, чѣмъ, если они даны двигающимися въ какихъ либо произвольныхъ направленіяхъ и съ какими либо скоростями, значительными сравнительно со скоростями,

значительность движенія по отношенію къ обращенію или къ вращенію вокругъ нѣкоторой оси. Momentum есть выражение, принятое около полутораста лѣтъ тому назадъ (когда математики и другие ученые люди говорили и писали по латыни) для обозначенія значительности движенія поступательного. Моментъ пары силъ [moment of a couple], моментъ магнита [moment of magnet], моментъ инерціи [moment of inertia], моментъ силы вокругъ оси [moment of force round an axis], моментъ количествъ движенія вокругъ оси [moment of momentum round an axis] и соответственныя соединенія словъ во французскомъ и нѣмецкомъ представляютъ собой выражения, которые были введены за послѣднія шестьдесятъ лѣтъ (людьми науки, говорившими, какъ теперь, каждый на своемъ собственномъ родномъ языке), для обозначенія значительности того специального предмета, о которомъ идетъ рѣчь въ каждомъ случаѣ. Выраженіе «moment of momentum» въ высшей степени цѣнно и удобно въ механикѣ и представляетъ собой интересный филологический памятникъ исторіи науки²⁾.

(Прим. автора).

²⁾ Такъ какъ слово «momentum» означаетъ то, что мы называемъ теперь количествомъ движенія, т. е. произведеніе массы тѣла на его скорость, то вместо того, чтобы вводить новое выражение, мы позволили себѣ переводить выражение «moment of momentum» совершенно вошедшемъ въ научный языкъ терминомъ «моментъ количествъ движенія».

(Прим. перев.).

которыя они пріобрѣли бы при столкновеніи, приходя въ движение изъ состоянія покоя. Въ связи съ этимъ въ высшей степени интересно узнать изъ звѣздной астрономіи, которой такъ блестательно, какъ это недавно, напримѣръ, было, помогаетъ спектроскопъ, что относительная движенія видимыхъ звѣздъ и нашего солнца вообще очень малы въ сравненіи съ тою скоростью (612 километровъ въ секунду), которую пріобрѣло бы тѣло, падая на солнце, и сравнимы съ умѣренной небольшой скоростью (29·5 километровъ въ секунду) земли по ея орбите вокругъ солнца.

Чтобы остановиться на чемъ нибудь определенномъ, представьте себѣ два холодныхъ твердыхъ шара, каждый той же средней плотности, какъ земля, и диаметромъ въ половину солнечнаго, находящіеся въ покой, или почти въ покой, и отстоящіе другъ отъ друга на разстояніе, равное удвоенному разстоянію земли отъ солнца. Они упадутъ другъ на друга и столкнутся ровно въ полгода. Столкновеніе будетъ продолжаться около получаса, втеченіе котораго шары преобразуются въ бурно колеблющуюся, раскаленную добѣла, жидкую массу, разлетающуюся наружу отъ линіи¹⁾ движения до столкновенія и раздувающуюся до объема, въ нѣсколько разъ большаго, чѣмъ сумма первоначальныхъ объемовъ этихъ двухъ шаровъ²⁾. Сказать, какъ далеко разлетится эта жидкая масса во всѣ стороны отъ

¹⁾ Т. е. перпендикулярно къ этой линіи. (Прим. перев.).

²⁾ Такие инциденты, повидимому, иной разъ случаются во вселенной. «Иногда, говоритъ Лапласъ, наблюдали звѣзды, которая почти внезапно появлялись и затѣмъ исчезали, просвѣтивъ нѣсколько мѣсяцовъ съ самымъ яркимъ блескомъ. Такова была знаменитая звѣзда, наблюдавшаяся въ 1572 году, въ созвѣздіи Кассиопеи. Въ короткое время она превзошла яркостью самыя красивыя звѣзды и даже самого Юпитера; затѣмъ ея свѣтъ ослабѣлъ и она черезъ шестнадцать мѣсяцевъ послѣ ея открытія исчезла, не измѣнивъ мѣста на небѣ. Цвѣтъ ея испыталъ значительные измѣненія: она сначала была ярко-блѣгаго цвѣта, затѣмъ красновато-желтаго и, наконецъ, бѣло-свинцового, какъ Сатурнъ³⁾».

(Прим. автора).

³⁾ Laplace, *Système du Monde*, Oeuvres, т. VI, стр. 58. Томсонъ цитируетъ переводъ Гартэ [Harte's translation of Laplace's *System of the World*. Dublin, 1830]. (Прим. перев.).

линиі столкновенія, не представляется возможности. Движеніе слишкомъ сложно, чтобы можно было вполнѣ изслѣдоватъ его какимъ либо известнымъ математическимъ способомъ; но съ достаточнымъ терпѣніемъ математикъ былъ бы въ состояніи вычислить его съ иѣкоторымъ довольно большимъ приближеніемъ къ истинѣ. Разстояніе, достигнутое крайнимъ круговымъ валикомъ жидкой массы, было бы, вѣроятно, много меныше того разстоянія, которое прошелъ каждый шаръ до столкновенія, потому что постепенное движение молекулъ, составляющее тепло, въ которое при первомъ столкновеніи преобразовывается энергія первоначального паденія шаровъ, вѣроятно, достигаетъ около трехъ пятыхъ количества всей энергіи. Время движения жидкой массы въ стороны оть линіи столкновенія шаровъ было бы, вѣроятно, менѣе полугода, — по прошествію котораго жидкая масса должна начать обратное движение по направленію къ оси удара. Черезъ иѣкоторый промежутокъ времени, меныши, чѣмъ годъ, послѣ первого столкновенія жидкость снова будетъ въ состояніи наибольшаго скопленія вокругъ центра и этотъ разъ будетъ, вѣроятно, болѣе бурно колебаться, чѣмъ это было немедленно послѣ первого столкновенія; и она снова разлетится наружу, но на этотъ разъ вдоль по оси, по направленію къ тѣмъ мѣстамъ, изъ которыхъ упали другъ на друга эти два шара. Жидкость снова упадетъ внутрь и послѣ ряда затихающихъ, но все болѣе и болѣе быстрыхъ колебаній она затихнетъ, вѣроятно, по прошествію двухъ или трехъ лѣтъ, въ видѣ шарообразной звѣзды, обладающей почти такой же массой, тепломъ и яркостью, какъ наше теперешнее солнце, но отличающейся оть него тѣмъ, что оно не будетъ имѣть вращенія.

Мы предполагали, что два шара были въ покой, когда они стали падать другъ на друга съ разстояніемъ, равнаго діаметру земной орбиты. Предположите, теперь, что вмѣсто того, чтобы быть въ покой, шары двигались поперекъ по противоположнымъ направленіямъ съ относительной скоростью въ два (точнѣе 1·89) метра въ секунду. Моментъ количествъ движенія этихъ движеній вокругъ оси, проходящей черезъ

центръ тяжести этихъ двухъ шаровъ перпендикулярно къ ихъ траекторіямъ, какъ разъ равенъ моменту количествъ движений вращенія солнца вокругъ его оси. Элементарный и легко доказываемый законъ механики говоритъ намъ, что никакое взаимодѣйствіе между частями системы тѣль или одного тѣла крѣпкаго, гибкаго или жидкаго, не можетъ измѣнить момента количествъ движения всей системы. Поперечная скорость въ томъ случаѣ, который мы теперь предполагаемъ, такъ мала, что ни одна изъ главныхъ вѣшнихъ чертъ столкновенія и бурныхъ колебаній, слѣдующихъ за нимъ, которыхъ мы разсматривали, ни величина, ни тепло, ни яркость образующейся звѣзды не будутъ замѣтно измѣнены; но теперь вмѣсто того, чтобы быть лишеннай вращенія, звѣзда эта будетъ дѣлать одинъ оборотъ въ двадцать пять дней и будетъ такимъ образомъ во всѣхъ отношеніяхъ подобна нашему солнцу.

Если бы вмѣсто того, чтобы быть первоначально въ покой или двигаться съ выше разсмотрѣнными, небольшими поперечными скоростями, каждый шаръ имѣлъ поперечную скорость въ три четверти (или иѣсколько больше 0·71) километра въ секунду, шары избѣгли бы столкновенія и стали бы обращаться по эллипсамъ вокругъ ихъ общаго центра инерціи съ періодомъ въ одинъ годъ, почти задѣвая поверхность другъ друга каждый разъ, какъ они подходили бы къ ближайшимъ точкамъ своихъ орбитъ.

Если бы первоначальная поперечная скорость каждого шара была меныше, но не много меныше, чѣмъ 0·71 километра въ секунду, то шары задѣли бы другъ друга, произошло бы бурное столкновеніе и въ иѣсколько часовъ явились бы два яркихъ солнца и начали бы обращаться вокругъ общаго центра инерціи по длиннымъ эллиптическимъ орбитамъ въ періодъ, иѣсколько меныши одного года. Приливообразное взаимодѣйствіе между ними уменьшало бы эксцентритетеи ихъ орбитъ и заставило бы ихъ обоихъ, если бы оно продолжалось довольно долго, обращаться по круговымъ орбитамъ вокругъ ихъ центра инерціи съ разстояніемъ между ихъ поверхностями, равнымъ 6·44 діаметра каждого.

Предположите теперь,—выбирая опять частный случай, чтобы остановиться на чём нибудь определенномъ,—что двадцать девять миллионовъ холодныхъ твердыхъ шаровъ, каждый почти такой же массы, какъ луна, составляющихъ всѣ въ суммѣ массу, равную массѣ солнца, разбросаны какъ можно равномернѣе по поверхности сферы радиуса, равнаго взятому сто разъ радиусу земной орбиты, и что они оставлены въ абсолютномъ покой въ этомъ положеніи. Всѣ шары начнутъ падать по направлению къ центру сферы и встрѣтятся тамъ чрезъ двѣстѣ пятьдесятъ лѣтъ и тогда каждый изъ двадцати девяти миллионовъ шаровъ втечение получаса расплавится и температура его повысится на нѣсколько сотъ тысячъ или на миллионъ градусовъ Цельзія. Жидкая масса, такимъ образомъ образовавшаяся, вслѣдствіе этого чудовищнаго жара взорвется во всѣ стороны во внѣшнее пространство и превратится въ паръ или газъ. При первомъ разлѣтѣ этотъ газъ достигнетъ до разстоянія, значительно меньшаго, чѣмъ взятый сто разъ радиусъ земной орбиты. За этимъ послѣдуетъ рядъ колебаній наружу и внутрь, постепенно уменьшающихся, и этотъ раскаленный добѣла шаръ, поперемѣнно, такимъ образомъ, сжимающійся и расширяющійся, втечение, можетъ быть, трехъ или четырехъ сотъ лѣтъ уменьшится до размѣра шара, котораго радиусъ въ сорокъ¹⁾ разъ больше радиуса земной орбиты. Средняя плотность газообразной туманности, такимъ образомъ образовавшейся, была бы равна $(215 \times 40)^{-3}$ или $\frac{1}{636,000,000,000}$ средней плотности солнца, или $\frac{1}{454,000,000,000}$ плотности воды, или $\frac{1}{575,000,000}$ плотности нашего воздуха при температурѣ въ 10° Ц. Плотность въ ея центральныхъ частяхъ, почти равномерная на протяженіи нѣсколькихъ миллионовъ километровъ, была бы равна

¹⁾ Радиусъ постоянной шаровой газообразной туманности изъ какого нибудь однороднаго газа равенъ 40 процентамъ отъ радиуса той сферической поверхности, съ которой ея составныя части должны упасть къ ихъ настоящимъ положеніямъ въ туманности, чтобы имѣть ту же самую кинетическую энергию, какую имѣть туманность.

(Прим. автора).

(см. прим. 2 на стр. 282) $\frac{1}{20,000,000,000}$ плотности воды или $\frac{1}{25,000,000}$ плотности воздуха. Эта крайне малая плотность разъ въ шесть больше плотности кислорода и азота, остававшихся въ нѣкоторыхъ сосудахъ Боттомлея при выкачиваніи оттуда газовъ при экспериментальныхъ измѣреніяхъ количества тепла, испускаемаго исключительно излученіемъ изъ сильно нагрѣтыхъ тѣлъ. Если бы веществомъ туманности былъ кислородъ или азотъ или другой газъ или смѣсь газовъ, простыхъ или сложныхъ, удѣльной плотности, равной удѣльной плотности нашего воздуха, то температура въ центрѣ туманности была бы $51,200^{\circ}$ Ц. и средняя поступательная скорость молекулъ тамъ была бы 6·7 километра въ секунду, что равно $\sqrt{\frac{3}{7}}$ отъ 10·2,—скорости, приобрѣтаемой тѣломъ, падающимъ, не встрѣтчая препятствій, съ виѣшней поверхности туманообразной массы (съ разстояніемъ, равнаго взятому сорокъ разъ радиусу земной орбиты) къ ея центру.

Такимъ образомъ образовавшаяся газообразная туманность, стянулась бы въ нѣсколько миллионовъ лѣтъ, вслѣдствіе постояннаго излученія изъ себя тепла, до размѣровъ нашего теперешняго солнца, и у ней были бы точно такія же тепловыя и свѣтовыя свойства, но не было бы ни признака вращенія.

Главный моментъ количествъ движенія всей солнечной системы разъ въ восемнадцать больше момента количества движенія, относящагося къ вращенію солнца; причемъ семнадцать восемнадцатыхъ его приходятся на долю Юпитера, а одна восемнадцатая—на долю солнца, другія же тѣла не стоятъ принимать въ расчетъ при вычислении главнаго момента количествъ движенія¹⁾.

¹⁾ Не безынтересно привести полную таблицу механическихъ энергій солнечной системы, данную Томсономъ въ статьѣ того же названія (см. прим. 1 на стр. 245).

Энергіи, данные въ оригиналлй статьѣ (Math. Phys. Pap., 3, 15) въ фунто-футахъ, переведены въ килограммо-метры при посредствѣ множителя $0\cdot1382=0\cdot4535 \times 0\cdot3048$. При вычислении кинетическихъ энергій вращенія солнца и планетъ моменты инерціи ихъ приняты Томсономъ

	Потенциальная энергия тяготения къ поверхности солнца.		Кинетическая энергия вращения или обращения вокруг центра солнца.	
	Въ килограм-мо-метрахъ.	Въ годахъ солнечного тепла при настоящей скорости излучения.	Въ килограм-мо-метрахъ.	Въ годахъ солнечного тепла при настоящей скорости излучения.
Солнце . . .	—	—	$1,349,000 \times 10^{29}$	116 л. 6 д.
Воображаемая планета, массою въ 45×10^{29} килогрм. и у самой поверхности солнца.	0	0	46×10^{29}	1·44 „
Меркурій . . .	79×10^{32}	6 л. 214 д.	480×10^{29}	15·2 „
Венера . . .	964×10^{32}	83 „ 227 „	$3,186 \times 10^{29}$	98·5 „
Земля . . .	$1,102 \times 10^{32}$	94 „ 303 „	$2,548 \times 10^{29}$	80·7 „
Марсъ . . .	145×10^{32}	12 „ 252 „	221×10^{29}	7·0 „
Юпитеръ . . .	$371,600 \times 10^{32}$	32,240	$165,860 \times 10^{29}$	14 л. 144 „
Сатурнъ . . .	$111,200 \times 10^{32}$	9,650	$27,070 \times 10^{29}$	2 „ 127 „
Уранъ . . .	$18,570 \times 10^{32}$	1,610	$2,246 \times 10^{29}$	71·2 „
Нептунъ . . .	$21,770 \times 10^{32}$	1,890	$1,683 \times 10^{29}$	53·3 „
къ поверхности земли				
Луна	$0\cdot003934 \times 10^{32}$	3·0 час.	$0\cdot03244 \times 10^{29}$	1·48 мин.
Земля	—	—	$0\cdot20240 \times 10^{29}$	9·03 „
Итого . . .	$525,400 \times 10^{32}$	45,589 лѣть.	$1,552,000 \times 10^{29}$	134 года.

вследствие неравномѣрного распределенія плотности равными одной трети произведенія массы на квадратъ радиуса вмѣсто двухъ пятыхъ того же произведенія, какъ должно было бы быть, если бы плотность была вездѣ одинаковой.
 (Прим. перев.).

Теперь пусть эти двадцать девять миллионовъ лунъ, вмѣсто того, чтобы быть въ абсолютномъ покой въ началѣ, будуть всѣ даны съ нѣкоторымъ небольшимъ движениемъ, которое въ суммѣ обладало бы главнымъ моментомъ количествъ движения вокругъ нѣкоторой оси, равнымъ моменту количествъ движения солнечной системы, который мы только что рассматривали,—или значительно превосходящимъ его, чтобы уравновѣсить влиянія сопротивленія среды. Онъ будуть втечение двухсотъ пятидесяти лѣть падать, стремясь другъ къ другу, и, хотя не встрѣчаюсь точно въ центрѣ, какъ въ первомъ случаѣ, когда мы предполагали, что не было никакого первоначального движения, онъ тамъ такъ столпятся вмѣстѣ, что произойдутъ мириады столкновеній и почти каждый изъ двадцати девяти миллионовъ шаровъ будетъ расплавленъ и обращенъ въ паръ тепломъ отъ этихъ столкновеній. Порожденный этимъ паръ или газъ разлетится наружу и, послѣ нѣсколькихъ сотъ или тысячъ лѣть колебательного движения наружу и внутрь, превратится въ сплющенную вращающуюся туманность, которая будетъ простираться своимъ экваторіальнымъ радиусомъ далеко за орбиту Нептуна и обладать моментомъ количествъ движения, равнымъ или превосходящимъ моментъ количествъ движения солнечной системы. Это представляеть собой какъ разъ то начало, которое предположилъ Лапласъ въ своей туманной теоріи развитія солнечной системы,—теоріи, которая, будучи основана на естественной исторіи звѣздной вселенной, какъ она была наблюдана старшимъ Гершелемъ, и будучи завершена въ подробностяхъ остроуміемъ механическихъ суждений и геніальными воображеніемъ Лапласа, теперь обращена термодинамикой, по-видимому, въ необходимую истину, разъ мы сдѣляемъ только одно ненадежное предположеніе, что материали, составляющіе въ настоящее время мертвую матерію солнечной системы, существовали, подчиняясь законамъ мертвой матеріи, втечение сотни миллионовъ лѣть. Такимъ образомъ, быть можетъ на самомъ дѣлѣ эволюція, до известной степени автоматическая, солнечной системы отъ холодной матеріи, разсѣянной по пространству, къ настоящему очевидному порядку и красотѣ этой

системы, освѣщаемой и согрѣваемой ея блестящимъ солнцемъ, не представляетъ собою болѣе таинственнаго и трудно понимаемаго, чѣмъ то, что заключается въ процессѣ заводки¹⁾ часовъ и хода ихъ до остановки. Едва ли мнѣ нужно говорить, что начало и сохраненіе жизни на землѣ находится безусловно и безконечно за предѣлами всякихъ здравыхъ разсужденій въ механикѣ. Единственный вкладъ механики въ теоретическую биологію есть безусловное отрицаніе автоматического начала или автоматического сохраненія жизни.



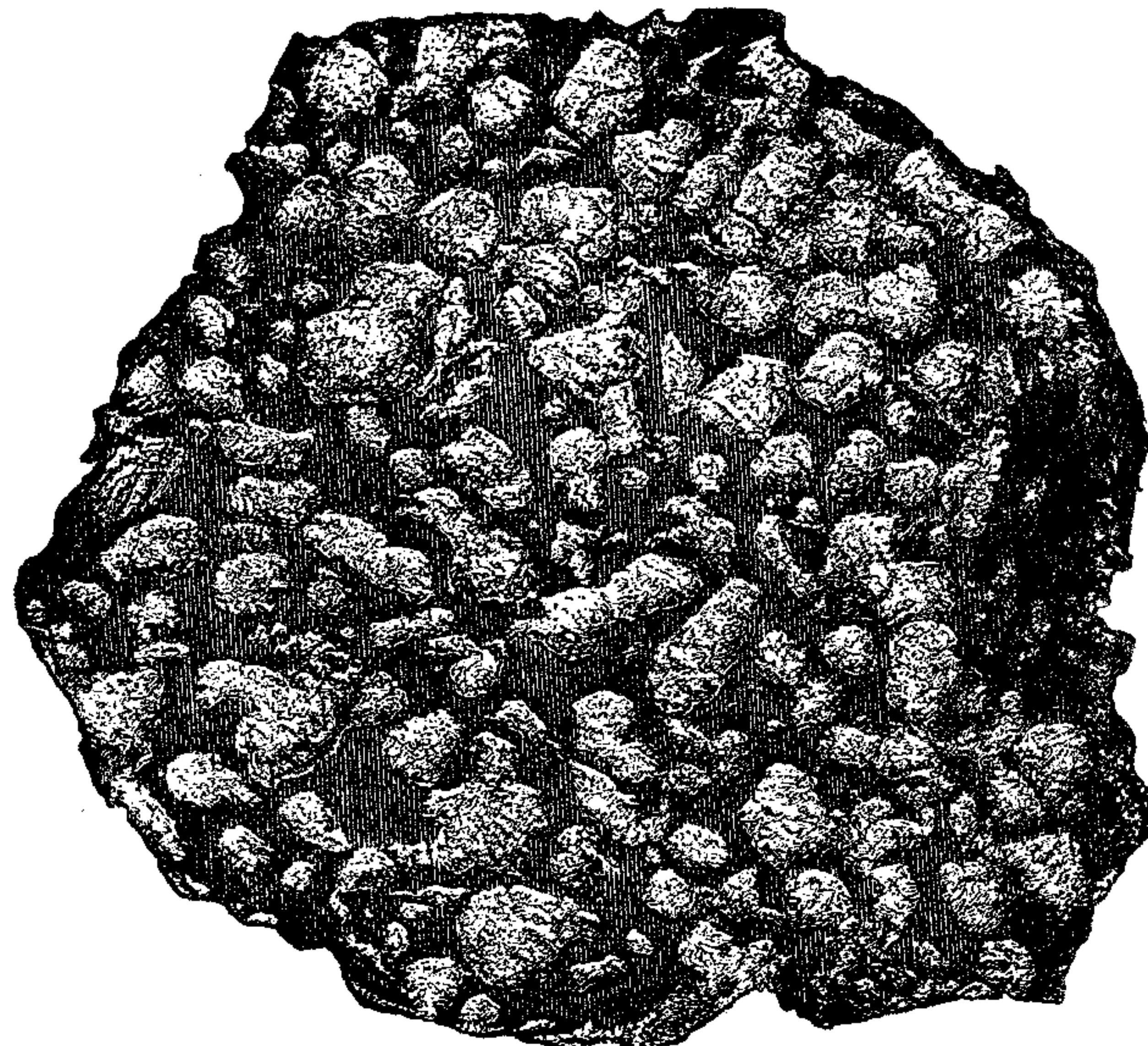
{ 5 сантиметровъ. }

Рис. 50.

Въ заключеніе я скажу только, что, если принять, что масса солнца составлена изъ матерьяловъ, которые находились далеко другъ отъ друга передъ тѣмъ, какъ солнце стало горячимъ, то непосредственно передъ накаленнымъ добѣла солнцемъ должны были существовать два тѣла, отличающіяся только по размѣрамъ и плотностямъ отъ тѣхъ, которыхъ мы здѣсь рассматривали, какъ примѣры; или такихъ тѣль могло быть нѣкоторое

¹⁾ Даже въ этомъ,—и во всѣхъ свойствахъ матеріи, которая играютъ въ этомъ роль,—достаточно, и даже болѣе, чѣмъ достаточно, таинственности для нашего ограниченного пониманія. Часовая пружина находится много дальше за предѣлами нашего пониманія, чѣмъ газообразная туманность.
(Прим. автора).

число, большее двухъ,—нѣкоторое конечное число,—самое большое — это число атомовъ въ теперешней массѣ солнца, — конечное число, которое должно, съ достаточной вѣроятностью, заключаться между 4×10^{57} и 140×10^{57} ,—числами, такъ же легко понимаемыми и воображаемыми, какъ числа 4 и 140. Непосредственными предшественниками блокадильного состоянія солнца могли быть всѣ составныя части его въ состояніи крайняго раздѣленія,—т. е. въ состояніи отдѣльныхъ атомовъ; ими могло быть любое меньшее число группъ атомовъ, составляющихъ мелкие кристаллы или группы кристалловъ, — такъ сказать, хлопья снѣга изъ матеріи; или ими могли быть комки матеріи, вродѣ щебенки; или вродѣ этого камня²⁾ (рис. 50),



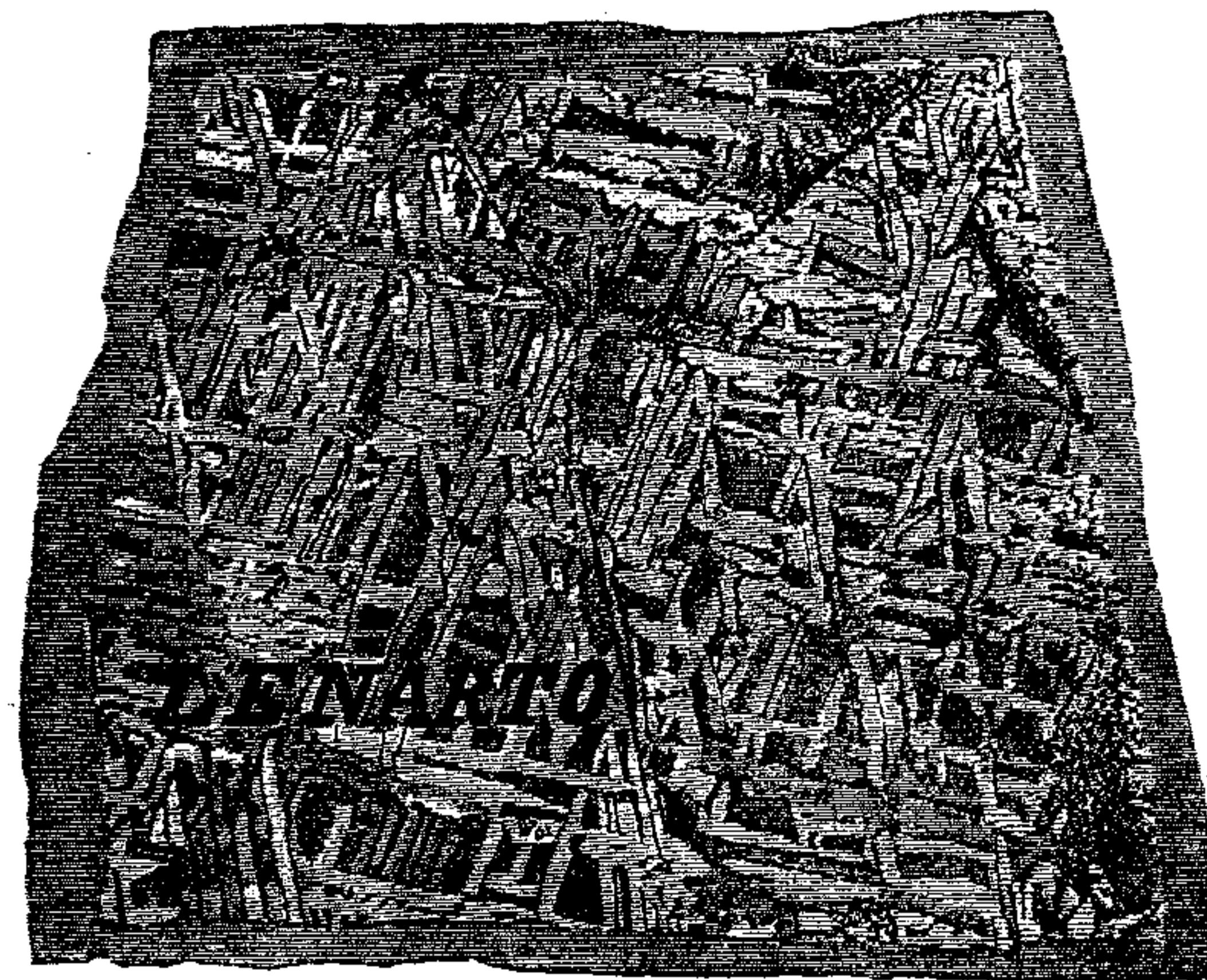
{ 13½ сантиметровъ. }

Рис. 51.

который вы могли бы по ошибкѣ принять за кусокъ щебня, но который въ дѣйствительности странствовалъ по небес-

²⁾ Эти три метеора находятся во владѣніи Гунтеровскаго музея (Hunterian Museum) Глазговскаго университета и клише рисунковъ 50, 51 и 52 были сняты съ настоящихъ экземпляровъ, любезно одолжен-

ному пространству до тѣхъ поръ, пока не упалъ на землю въ Пессилѣ (Possil), въ окрестностяхъ Глазго, 5-го апрѣля 1804 года; или вродѣ этого (рис. 51), который былъ найденъ въ пустынѣ Атакама, въ Южной Америкѣ, и который считаются упавшимъ тамъ съ неба,—осколокъ, составленный изъ желѣза и камня, который имѣеть такой видъ, какъ будто онъ отвердѣлъ изъ смѣси гравеля и расплавленного желѣза въ мѣстѣ, где была очень мала сила тяжести; или этотъ великолѣпно выкристаллизовавшійся кусокъ желѣза (рис. 52), плитка, вы-



9 $\frac{1}{4}$ сантиметровъ
Рис. 52.

рѣзанная изъ знаменитаго аэролита, который упалъ въ Ленарто, въ Венгрии ¹⁾; или этотъ удивительной формы образецъ ныхъ для этой цѣли хранителемъ музея, профессоромъ Юнгомъ. Экземпляръ, изображенный на рис. 50, находится въ коллекціи Гунтера, изображенный на рис. 51,—въ коллекціи Экка, а изображенный на рис. 52 —въ коллекціи Лэнфайна; шкала размѣровъ указана для каждого. Можно сдѣлать замѣчаніе, что рис. 51 изображаетъ сѣченіе метеорита, взятое въ плоскости самой длиной изъ трехъ прямоугольныхъ осей; причемъ светлые крапинки суть большие и хорошо образованные кристаллы оливина, вкрапленные въ матрицу изъ желѣза. На рисункѣ 52 нарисована прекрасная Видманштеттеновская отмѣтка, отличительная для всякаго метеорнаго желѣза и такъ ясно указанная въ извѣстномъ метеорите изъ Ленарто.

(Прим. автора).

¹⁾ Смотри предыдущее примѣчаніе

(два вида котораго даны на рис. 53 и 54), модель Миддльсбургскаго метеорита (любезно данная мнѣ профессоромъ А. С. Гершелемъ), имѣющая морщины, показывающія, какъ его рас-

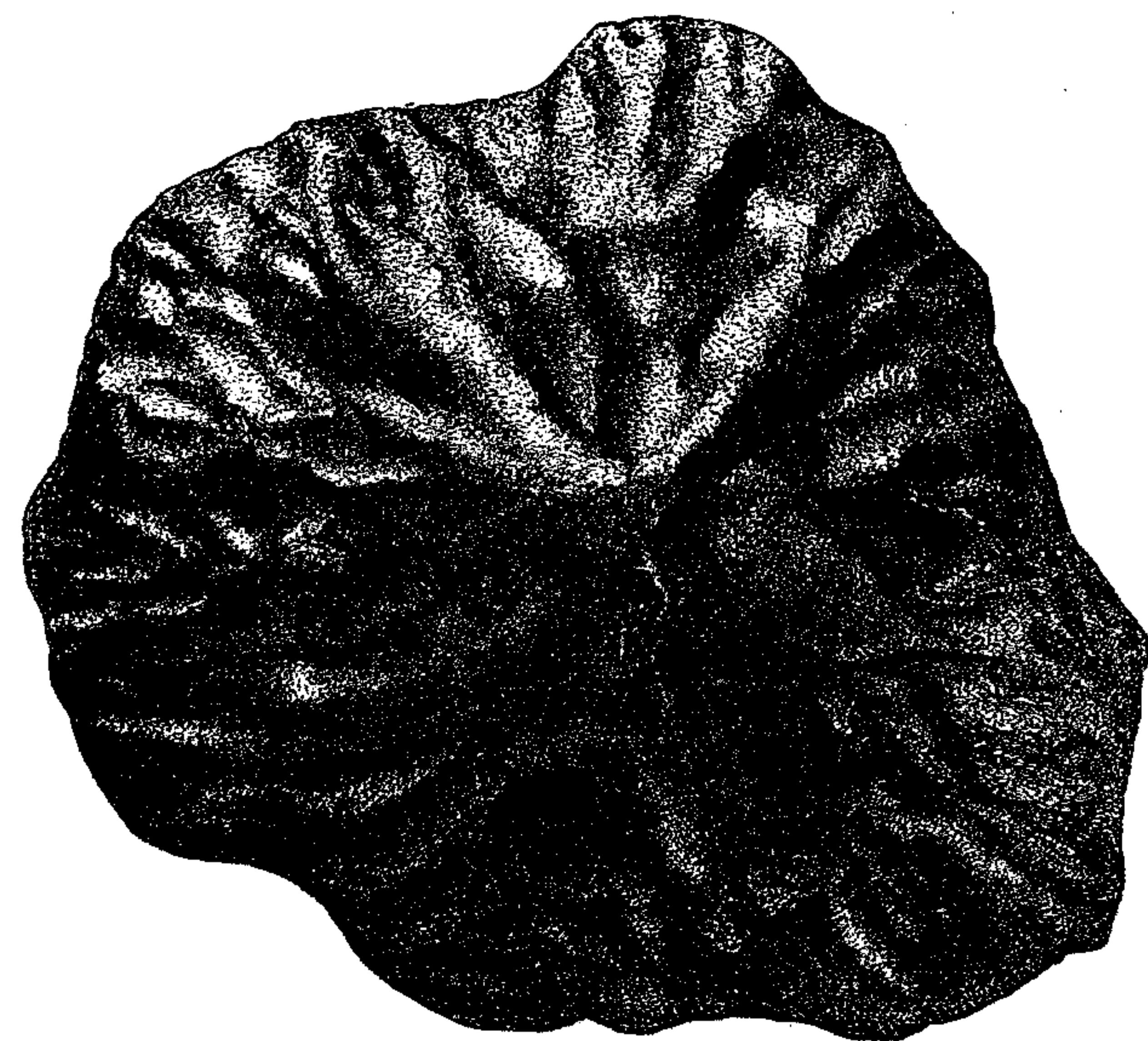


Рис. 53.

{ 15 сантиметровъ. }

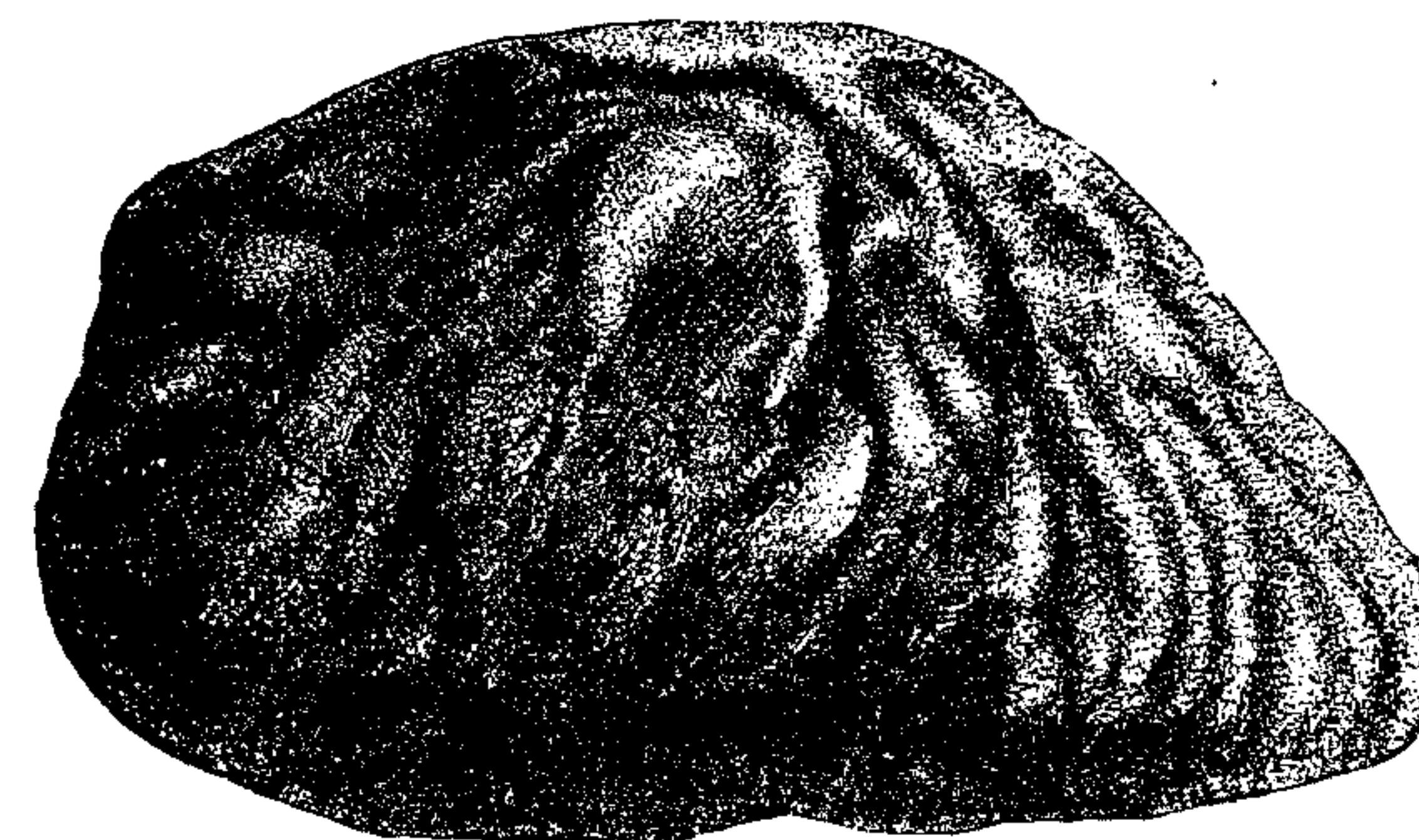


Рис. 54

плавленное вещество сбѣжало съ передней части его поверхности въ его окончательномъ полетѣ черезъ земную атмосферу,

когда видѣли его паденіе; 14 марта 1881 года въ 3 ч. 35 м. пополудни.

Для теоріи солнца безразлично, какое изъ этихъ различныхъ соединеній матеріи было непосредственнымъ предшественникомъ его раскаленнаго добра состоянія, но я никогда не могу думать объ этихъ материальныx предшественникахъ, не вспоминая вопроса, поставленнаго мнѣ тридцать лѣтъ назадъ покойнымъ епископомъ Юингомъ, епископомъ Арджиля и Острововъ (of Argyll and Isles): «неужели вы воображаете, что кусокъ вещества былъ такимъ, какъ онъ есть, съ самаго начала; что онъ былъ созданъ такимъ, какъ онъ есть, или что онъ былъ такимъ, какъ онъ есть, до тѣхъ поръ, пока онъ не упалъ на землю?» Я сказалъ ему, что я считаю, что солнце образовалось изъ метеорныхъ камней, но онъ не могъ удовлетвориться, пока не узналъ бы или не могъ бы представить себѣ, изъ какого рода камней. Я могъ только согласиться съ нимъ, чувствуя невозможнымъ представить себѣ, что какой либо изъ такихъ метеоритовъ, какъ тѣ, которые находятся теперь передъ вами, былъ такимъ, какъ онъ есть, втечение всего времени, или что материали, изъ которыхъ составилось солнце, были подобны этому куску все время до тѣхъ поръ, пока они не соединились вмѣстѣ и не стали горячими. Навѣрное, эта камень имѣть полную приключений исторію, но я не буду злоупотреблять вашимъ терпѣніемъ попыткой именно теперь начертать ее предположительно. Я только скажу, что мы не можемъ не согласиться съ общимъ мнѣніемъ, которое смотрить на метеориты, какъ на осколки отъ большихъ массъ; и мы не можемъ быть удовлетворены, пока не попытаемся вообразить себѣ, что представляли собой предшественники этихъ массъ.

Электрическія измѣренія.

(Рѣчь, произнесенная 17 марта 1876 года передъ секціей механики на собранихъ, засѣдавшихъ по случаю специальнной выставки коллекціи научныхъ приборовъ Лона [the Special Loan Collection of Scientific Apparatus] въ Саусъ-Кенсингтонскомъ музѣ, подъ предсѣдательствомъ д-ра К. В. Сименса).

Начало электрическихъ измѣреній представляютъ, по моему мнѣнію, измѣренія электростатическихъ силъ Робинсономъ въ Эдинбургѣ и Кулономъ въ Парижѣ. Великіе результаты, послѣдовавшіе изъ этихъ измѣреній, указываютъ, какъ важны точныя измѣренія для полнаго прогресса научныхъ знаній въ какой либо отрасли физики. Ученые, занимавшіеся раньше электричествомъ, просто описывали явленія,—притяженія и отталкиванія, сіянія и искры—и самымъ близкимъ приближеніемъ къ измѣренію, какое они дали намъ, была длина искры при извѣстныхъ обстоятельствахъ, причемъ другія обстоятельства, отъ которыхъ длина искры могла бы зависѣть, оставались неизмѣренными. Опытами Робинсона и Кулона было установленъ законъ электростатической силы, по которому два небольшихъ тѣла, наэлектризованныя каждое нѣкоторымъ постояннымъ количествомъ электричества, действуютъ другъ на друга съ силой притягательной или отталкивателной, зависящей отъ того, будутъ ли ихъ электричества сходны или не сходны, и измѣняющейся обратно пропорціонально квадрату разстоянія, при измѣненіи разстоянія между этими двумя тѣлами.

Въ физикѣ, вообще, при измѣреніи прибѣгаютъ къ тому или другому изъ двухъ методовъ:—къ методу приведенія къ нулю или, какъ его называютъ, къ методу нуля; и къ методу