



Тяготѣніе, какъ главный источникъ міровой энергіи.

Спеціальное сообщеніе К. Э. Цюльковского.

1. Общій подсчетъ энергіи сгущенія солнца.

По гипотезѣ Лапласа, солнце съ его планетами образовалось изъ обширной туманности черезъ ея сгущеніе.

Каждая частица этой туманности притягивалась въ силу Ньютонова тяготѣнія всѣми другими частицами. Отсюда было: во 1-хъ, сгущеніе туманности, во 2-хъ, увеличеніе частичной энергіи, являвшейся какъ результатъ работы тяготѣнія (сгущенія) и въ 3-хъ, усиленное лучеиспусканіе, т. е. разсѣяніе этой энергіи въ безконечномъ эфирномъ пространствѣ.

Если-бы ничто не мѣшало этому сгущенію, то всѣ точки туманности упали бы въ одинъ общій центръ и туманность быстро сгустилась бы въ плотную массу, при чемъ выдѣлилось бы въ короткое время все количество развѣтой при этомъ энергіи. Но, во первыхъ, матерія имѣетъ упругость, которая еще болѣе увеличивается при повышеніи температуры и которая препятствуетъ до нѣкоторой степени уплотненію матеріи, во вторыхъ, и эфирное пространство можетъ принять на себя только ограниченное количество (въ единицу времени) живой силы, уносимой ею въ безпредѣльное пространство.

Изъ этого видно, что сгущеніе туманности могло совершаться только постепенно.

Опредѣлимъ работу тяготѣнія, когда безконечно разрѣженный туманъ сгущается въ плотный шаръ.

У всякаго видимо-неподвижнаго тѣла частицы находятся въ незамѣтномъ для глазъ движеніи. Это — частичная энергія; она ощущается нами въ видѣ свѣта и теплоты. Атомы неподвижной туманности также могутъ имѣть подобное движеніе. Скорость колебаній атомовъ сгущающейся матеріи можетъ непрерывно уменьшаться, вслѣдствіе того, что выдѣляется въ пространство энергія въ видѣ лучей (свѣтъ, теплота, химическое дѣйствіе); она можетъ увеличиваться, и тогда часть работы тяготѣнія поглотится самою туманностію; между атомами и частицами можетъ быть также особое сближеніе, которое называется то химическимъ соединеніемъ, то сгущеніемъ въ жидкость, то отвердженіемъ и проч. Оставимъ пока въ сторонѣ энергію, выдѣляемую всѣми этими сближеніями втораго порядка, а также энергію, поглощаемую или выдѣляемую туманностію при измѣненіи скорости ея атомовъ; опредѣлимъ лишь работу *общаго* сгущенія, основываясь на Ньютоновомъ законѣ всемірнаго притяженія и предполагая, что сгустившаяся матерія достигла равномерной плотности. Это послѣднее положеніе болѣе или менѣе далеко отъ истины, такъ какъ въ центрѣ планеты или солнца давленіе, а, слѣдовательно, и плотность матеріи больше, чѣмъ въ периферіи. Но принять въ расчетъ это обстоятельство невозможно, за неимѣніемъ закона уплотненія матеріи съ приближеніемъ къ центру. Во всякомъ случаѣ, дѣйствительно выдѣленная работа тяготѣнія болѣе той, чѣмъ которую мы опредѣлимъ, предполагая равномерное уплотненіе.

Итакъ, на предыдущихъ основаніяхъ выведемъ формулу, по которой вычислимъ работу тяготѣнія, выдѣленную солнцемъ въ формѣ эфирныхъ вибрацій отъ давно прошедшихъ временъ до настоящаго времени.

Нашу задачу удобнѣе выполнить, идя обратнымъ путемъ, т. е.: имѣемъ плотный шаръ — солнце, обратимъ его въ туманъ, или разрѣдимъ его матерію до безконечности. Какая потребуется для этого работа, такая и обратно выдѣлится при сгущеніи тумана въ плотную массу.

Возьмемъ сначала единицу массы съ его поверхности и опредѣлимъ работу ея удаленія въ безконечность.

Такъ какъ механика показываетъ, что шаръ, въ отношеніи притяженія, дѣйствуетъ такъ, какъ будто вся его масса была сосредоточена въ его центрѣ, то притяженіе массовой единицы на разстояніи (y) отъ центра будетъ равно

$$\text{№ 1...} \quad \frac{k \cdot M}{y^2} = \frac{4 \cdot \pi}{3 \cdot y^2} \cdot k d x^2,$$

гдѣ k — есть притяженіе единицы вещества на разстояніи единицы, M — масса шара, x — его радіусъ, d — его плотность; слѣдовательно, дифференціалъ работы dp — будетъ равенъ

$$\text{№ 2...} \quad dp = \frac{4}{3} \pi \cdot k d x^2 \frac{dy}{y^2}.$$

Интегрируя относительно y , найдемъ:

$$\text{№ 3...} \quad p = -\frac{4}{3} \pi \cdot k d \frac{x^2}{y} + \text{пост.}$$

Если $x = y$, т. е. y равняется радіусу планеты, то $p = 0$; поэтому:

$$\text{№ 4...} \quad p = 0 = -\frac{4}{3} \pi \cdot k \cdot d x^2 + \text{пост.};$$

вычитая изъ № 3 № 4, получимъ:

$$\text{№ 5...} \quad p = \frac{4}{3} \pi \cdot k \cdot d \cdot x^2 \left(1 - \frac{x}{y}\right).$$

Полагая тутъ $y = \infty$, найдемъ:

$$\text{№ 6...} \quad p = \frac{4}{3} \pi \cdot k d x^2.$$

Удалимъ съ поверхности шара въ безконечность его тонкій наружный сферическій слой и расположимъ удаленную въ безконечность матерію въ видѣ сферы, концентрической съ шаромъ. При этомъ еще совершается второстепенная работа превращенія малой сферы въ большую, т. е. раздробленіе ея

частиц и удаление их другъ отъ друга; по такъ какъ эта работа есть безконечно малое второго порядка, то величиною ея можно пренебречь. Затѣмъ, удаляемъ также второй сферическій слой и располагаемъ его, какъ первый, но не выходя изъ предѣловъ предыдущаго; затѣмъ — третій и такъ далѣе. Замѣтимъ, что на работу удаления каждаго слоя не могутъ имѣть никакого вліянія всѣ внѣ его находящіеся слои, — сколько бы ихъ ни было; это есть одно изъ слѣдствій закона тяготѣнія, разбираемыхъ въ курсахъ механики; такъ что работа удаления каждаго слоя пропорціональна его массѣ, т. е.

$$\text{№ 7...} \quad 4\pi \cdot d \cdot x^2 dx.$$

Такимъ образомъ, можемъ положить на основаніи № 6, что дифференціалъ полной работы разложенія шара въ туманъ равенъ

$$\text{№ 8...} \quad dp = \left(4\pi x^2 \cdot d \cdot dx \right) \cdot \left(\frac{4}{3} \pi \cdot k \cdot d \cdot x^3 \right) = \\ = \frac{16}{3} \pi^2 d^2 k x^3 dx.$$

Интегрируя это выраженіе, найдемъ:

$$\text{№ 9...} \quad p = \frac{16}{15} \pi^2 d^2 k x^5.$$

(постоянное = 0).

Изъ способа образованія тумана, а также и изъ другихъ соображеній, не приводимыхъ здѣсь, видно, что туманность наша въ различныхъ точкахъ можетъ имѣть плотность весьма разнообразную, также и форма ея, будучи безконечнаго объема, можетъ быть совершенно произвольна; ни плотность, ни форма безконечно разрѣженной матеріи не имѣютъ никакого вліянія на количество работы сгущенія вліяніемъ тяготѣнія.

Примѣняя формулу № 9 къ солнцу, вычислимъ

$$\text{№ 10...} \quad p = 25 \cdot 10^{36} \text{ тонно-метровъ.}$$

На сколько бы времени хватило всей этой энергіи солнца, выдѣленной въ прошедшемъ, если бы оно и прежде ежегодно испускало то количество энергіи, какое оно испускаетъ теперь въ видѣ тепла, свѣта, химической энергіи и проч.?

Основываясь на числѣ Лянгеля (30), которое показываетъ сумму калорій (калорія — количество тепла, необходимое для нагрѣванія килограмма воды на 1° Цельсія), получаемыхъ квадратнымъ метромъ освѣщенной солнцемъ поверхности, нормальной къ направленію его лучей, въ продолженіи минуты и, конечно, на разстояніи земли, — найдемъ, что ежегодный расходъ энергіи солнца выразится числомъ

$$\text{№ 11...} \quad 2 \cdot 10^{30} \text{ тонно-метровъ.}$$

Столько энергіи теряетъ солнце ежегодно, при чемъ лишь ничтожная часть ея падаетъ на планеты въ формѣ лучей, а остальная ея громадная часть располагается въ безпредѣльномъ пространствѣ.

Раздѣливъ всю энергію работы тяготѣнія (№ 10) на ежегодный расходъ (№ 11), найдемъ:

$$(25 \cdot 10^{36}) : (2 \cdot 10^{30}) = 12,5 \cdot 10^6, \text{ т. е.}$$

$$\text{№ 12...} \quad 12\frac{1}{2} \text{ милліоновъ лѣтъ.}$$

Какъ я уже говорилъ, возможное взятіе температуры при сгущеніи туманности, равно какъ физическіе и химическіе процессы, не приняты здѣсь во вниманіе; скоро я покажу ихъ сравнительное значеніе. Эти процессы, по всей вѣроятности, будучи процессами соединенія частицъ, а не разложенія ихъ, равно какъ и уплотненіе массы солнца къ центру, должны бы увеличить кинетическую энергію солнца и число лѣтъ его сіянія.

II. Зависимость работы сгущенія отъ размѣровъ солнца.

Обратимся къ тому давно прошедшему времени, когда солнечный туманъ, ступаясь, достигъ размѣровъ солнечной системы, которой, разумеется, въ то время не было въ настоящемъ ея видѣ.

Ужь не совершилъ-ли въ разсматриваемый моментъ этотъ гигантскій шаръ большую часть вычисленной нами работы тяготѣнія?

Для рѣшенія этой задачи преобразуемъ формулу № 9. Масса солнца, или туманности, изъ которой оно образовалось, есть величина постоянная М; поэтому положимъ:

$$\frac{4}{3} \pi \cdot x^3 \cdot d = M \dots \quad \text{№ 13}$$

Откуда

$$d = \frac{3M}{4\pi \cdot x^3} \dots \quad \text{№ 14}$$

Исключая d изъ уравненія № 9, получимъ:

$$p = \frac{3k}{5x} \cdot M^2 \dots \quad \text{№ 15}$$

Слѣдовательно, работа, совершенная болѣе или менѣе сгустившеюся туманностью, имѣющей постоянную массу (М), обратно-пропорціональна ея радіусу x. А такъ какъ разстояніе дальнѣйшей изъ извѣстныхъ планетъ въ 30 разъ больше разстоянія земли до солнца, или въ 6430 разъ больше радіуса теперешняго солнца, то туманность величиною въ солнечную систему выдѣлила въ своемъ прошедшемъ работу въ 6430 разъ меньшую той, которую уже выдѣлило современное намъ солнце и которой, по вычисленію, хватаетъ на 12½ милліоновъ лѣтъ равномѣрнаго лучеиспусканія теперешней силы.

№ 16... Стало быть — ступилось ли солнце изъ туманности, буквально не имѣющей границъ, или ступилось оно изъ туманности, имѣющей размѣры солнечной системы, — это почти совершенно безразлично въ отношеніи количества выдѣленной имъ энергіи.

№ 17... Составляю таблицу, которая показываетъ:

- 1) Относительные размѣры солнца по мѣрѣ его сгущенія;
- 2) Соотвѣтствующіе углы, подъ которыми видно солнце съ Земли.
- 3) Энергію, уже выдѣленную имъ въ пространство;
- 4) Энергію, которую осталось ему еще выдѣлить до полученія настоящей, извѣстной намъ величины (30'); энергія эта выражена числомъ тысячъ лѣтъ горѣнія солнца, или, точнѣе, его лучеиспусканія, предполагая, что оно постоянно.

№ 17.

Радіусъ солнца въ радіусахъ настоящаго солнца.	Уголъ солнца съ земли въ минутахъ и градусахъ.	Работа выдѣленная въ тысячахъ лѣтъ лучеиспусканія.	Работа оставшаяся.
6.480	—	2	12.498
100	—	125	12.375
50	—	250	12.250
20	10°	625	11.575
10	5°	1.250	11.250
5	2½°	2.500	10.000
2	1°	6.250	6.250
1½	45'	8.333	4.167
1	30'	12.500	0

Основываясь на таблицѣ и на гипотезѣ равномѣрнаго лучеиспусканія, или постоянной ежегодной потерѣ энергіи, можно сказать:

Съ того времени, когда діаметръ солнца былъ въ 1½ раза больше настоящаго, или когда онъ видѣнъ былъ съ земли подъ угломъ въ 45 минутъ, — съ того времени до настоящаго, когда солнце мы видимъ подъ угломъ въ 30', прошло болѣе 4 милліоновъ лѣтъ, въ теченіи которыхъ планеты и другія окружающія солнце тѣла освѣщались съ тою-же силою, какъ и теперь; — съ того времени, когда діаметръ солнца былъ вдвое больше и когда онъ казался въ 1°, — до настоящаго времени солнце лучеиспускало 6¼ милліоновъ лѣтъ; тутъ выдѣлилось столько энергіи, сколько оно уже выдѣлило отъ безконечно давно прошедшихъ временъ до начала горѣнія этого одноградусаго солнца; — съ того времени, когда діаметръ былъ въ пять разъ больше и солнце было видно подъ угломъ въ 2½ градуса, — оно сіяло до настоящаго времени 10 милліоновъ лѣтъ.

Итак, солнечная система около десяти миллионов летъ освѣщается, въ смыслѣ относительномъ, довольно маленькимъ солнцемъ.

Впрочемъ, вычисленное нами время сиянія солнца нельзя считать даже приближеннымъ, уже по одному тому, что рѣшительно невозможно предположить, чтобы и необъятный туманъ и современное солнце излучали одно и тоже количество энергіи; быть можетъ холодный туманъ скупо излучалъ энергію и медленно сжимался и солнечная система въ состояніи туманности жила не миллионы, а билліоны лѣтъ. Могло случиться и наоборотъ—необъятная туманность, благодаря своей безконечно большой поверхности, теряла больше энергіи въ каждую единицу времени, чѣмъ современное солнце. Тогда процессъ сгущенія протекалъ скорѣе и число лѣтъ сиянія солнца слѣдовало бы уменьшить. Здѣсь нѣтъ основаній для точки разсчета...

Тѣ же формулы мы можемъ примѣнять къ рѣшенію подобныхъ вопросовъ относительно планетъ. Выбираю небесныя тѣла, наиболѣе разнящіеся между собою по размѣрамъ, массамъ и плотностямъ:

№ 18.

	Радиусы.	Работа въ тонно-метрахъ.	Время.	
Солнце	112	25.10 ³⁶	12.500.000 лѣтъ	12.500.000 лѣтъ
Юпитеръ	11	23.10 ³¹	115 "	11.500 "
Земля	1	22.10 ²⁷	4 сутокъ	138 "
Луна	0,27	11.10 ²⁴	2,88 минутъ	320 дней

Первый вертикальный столбецъ предлагаемой таблицы содержать радиусы небесныхъ тѣлъ, при чемъ радиусъ земли принять за единицу; второй выражаетъ въ тонно-метрахъ работу тяготѣнія небесныхъ тѣлъ, уже совершенную при образованіи ихъ изъ туманностей; третій — показываетъ, насколько лѣтъ, сутокъ или минутъ хватило бы энергіи, выдѣленной при сгущеніи, если-бы планета испускала то же ежедневное количество энергіи, какъ и солнце; напр., земля-бы горѣла всего четверо сутокъ, а луна только три минуты; четвертый — опредѣляетъ время лучеиспусканія планеты, если допустить, что количество испускаемой энергіи въ единицу времени пропорціонально поверхности небеснаго тѣла. Тогда земля сіяла-бы подобно маленькому солнцу уже не четверо сутокъ, а цѣлыхъ 138 лѣтъ; луна—почти годъ, а массивный Юпитеръ 11.500 лѣтъ.

Предположимъ, что лучеиспусканіе небесныхъ тѣлъ, равное по интенсивности теперешнему лучеиспусканію солнца, началось одновременно; тогда, почти мгновенно, потухнуть и отвердѣютъ аэролиты и астероиды; затѣмъ сгорятъ Луна, Меркурій, Марсъ и другіе малые небесныя тѣла; лѣтъ черезъ полтора-ста сгорятъ Венера и Земля; по истеченіи 13 тысячъ лѣтъ та-же судьба постигнетъ остальные большія планеты: Уранъ, Нептунъ, Сатурнъ и Юпитеръ; а солнцу еще осталось лучеиспускать болѣе 12 миллионовъ лѣтъ. Если-бы все было такъ просто, какъ мы предполагаемъ, то, конечно, планетная жизнь началась бы около 12 миллионовъ лѣтъ тому назадъ. Впрочемъ, здѣсь основанія для числоваго расчета слишкомъ слабы для того, чтобы этотъ выводъ принять безусловно.

III. Роль вращенія солнца въ судьбахъ энергіи.

Въ предыдущемъ не приняты въ соображеніе ни вращеніе туманности, изъ которой образовались небесныя тѣла, ни химическая энергія ихъ, но я сейчасъ покажу, какъ мало измѣнятся приведенныя мною числа для такихъ тѣлъ, какъ солнце или еще большей массы, если даже принять всѣ эти пропущенныя условія въ возможно преувеличенномъ видѣ.

Солнце теперь имѣетъ вращеніе, вѣроятно, потому, что туманность, изъ которой оно образовалось, имѣла вращеніе. Само-же собою, т. е. безъ участія *внѣшнихъ* силъ, солнце, какъ и всякое другое тѣло, не въ состояніи приобрести вращательнаго движенія. Но медленное вращеніе, и безъ участія внѣшнихъ т. е. внѣ туманности находящихся силъ, можетъ сдѣлаться очень быстрымъ и обратно.

Механика учитъ, что угловая скорость вращенія тѣла, измѣняющаго свою форму и размѣръ, но не массу, — подѣляемъ внутреннѣйшихъ силъ, — обратно пропорціональна его моменту инерціи. Моментъ инерціи туманнаго солнца былъ громаденъ и потому туманность имѣла безконечно-слабое вращеніе.

Когда солнцу оставалось лучеиспускать до настоящаго времени 10 миллионовъ лѣтъ, оно имѣло поперечникъ, въ 5 разъ болѣе настоящаго. Моментъ инерціи шара постоянной массы, по механикѣ пропорціоналенъ квадрату его радиуса; слѣдовательно, моментъ инерціи тогдашняго солнца былъ въ 25 разъ больше момента теперешняго, поэтому и угловая скорость прежняго солнца была въ 25 разъ меньше угловой скорости нынѣшняго. Оно дѣлало полный оборотъ вокругъ своей оси уже не въ 25½ дней, какъ теперь, а въ 637 дней, т. е. почти въ 2 года.

Механика также показываетъ, что работа вращенія перемѣннаго тѣла, напр. солнца, обратно пропорціональна моменту инерціи его. А такъ какъ туманность, которую бы форму она ни имѣла, должна имѣть, благодаря своимъ размѣрамъ, огромный моментъ инерціи въ сравненіи съ моментомъ инерціи современнаго намъ солнца, то и энергія туманности, зависящая отъ ея вращенія, должна быть чрезвычайно мала сравнительно съ вращательною энергією настоящаго солнца. Изъ этого видно, что и абсолютная вращательная скорость всѣхъ точекъ туманности была безконечно мала; но, по мѣрѣ сгущенія, какъ абсолютная скорость ея, такъ и живая сила постепенно возрастала. Такъ работа вращенія солнца 10 миллионовъ лѣтъ тому назадъ была въ 25 разъ меньше, чѣмъ теперь, а абсолютная скорость частицъ, говоря про механическую скорость, въ 5 разъ меньше.

Такъ какъ работу вращенія туманности можно считать почти нулемъ, то спрашивается: изъ какихъ-же источниковъ получило солнце свою теперешнюю, довольно значительную, живую силу вращенія?

Она всецѣло приобретена насчетъ той работы тяготѣнія, которой по нашему вычисленію хватаетъ на 12½ миллионовъ лѣтъ непрерывнаго лучеиспусканія теперешней силы.

Часть этой работы пошла на сообщеніе извѣстнаго намъ вращенія солнца, и послѣднее, вслѣдствіе этого, не въ состояніи лучеиспускать 12½ миллионовъ лѣтъ, а нѣсколько менѣе. Но велика-ли работа вращенія солнечныхъ частицъ? Зная, что экваторіальныя точки солнца имѣютъ скорость около 2 километровъ въ 1 секунду, посредствомъ небольшого вычисленія найдемъ, что живая сила вращенія солнца равна (18.10³¹)...

№ 19, т. е. она поглотила не болѣе $\frac{1}{150.000}$ части полной работы тяготѣнія (25.10³⁶).

Это уменьшить время сиянія на 84 года, слѣдовательно на величину, сравнительно ничтожную.

Планеты также приобрѣли вращеніе насчетъ работы тяготѣнія. Вращеніе Юпитера, напр., поглотило $\frac{1}{38}$ часть работы его сгущенія изъ тумана; вращеніе земли поглотило $\frac{1}{888}$ часть работы сгущенія земли.

(До слѣд. №).

К. Цюмковскій.





Ленинградский Круг любителей Физики и Астрономии.

Тяготѣніе, какъ главный источникъ міровой энергіи.

Спеціальное сообщеніе К. Э. Циолковского.

IV. Сравненіе энергіи химическихъ процессовъ съ полною энергіею сгущенія солнца и планетъ.

Химическіе процессы, конечно, должны увеличивать время лучеиспусканія небесныхъ тѣлъ.

Наибольшее количество тепла или энергіи получается, насколько извѣстно химикамъ, при соединеніи водорода съ кислородомъ въ пропорціи, достаточной для образованія воды. При этомъ на тонну гремучаго газа выдѣляется столько тепла, что его достаточно для нагреванія 3830 тоннъ воды на 1° Цельсія; это соотвѣтствуетъ механической работѣ въ 1.624.000 тонно-метровъ. При образованіи же солнца изъ туманности, вліяніемъ одного всемірнаго притяженія, одна тонна солнечной массы совершаетъ средній числѣмъ работу, равную 12.126.300.000 тонно-метрамъ. Слѣдовательно, работа тяготѣнія, при сгущеніи космическаго тумана въ солнечный шаръ, въ 7467 разъ больше работы сильнѣйшей изъ извѣстныхъ намъ химическихъ реакцій.

Если бы солнце состояло изъ гремучаго газа, сжатого до плотности солнца, то оно сгорѣло-бы, допуская постоянный его объемъ и плотности, т. е. устраняя энергію тяготѣнія, — въ 7467 разъ скорѣе, чѣмъ силою одного послѣдняго, или не болѣе, чѣмъ въ 2000 лѣтъ. Впрочемъ, слѣдуетъ имѣть въ виду, что энергія сгущенія, приходящаяся на единицу массы, вполне зависитъ отъ массы и размѣровъ неб. тѣла, какъ это можно судить по прилагаемой таблицѣ:

	Радіусъ.	Средняя работа сгущенія единицы въ тонно-метрахъ.	Тоже гремучаго газа.	Отношеніе.
Солнце	112	12.126.300.000	1.624.000	7.467
Юпитеръ	11	116.000.000	1.624.000	71,4
Земля	1	3.820.000	1.624.000	2,35
Луна	0,27	160.000	1.624.000	0,1

Второй столбецъ приводимой таблицы показываетъ среднюю работу сгущенія массовой единицы (тонна) небеснаго тѣла вліяніемъ одного тяготѣнія; числа этого столбца получены черезъ дѣленіе полной энергіи сгущенія тѣла на его массу; третій столбецъ содержитъ энергію химическаго сродства тонны гремучаго газа; четвертый — показываетъ отношеніе второго столбца къ третьему. Изъ таблицы этой видно, что малые небесныя тѣла на каждую массовую единицу своего вещества выдѣляютъ, при сгущеніи вліяніемъ тяготѣнія, меньше энергіи, чѣмъ большія, такъ что для луны работа сгущенія выдѣляетъ энергію уже въ 10 разъ меньше, чѣмъ горѣніе гремучаго газа, взятаго въ массѣ, равной массѣ луны

V. Общая теорія энергіи сгущенія.

Молекулярная работа, выдѣляемая или поглощаемая тѣломъ при какомъ-нибудь физическомъ или химическомъ процессѣ, прямо пропорціональна его массѣ, и на единицу послѣдней приходится постоянное количество тепла или другой какой-нибудь молекулярной энергіи. Напр., на массовую единицу водянаго пара, при его сгущеніи въ воду, получается 537 калорій, что эквивалентно 227.700 тонно-метрамъ работы; на массовую единицу соединенія кислорода и обыкновеннаго древеснаго угля, при образованіи углекислоты, выдѣляется 2182 калорій, что соотвѣтствуетъ 925.000 тонно-метрамъ работы. Не то — съ явленіемъ образованія плотной матеріи изъ космическаго тумана, или вообще съ явленіемъ сжатія планеты въ извѣстное число разъ. Здѣсь вліяніемъ одного Ньютонова всемірнаго тя-

готѣнія на массовую единицу сгущенной планеты выдѣляется энергія, далеко не постоянной величины.

Представимъ себѣ рядъ независимыхъ другъ отъ друга туманностей различныхъ массъ; каждая сгущается и выдѣляетъ энергію. Допустимъ что онѣ сгустились до одной и той же плотности (напр. плотности земли) и образовали равноплотныя по всей массѣ сферы. Можно доказать, въ этомъ случаѣ, 1) что количество энергіи, выдѣленной каждой единицей массы сгустившейся туманности, пропорціонально квадрату радіуса образованной сферы и 2) что то же количество энергіи, выдѣляемой единицей массы при одинаковомъ утлотненіи (напр. въ 2 раза) уже образованныхъ сферъ, пропорціональна также квадрату радіуса образовавшейся планеты, или же — массѣ туманности въ степени $\frac{2}{3}$.

1) Дѣйствительно, раздѣливъ уравн. № 9 на массу (М) планеты, найдемъ:

$$P : M = \frac{4}{5} \pi k d x^3 \dots \quad \text{№ 21}$$

что и нужно было доказать.

2) Далѣе: — уравненіе

$$\text{№ 15} \dots \quad P = \frac{3 \cdot k}{5x} \cdot M^2$$

показываетъ работу сгущенія планеты постоянной массы (М) и переменнаго радіуса (x); положимъ, что космическій туманъ сгустился до радіуса x_1 , тогда тяготѣніе совершитъ работу

$$\text{№ 22} \dots \quad P_1 = \frac{3}{5} \cdot \frac{k}{x_1} \cdot M^2;$$

положимъ что тотъ же туманъ сгустился до радіуса x_2 , который больше x_1 тогда;

$$P_2 = \frac{3}{5} \cdot \frac{k}{x_2} \cdot M^2 \dots \quad \text{№ 23}$$

разница между той и другой работой

$$\text{№ 24} \dots \quad P_1 - P_2 = \frac{3}{5} k \cdot M^2 \left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right)$$

покажетъ, очевидно, работу сгущенія взятой массы отъ радіуса x_2 до радіуса x_1 . Раздѣливъ почленно уравн. № 24 на массу М, которая равна

$$\frac{4}{3} \pi x^3 d,$$

получимъ работу, приходящуюся на массовую единицу:

$$\begin{aligned} \frac{P_1 - P_2}{M} &= \frac{3}{5} \cdot K \cdot M \left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right) = \frac{4}{5} \pi k d x^3 \left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right) = \\ &= \frac{4}{5} \pi k d x^2 \left(\frac{x}{x_1} - \frac{x}{x_2} \right) \dots \quad \text{№ 25} \end{aligned}$$

Изъ этой формулы найдемъ, что, при постоянствѣ отношеній

$$\frac{x}{x_1} = a \text{ и } \frac{x}{x_2} = b$$

и значитъ при постоянствѣ отношенія

$$\frac{x}{x_1} : \frac{x}{x_2} = \frac{a}{b} = \frac{x_2}{x_1}, \dots \quad \text{№ 26}$$

работа массовой единицы планеты пропорциональна (x^3); так что не только при сгущении планеты из тумана, но и при *определенном сокращении* уже готовой планеты, работа тяготения, приходящаяся на массовую единицу, пропорциональна квадрату ее радиуса, т. е. массе в степени $\left(\frac{2}{3}\right)$.

Радиус планеты или масса туманности может быть так велика, что работа сгущения одной ее массовой единицы может превзойти коэффициент работы всякой химической реакции; так мы видели, что масса туманности, из которой образовалось солнце, так велика, что один фунт солнечного вещества, при своем сгущении, выделял в 7.467 раз больше энергии, чем фунт сгоревшего гремучаго газа. Наоборот — масса туманности может быть настолько мала, что энергия сгущения ее, приходящаяся на единицу ее массы, будет ниже энергии, развиваемой самой слабой химической реакцией *).

Причина сияния небесных тел заключается влротно и в работтя тяготения, и в химической энергии; для масс, подобных солнцу, можно пренебречь химической энергией; для малых же масс — можно пренебречь работою тяготения; так сгущение силою тяготения туманности, имющей, при обращении в планету плотности земли, в поперечник 134 кило-

*) Всегда возможно ршить задачу: какой радиус должна имть планета, чтобы, сгустившись до определенной плотности, массовая единица ее выделяла энергию, равную энергии данного физического или химического процесса.

Таблица № 27 содержит ршения нискольких таких задач, при сгущении тумана до плотности земли (5,5).

Напр., из первой горизонтальной строки видно, что воображаемая планета, сгущенная силою тяготения из тумана до плотности земли, при радиусе в 4.151 километров, выделяет такое же количество энергии, как равная ей масса сгорающего гремучаго газа; посадная строка показывает, что при радиусе планеты в 67 километров и при той же плотности (5,5), массовая единица выделяет при сгущении из тумана такое количество теплоты, которое достаточно для нагривания массовой единицы только на 1° Цельсия.

№ 27.

Процесс.	Число кило- рй, выделяе- мых массо- вою единиц.	Работа единицы в тонно- метрах.	Радиус воображае- мых пла- нет.	Замечания.
Гремучий газ Н ² О	3.880	1.624.000	4.151 км.	Меньше земли $\left(\frac{2}{3}\right)$, но больше Марса.
Углекис- лота С.О ²	2.182	925.000	3.133 „	Величиною в Марс, но больше Меркурия.
Испарение воды	537	228.000	1.555 „	Нисколько больше луны, но плотность, конечно, земная.
Таяние льда	79	34.000	500 „	$\frac{1}{10,5}$ радиуса земли.
Нагривание	30° Ц.	12.700	367 „	$\frac{1}{17}$ радиуса земли.
Нагривание	1° „	424	67 „	Около $\frac{1}{100}$ рад земли.

Можно думать, что, когда солнце наше покроется твердой оболочкой и потухнет, подобно земл, другия звзды большей величины, чем солнце, но находящиеся в настоящее время в одномъ *возраст* с ним, могут *сиять на неб, благодаря работтя тяготения, с продолжен-
ии еще многих миллионъ лтъ.*

В самом дла, время лученспускания Т равно работтя сгущения звзды

$$\text{№ 9...} \quad P = \frac{16}{15} \pi^2 d k x^3 = A x^4 \quad (A — \text{пост. число}),$$

дленной на работу годового лученспускания, которая пропорциональна поверхности звзды

$$B x^2, \text{ гд } B = 4\pi;$$

следовательно:

$$\text{№ 28...} \quad T = A x^4. B x^2 = \frac{A}{B} x^2,$$

т. е. время лученспускания Т пропорционально кубу радиуса звзды, или ее массе.

метра, сопровождается энергиею, едва достаточной для того, чтобы нагрть равную ей массу воды на 1° Цельсия *).

В нашей обыденной жизни мы имем в обращении множество предметов, взаимнаго притяжения которых мы совсем не замчаем, так что Ньютонова тяготения для них как бы не существует; напротив — другия их физическия и химическия агенты энергии нам рзко кидаются в глаза.

Но та самая сила тяготения, которая притягивает два человеческих существа с напряжением, далеко не достаточным для разрыва паутины, и потому пренебрегаемая нами, — та сила заставляет пылать солнце и звзды в продолжении многих миллионъ лтъ.

VI. Практическая повтрна теории сжатия солнца.

По принятой нами гипотезе, для покрытия расходов лученспускания солнца, вся его масса должна сдаваться к центру и, значит, объем его и диаметр с каждым годом неминуемо должны уменьшаться. Результатом этого приближения солнечных частиц к центру будет ускорение вращательнаго движения солнца, которое, как известно, совершает один оборот вокруг оси в 25½ дней. Астрономы не замчают ни уменьшения диаметра, ни ускорения вращательнаго движения; мы попытаемся сейчас разъяснить это противоречие.

1) *Сокращение солнца.* Выведем формулу, которая даст возможность вычислить, на сколько должно солнце сдаваться к центру, чтобы покрыть этим сжатием расход энергии, выражающийся числом 2.10^{30} т. м. (№ 11) в годъ. При этом, ту часть работы, которая пойдет на ускорение солнечнаго вращения отбросим, как очень малую величину. Дифференцируя уравнение № 15, получим:

$$\text{№ 29...} \quad dP = -\frac{3}{5} \frac{k}{x^2} \cdot M^2 \cdot dx,$$

или

$$dP = -\left[\frac{3}{5} \cdot \frac{k}{x} \cdot M^2\right] \cdot \frac{dx}{x},$$

откуда

$$dx = -\frac{5}{3} \frac{x^2}{k} \frac{dP}{M^2} \dots \quad \text{№ 30}$$

вычисление упростится, если мы заметим, что в ур. № 29 множитель

$$\frac{3}{5} \frac{k}{x} M^2 = \frac{16}{15} \pi^2 k d^2 x^6$$

и для солнца уже был вычислен (№ 10), при чем оказался равным 25.10^{26} .

Конечно, не одни наружныя точки солнца, но и внутренния приближаются к центру, хотя и проходят меньшее расстояние и с меньшей силою. По выведенной формул найдем, что для покрытия расходов лученспускания в 1 годъ солнце должно опадать на 59 метров, в 1 сутки — на 162 милям., что соответствует скорости движения конца часовой стрелки дамских карманных часов; в 2000 лтъ это опадение солнечной поверхности составит 118 километров, или $\frac{1}{6042}$

часть солнечнаго радиуса; так что астрономы могли бы заметить уменьшение видимаго диаметра солнца за 2000 лтъ лишь на 0,3 угловой секунды. Даже при теперешнем высокомъ состоянии измрительной техники такую разность уловить довольно трудно; одно вспомнить, что первыя грубыя зрительныя трубы составлены в 1606 году и только 5 лтъ спустя Кеплер мечтает о примтении их к измтрению углов. Значит мы имли возможность сколько-нибудь точно наблюдать солнце не более 300 лтъ, а за этот периодъ угловое измнение диаметра солнца составит $\frac{1}{22}$ секунды = 0,045". — Только в 6600 лтъ диаметр солнца умень-

*) См. предыдущую выносу.

шится на 1 секунду. Понятно послѣ этого, что при такой медленной агоніи солнце не очень-то скоро похудѣетъ замѣтно для глазъ наблюдателя. Значитъ подтвержденія или опроверженія теоріи этимъ способомъ мы должны ждать по крайней мѣрѣ тысячи лѣтъ.

2) *Вращеніе солнца* Оно открыто было Галилеемъ въ 1610 году; онъ увидѣлъ черезъ свою слабую зрительную трубу солнечныя пятна и замѣтилъ ихъ движеніе отъ востока къ западу. По этимъ пятнамъ впоследствии было опредѣлено время полнаго обращенія солнца въ $25\frac{1}{2}$ сутокъ.

Впрочемъ слѣдуетъ имѣть въ виду, что солнечныя пятна такъ же не постоянны по формѣ и времени существованія, какъ, напр, земныя облака; онѣ также, какъ и послѣднія, имѣютъ *собственное* движеніе по солнечной поверхности, почему вышеприведенное время обращенія солнца слѣдуетъ считать лишь *среднимъ*,—въ отдѣльныхъ же случаяхъ время обращенія солнца, опредѣляемое по наблюденію пятенъ, колеблется между 25 и 27 сутками, являясь величиной непостоянной.

Посмотримъ теперь, не могутъ ли непосредственныя наблюденія измѣненія періода обращенія солнца выдать паденіе его діаметра.

Угловая скорость вращенія обратно-пропорціональна моменту инерціи тѣла, т. е. въ случаѣ шара — квадрату радіуса его (одна изъ простыхъ задачъ механики); слѣдовательно, время обращенія T_0 пропорціонально квадрату радіуса (x) солнца. Поэтому можемъ положить:

$$T_0 = A \cdot x^2 \dots \quad \text{№ 31}$$

Когда (x) равно радіусу (x_1) солнца, то

$$T_0 = T_1 = 25\frac{1}{2} \text{ сутокъ.}$$

Значитъ

$$A = \frac{T_1}{x_1^2} \text{ и } T_0 = \frac{T_1}{x_1^2} \cdot x^2 \dots \quad \text{№ 32}$$

Дифференцируя послѣднее уравненіе относительно (x) и затѣмъ полагая $x = x_1$, найдемъ:

$$\text{№ 33...} \quad dT_0 = 2 \cdot T_1 \cdot \frac{x}{x_1^3} \cdot dx = 2 \cdot T_1 \cdot \frac{dx}{x_1}.$$

На основаніи этихъ формулъ мы найдемъ, что въ теченіи 300 лѣтъ время обращенія солнца уменьшается всего только на 109 секундъ времени, или менѣе, чѣмъ на 2 минуты.

А потому ускоренія солнечнаго вращенія, колеблющагося между 25 и 27 сутками, астрономы абсолютно не могли замѣтить.

Первая горизонтальная строка приводимой ниже таблицы № 34 показываетъ время въ годахъ, а вторая—соотвѣствующее ему уменьшеніе времени полнаго обращенія солнца въ секундахъ, минутахъ и часахъ (въ будущемъ).

№ 34.

1	100	300	10.000	10.000	50.000	100.000	Годы.
0,36 с.	36 с.	1,8 м.	6 м., 5.	1 ч. 1 м.	5 ч. 4 м.	10 ч. 8 м.	

Изъ таблицы видно, что время обращенія измѣнится на 5 часовъ только черезъ 50.000 лѣтъ; поэтому, при существующей точности наблюденія и по существу самой измѣряемой величины—періоду обращенія солнца—*рѣшительно нѣтъ надежды, по крайней мѣрѣ въ недалекомъ будущемъ, уловить уменьшеніе діаметра солнца на основаніи измѣненія скорости его обращенія.*

Итакъ, лученспусканіе, какъ результатъ работы таготѣвія, какъ результатъ уплотненія солнца, не имѣетъ противъ себя никакихъ ни теоретическихъ, ни практическихъ возраженій.

(До слѣд. №).

К. Цюлковскій.

Нижегородскій Клубъ Любителей Физики и Астрономіи.

Тяготѣніе, какъ главный источникъ міровой энергіи.

Спеціальное сообщеніе К. Э. Циолковскаго.

VII. Гипотеза Мейера.

Въ заключеніе нельзя не упомянуть о паденіи аэролитовъ на солнечную поверхность, которое можетъ служить также, источникомъ энергіи солнца (Мейеръ), какъ и сжатіе солнца (Гельмгольцъ).

Что аэролиты падаютъ на солнце, въ этомъ нельзя усомниться, такъ какъ они падаютъ и на землю.

Но можно усомниться вотъ въ чемъ: достаточно-ли ихъ падаетъ для покрытія расходовъ лучеиспусканія солнца, какъ это думалъ Мейеръ.

Эта энергия есть результат того же Ньютонова притяжения, которое удерживает планеты близъ солнца и не позволяет землѣ удалиться отъ теплаго очага въ холодное пространство; упрямая земля, побуждаемая силою инерціи, тогда бы ушла, если бы не доброе солнце, которое держитъ этого волка на цѣпи и насильно согрѣваетъ, одѣваетъ и кормитъ.

Всякая планета, или всякій равноплотный шаръ, маленький или большой, даннаго радіуса, уплотняясь въ 8 разъ, или, что одно и то же, уменьшая свой діаметръ вдвое, выдѣляетъ такое же количество энергіи, которое онъ уже выдѣлялъ, когда изъ тумана получилъ видъ плотнаго шара даннаго радіуса.

Для уравненіе № 24 на уравненіе № 23, получимъ

$$\frac{P_1 - P_2}{P_2} = \frac{x_2}{x_1} - 1; \dots \quad \text{№ 35}$$

полагая

$$\frac{x_2}{x_1} = 2,$$

найдемъ, что отношеніе работы уплотненія ($P_1 - P_2$) къ работѣ сгущенія тумана (P_2) равно единицѣ, что и нужно было доказать.

Напримѣръ, если солнце уменьшить свой поперечникъ вдвое, т. е. до 15 угловыхъ минутъ и, значитъ, уплотниться равномерно въ 8 разъ, такъ что его плотность будетъ равна плотности свинца (11),—то оно должно выдѣлить энергію (благодаря работѣ одного тяготѣнія) въ количествѣ, достаточномъ для неослабнаго лучеиспусканія въ теченіе $12\frac{1}{2}$ милліоновъ лѣтъ.

Новое уплотненіе въ 8 разъ (плотность 88), когда радіусъ уменьшится опять вдвое, вызываетъ энергію, равную *всей* выдѣленной, т. е. въ такомъ количествѣ, котораго хватило бы на 25 милліоновъ лѣтъ равномернаго излученія энергіи. Всего-же это составитъ 50 милліоновъ лѣтъ. И такъ до безконечности *).

*) Разсматривая формулу № 35, можемъ найти иное выраженіе для опредѣленія энергіи уплотненія силою всемірнаго тяготѣнія; именно: при умень-

Тякимъ образомъ, приписывая физическому тѣлу способность *безгранично* сжиматься, мы должны были бы признать его безконечнымъ источникомъ энергіи; солнце при такихъ условіяхъ могло бы свѣтить *точно*. Но наши математическія выкладки узко ограничены извѣстными свойствами физическихъ тѣлъ, такъ какъ на практикѣ всѣ тѣла имѣютъ опредѣленную плотность: мы, напр., не видимъ тѣлъ плотнѣе осмія (21,4).

Для рѣшенія задачи о времени будущаго лучеиспусканія солнца примемъ нѣкоторые ограниченія: планеты, по мѣрѣ приближенія къ солнцу, имѣютъ все большую и большую плотность; однако, само солнце имѣетъ, сравнительно со своимъ центральнымъ положеніемъ, плотность очень малую (1,37 воды), что можно объяснить его высокой температурой и упругостью вещества, не успѣвшего еще образовать сложныхъ тѣлъ, мало упругихъ; допустимъ, что солнце, потухая и покрываясь корою, подобно планетамъ, достигнетъ и плотности этихъ послѣднихъ, напр. плотности Земли (5,5) или плотности Меркурія (6,7), т. е. будетъ по крайней мѣрѣ въ 4 или 5 разъ плотнѣе настоящей своей плотности (1,37); хотя, въ виду центральнаго положенія свѣтила, мы могли бы разсчитывать на возможность большаго его уплотненія. При четыре-кратномъ уплотненіи работа тяготѣнія выражается, по вычисленію, 7.375.000 годами непрерывнаго и равномернаго лучеиспусканія. Это съ $12\frac{1}{2}$ милліонами лѣтъ составитъ около 20 милліоновъ; тогда радіусъ солнца уменьшится на 0,37 своей теперешней величины и будетъ наблюдаться съ земли подъ угломъ въ 9,5 минутъ. Итакъ, по принятымъ основаніямъ, въ будущемъ ждетъ солнце *медленная* агонія.

К. Циолковскій.

шенія радіуса планеты въ „n“ разъ выдѣляется энергія которая въ n—1 разъ больше уже выдѣленной въ пространство энергіи при образованіи планеты изъ космическаго тумана. Такъ, уменьшеніе поперечника солнца въ 21 разъ вызываетъ энергію въ 20 разъ большую уже выдѣленной; значитъ, ее хватило-бы на 500 милліоновъ лѣтъ равномернаго лучеиспусканія ($12\frac{1}{2}$ милл. $\times$ 20).