

О температурѣ небеснаго пространства.

Е. Роговскаго.

Вопросъ о температурѣ небеснаго пространства имѣеть важное научное значеніе, потому что отъ этой температуры зависитъ температура верхнихъ слоевъ земной атмосферы, а слѣдовательно, и всей атмосферы и земной поверхности; отъ температуры же земной поверхности находятся въ полной зависимости растенія и животныя: флора и фауна земли были иными при другой средней температурѣ ея поверхности; зависятъ отъ нея и геологическіе процессы.

Французскій ученый Пулье ¹⁾, еще въ 1837 г., первый далъ методъ для вычисленія температуры небеснаго пространства. Имъ была выведена слѣдующая формула:

$$a' = 1.235 \frac{2 - b}{2 - b'} - \frac{A}{3.60} \quad (1)$$

гдѣ a' — температура небеснаго пространства, a — постоянная формулы Дюлонга и Пти равная 1.0077, b — поглощательная способность земной атмосферы для лучей, испускаемыхъ земной поверхностью, b' — тоже для солнечныхъ лучей, и A — солнечная постоянная въ формулѣ Буге, т. е. количество солнечной теплоты въ мал. калоріяхъ, падающей нормально на 1 кв. см. поверхности на границѣ земной атмосферы въ 1 минуту. По наблюденіямъ Пулье среднее значеніе этой постоянной 1.76. Принявъ $b = 0.9$ и $b' = 0.35$, получимъ для температуры небеснаго пространства — 143° Ц. Пулье вывелъ среднее значеніе — 142° Ц.

Позднѣйшія наблюденія дали для солнечной постоянной A числа, значительно отличающіяся отъ числа Пулье; такъ:

Pouillet (1837)	1.76
Forbes (1842)	2.82
Hagen (1863)	1.90
Violle (1875)	2.54

¹⁾ *Pouillet*. Mémoire sur la chaleur solaire etc. Compt. Rend. t. VII, p. 24—65, 1838.

Langley (1884)	3·07
Савельевъ (1890)	3·47
Ångström (1890)	4·00
Rizzo (1897)	2·90
Crova (1897)	3·50
Westman (1901)	2·1
Exner (1902)	2·0
Holm и Jansson (190 ^{2/3})	2·2
Kimball (1903)	2·2
Abbot и Fowl (190 ^{2/7})	2·1
Ганскій (1904)	3·23
Ångström (1906)	2·17
Féry и Millochau (1907)	2·56
Féry и Millochau (1907)	2·38
Alessandri (1908)	2·09

Большинство метеорологовъ и вообще ученыхъ, занимающихся актинометрією, принимали въ недавнее время, что солнечная постоянная равна 3 и не менѣе 2·5. Если подставить вмѣсто A въ приведенную выше формулу 2·5, то получимъ для t' —температуры небеснаго пространства, число— $267·4^{\circ}$ С. очень близкое къ абсолютному нулю. На этомъ основаніи Лянглея, а за нимъ и другіе ученые принимали, что температура небеснаго пространства равна абсолютному нулю, т. е. — 273° С 1).

Новѣйшія наблюденія Онгстрема ²⁾, произведенныя съ новымъ усовершенствованнымъ пиргелиометромъ, дали для солнечной постоянной число 2·17, а Алессандри ³⁾ даже число 2·0858. Если подставить въ формулу (1) число 2·1, то для температуры небеснаго пространства получимъ— $186·3^{\circ}$ Ц. — число уже довольно близкое къ числу найденному Пулье. При $A = 2·0$, для t' получимъ— $172·0^{\circ}$ Ц. Такимъ образомъ само собою отпадаетъ возраженіе Лянглея противъ теоріи Пулье. Привожу въ переводѣ соотвѣтственные отрывки изъ книги Лянглея ⁴⁾: „Такъ какъ очень немногіе, которые цитируютъ число Пулье для „температуры небеснаго пространства“ знаютъ путь, которымъ онъ вывелъ ее (его знаменитый мемуаръ чаще цитируется, чѣмъ читается), то я могу изложить здѣсь, что онъ опредѣляетъ при помощи въ высшей степени оригинальнаго, остроумнаго и, повидимому, правильнаго, хотя не вполне удовлетворительнаго ряда разсужденій, что количество теплоты необходимой, чтобы

1) *S. P. Langley*. Researches on Solar Heat. Washington, p. 123 (footnote), 1884.

2) *Angström*. Methode nouvelle pour l'étude de la radiation solaire. Nova Acta R. Soc. Sc. I 1907 Meteor. Вѣстн. 1907, p. 340—345.

3) *Alessandri*. Meteorol. Zeitschr. 1909, p. 54—60.

4) *S. P. Langley*. l. c. p. 47—48.

удержать среднюю температуру поверхности земли на ея известной величинѣ должно быть таково, чтобы она могла расплавить въ годъ слой льда толщиною въ 57 метровъ, и такъ какъ онъ нашель ранѣе, что только 31 метръ этого слоя расплавляется солнцемъ, то онъ принужденъ былъ приписать нѣкоторому другому источнику то тепло, которое плавить остальные 26 метровъ, и онъ находитъ его, придавая пространству температуру -142° Ц. „Если бы его методы измѣренія прямого солнечнаго лучеиспусканія были правильны, то, какъ видно изъ опытовъ на горѣ Уитней, онъ нашель бы, что почти 57 метровъ льда плавить одно только солнце, и въ этомъ случаѣ температура пространства, согласно его теоріи, должна быть равна абсолютному нулю. Необходимымъ слѣдствіемъ теоріи Пулье является то, что по мѣрѣ того, какъ наши измѣренія солнечной теплоты даютъ все большія величины ея, исчезаетъ необходимость приписывать температурѣ небснаго пространства замѣтную величину“. Новѣйшія наблюденія однако показали, какъ мы видѣли выше, что солнечная постоянная равна не 3, какъ предполагалъ Лянглеи, а около 2, такъ что опять является необходимость приписать этому пространству температуру, отличную отъ нуля, другими словами, найти новый источникъ тепла, кромѣ солнца.

Исходною точкою для вывода формулы (1) служатъ для Пулье формулы тепловаго обмѣна въ томъ случаѣ, когда шаръ, окруженный газовой атмосферой, помѣщенъ въ центрѣ нѣкоторой сферы, весьма большаго діаметра сравнительно съ размѣрами шара и его оболочки. Называя черезъ s , s' и s'' поверхности шара, наружной сферы и газовой оболочки (среднюю поверхность ея), а черезъ e , e' и e'' соотвѣтственно количества тепла, испускаемая единицей поверхности ихъ, Пулье пишетъ слѣдующія три равенства ¹⁾:

$$\left. \begin{aligned} 2e''s'' &= bes + b'e's'\text{Sin}^2\omega \\ es &= e''s'' + (1 - b')e's'\text{Sin}^2\omega \\ e's'\text{Sin}^2\omega &= e''s'' + (1 - b)es \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здѣсь b означаетъ поглощательную способность газовой оболочки (атмосферы) для лучей, испускаемыхъ шаромъ, а b' тоже для лучей, испускаемыхъ наружною сферой, а ω уголъ, подъ которымъ виденъ радіусъ шара или оболочки съ точекъ наружной сферы. Такимъ образомъ, первое равенство выражаетъ, что количество теплоты, испускаемой атмосферой въ обѣ стороны, равно количеству теплоты испускаемой шаромъ и

¹⁾ Формулы эти невѣрны въ томъ отношеніи, что въ нихъ должны входить не $\text{Sin}^2\omega$, а $\frac{1}{2} \text{Sin}^2\omega$.

наружной сферою и поглощаемой атмосферою. Соответственнымъ же образомъ, второе уравненіе выражаетъ равенство количества теплоты, испускаемой шаромъ и получаемой имъ отъ газовой оболочки и наружной сферы, а третье—равенство количества теплоты, испускаемого наружною сферою на шаръ съ его атмосферою, и количества теплоты, получаемой ею отъ шара и его газовой оболочки.

Въ томъ случаѣ, когда діаметръ наружной сферы весьма великъ сравнительно съ діаметромъ шара, а діаметръ оболочки мало отличается отъ діаметра шара, можно принять, что $s'' = s$, и такъ какъ $s = s' \sin^2 \omega$, то предыдущія равенства примутъ слѣдующій простой видъ:

$$\begin{aligned} 2e'' &= be + b'e' \\ e &= e'' + (1 - b')e' \\ e' &= e'' + (1 - b)e. \end{aligned} \quad (3)$$

Изъ послѣднихъ двухъ уравненій находимъ:

$$\frac{e}{e'} = \frac{2 - b'}{2 - b}. \quad (4)$$

По закону Дюлонга и Пти $e = Ba^t$, гдѣ t температура тѣла, a постоянная, равная для всѣхъ тѣлъ 1.0077 , а $B = 1.146$; точно также $e' = B'a^{t'}$. Принимая B и B' равными, получаемъ:

$$a^{t-t'} = \frac{2 - b'}{2 - b}. \quad (5)$$

Принявъ вмѣстѣ съ Пулье, что указанный выше шаръ есть земной шаръ, газовая оболочка—земная атмосфера, а наружная сфера—небесная сфера, мы, однако, не можемъ непосредственно примѣнить формулу (5) къ этому случаю, потому что земля получаетъ теплоту не только отъ небесной сферы, но и отъ солнца. Замѣняя небесную сферу фиктивной сферою такой температуры v , чтобы она испускала на землю столько же теплоты, какъ дѣйствительная небесная сфера вмѣстѣ съ солнцемъ, можемъ написать по закону Дюлонга и Пти, что

$$Ba^v = Ba^{t'} + \frac{A}{\pi}, \quad (6)$$

гдѣ v температура этой воображаемой сферы, t' собственная температура небеснаго пространства, а членъ $\frac{A}{\pi}$ выражаетъ среднее количество теплоты, падающей отъ солнца на единицу поверхности тропическаго пояса; этотъ членъ получается отъ дѣленія количества теплоты, падающей отъ солнца въ 1 минуту на тропическій поясъ и равнаго $A.2rh$,

гдѣ r — радиусъ земли, а h ширина тропического пояса, на полную поверхность этого пояса, равную $2\pi rh$.

Къ этой фиктивной сферѣ, замѣняющей собою небесную сферу вмѣстѣ съ солнцемъ, можно уже приложить формулу (5), принявъ t' равнымъ ν , а t равнымъ 27.5^0 — средней температурѣ тропического пояса:

$$a^{27.5-\nu} = \frac{2-b'}{2-b}. \quad (7)$$

Подставляя значеніе a^ν изъ этой формулы въ формулу (6), получаемъ:

$$a' = a^{27.5} \frac{2-b}{2-b'} - \frac{A}{1.146\pi}. \quad (8)$$

Пулье принялъ, что $b = 0.9$ и $b' = 0.35$; эти числа близки къ нынѣ принимаемымъ: 0.9 и 0.4 ; если ихъ подставить въ формулу (8), то получится формула (1).

Температуру небеснаго пространства Пулье приписываетъ звѣздной теплотѣ: звѣзды испускаютъ теплоту и температура небесной сферы есть та температура, которую должна имѣть сфера, чтобы ея лучеиспусканіе было равно лучеиспусканію звѣзднаго неба, распредѣленному равномерно по всей небесной сферѣ. Такое допущеніе несправедливо: по расчету Ньюкома свѣтовое лучеиспусканіе всѣхъ звѣздъ до 7-ой величины составляетъ только $\frac{1}{31000000}$ долю солнечнаго свѣта; приблизительно въ

томъ же отношеніи должны находиться и полныя лучеиспусканія звѣздъ и солнца. По расчету Лянглея всѣ эти звѣзды испускаютъ не болѣе $7.5 \cdot 10^{-9}$ калорій въ минуту — это количество такъ ничтожно, что не можетъ играть никакой роли въ тепловыхъ процессахъ земной атмосферы. Но если подъ температурой небеснаго или, правильнѣе, междупланетнаго пространства, мы будемъ понимать температуру того разрѣженнаго газа, который въ немъ заключенъ, то эта температура можетъ имѣть нѣкоторую конечную величину, которая, если не совпадаетъ, то не можетъ многимъ отличаться отъ температуры верхнихъ слоевъ земной атмосферы. Лучеиспусканіе этихъ слоевъ, образующихъ какъ бы границу небеснаго пространства, окружающаго землю, и служить тѣмъ источникомъ теплоты, которую Пулье приписывалъ лучеиспусканію звѣздъ.

Сообразно съ этимъ представленіемъ, вмѣсто формулъ (2), можемъ написать, какъ первое, грубое, приближеніе:

$$\begin{aligned} 2e''s'' &= bes + b'e's'q'_2 \\ es &= e''s''q'' + (1-b')e's'q'_1 \\ e's'q'_2 &= e''s'' + (1-b)es. \end{aligned} \quad (9)$$

Здѣсь $e, e', e'', s, s', s'', b$ и b' имѣютъ тѣже значенія, что и въ формулахъ (2), а q_1' и q'' означаютъ тѣлесные углы (по отношенію къ полусферѣ), подъ которыми виденъ земной шаръ изъ точки на верхней границѣ атмосферы, и изъ точки въ среднемъ слоѣ ея, а q_2' тѣлесный уголъ, подъ которымъ виденъ средній слой атмосферы изъ точки на верхней границѣ ея.

Называя черезъ s_h поверхность сферы концентрической съ земнымъ шаромъ и находящейся на разстояніи h отъ его поверхности, и черезъ q_h соотвѣтственное значеніе q , не трудно найти, что

$$\frac{s_h}{s} = \left(\frac{R+h}{R} \right)^2$$

(10)

и

$$q_h = 1 - \frac{\sqrt{h(2R+h)}}{R+h},$$

гдѣ R —радіусъ земли.

Изъ уравненій (9) получается:

$$\frac{e}{e'} = \frac{s'}{s} \cdot \frac{q_2'q'' + (1-b')q_1'}{1 + (1-b)q''}.$$

(11)

Далѣе, вмѣсто закона Дюлонга и Пти, будемъ пользоваться закономъ Стефана, по которому лучеиспусканіе чернаго тѣла пропорціонально четвертой степени его абсолютной температуры, т. е. $e = \sigma T^4$, гдѣ σ —постоянная. Тогда изъ формулы (11) получается:

$$\frac{T}{T'} = \sqrt[4]{\frac{s'}{s} \cdot \frac{q_2'q'' + (1-b')q_1'}{1 + (1-b)q''}}.$$

(12)

гдѣ T и T' абсолютныя температуры поверхности земли и небесной сферы, т. е. температуры, считаемыя отъ -273° Ц.

Разсуждая далѣе, какъ Пулье (см. выше), легко получить слѣдующія формулы, соотвѣтствующія формуламъ (6) и (7):

$$\sigma (273 + v)^4 = (273 + t)^4 + \frac{A}{\pi}$$

(13)

и

$$\frac{273 + t}{273 + v} = \sqrt[4]{\frac{s'}{s} \cdot \frac{q_2'q'' + (1-b')q_1'}{1 + (1-b)q''}}.$$

(14)

Опредѣляя изъ послѣдняго равенства $273 + v$ и подставляя его значеніе въ (12), получаемъ:

$$(273 + t)^4 = (273 + t)^4 \frac{s}{s'} \cdot \frac{1 + (1-b)q''}{q_2'q'' + (1-b')q_1'} - \frac{A}{\pi\sigma}$$

(15)

Здѣсь t' есть температура небеснаго пространства, а t — температура тропического пояса.

Земная атмосфера, конечно, не имѣетъ рѣзкой границы, но условно за границу ея можно принять тотъ слой, присутствіе котораго обнаруживается какими-либо явленіями, на примѣръ, утренними и вечерними сумерками (зарей), свѣтящимися облаками, полярными сіяніями, метеорами и другими. Наибольшая высота получается изъ наблюденій надъ высотой появленія метеоровъ, это около 300 км.

Принявъ за средній слой земной атмосферы тотъ слой ея, который находится на высотѣ 5·5 км. отъ поверхности земли и который дѣлитъ всю атмосферу на двѣ части равной массы, мы можемъ считать что q'_1 и q'_2 , т. е. углы, подъ которыми видны изъ точки на высотѣ $h = 300$ км земная поверхность (q'_1) и слой на высотѣ 5·5 км. (q'_2), равны одной и той же величинѣ q' ; а за s'' и q'' значенія s и q точки на высотѣ $h = 5·5$ км. Тогда формула (15) обращается въ такую:

$$(273 + t')^4 = (273 + t)^4 \frac{s}{s' q' [q'' + (1 - b')]} - \frac{A}{\pi \sigma} \quad (16)$$

гдѣ:

$$s' = 1 \cdot 096s, \quad q' = 0 \cdot 70$$

$$s'' = 1 \cdot 048s, \quad q'' = 0 \cdot 96$$

Пулье положилъ среднюю температуру тропического пояса равною $27 \cdot 5^\circ$ Ц. Эта величина слишкомъ велика. По даннымъ Шпиталера и Батхельдера годовая температура имѣетъ наибольшую величину на параллели 10° с. ш., а именно $26 \cdot 4^\circ$ Ц. по Шпиталеру и $27 \cdot 1^\circ$ по Батхельдеру ¹⁾; среднее изъ этихъ двухъ цифръ = $26 \cdot 75^\circ$. Это число мы и примемъ за значеніе t въ формулѣ (16).

Далѣе, b поглощеніе атмосферою лучей, испускаемыхъ землею, можно принять равнымъ 0·9. Что касается b' поглощенія лучей небеснаго свода, то нужно замѣтить, что эти лучи состояются изъ лучей, испускаемыхъ солнцемъ, и лучей, испускаемыхъ небеснымъ пространствомъ, по нашему лучей, испускаемыхъ верхними слоями атмосферы; если поглощательную способность земной атмосферы для первыхъ лучей можно принять равною 0·4, то для вторыхъ ее можно принять такую же, какъ и для лучей, испускаемыхъ землею, т. е. 0·9. Примемъ для b' среднее значеніе — 0·65.

По опредѣленію Курльбаума ²⁾ $\sigma = 5 \cdot 32 \cdot 10^{-12} \frac{\text{уатт.}}{\text{см.}^2 \cdot 10^2}$ или $\sigma = 7 \cdot 68 \cdot 10^{-11} \frac{\text{гр. кал.}}{\text{см.}^2 \cdot \text{мин.} \cdot 1^\circ}$. Такимъ образомъ, окончательно, получаемъ:

$$(273 + t')^4 = 8 \cdot 8038 \cdot 10^9 - 4 \cdot 1447 \cdot 10^9 A. \quad (17)$$

¹⁾ *J. Hann*. Lehrbuch der Meteorologie. 1901, p. 143.

²⁾ *F. Kurlbaum*. Über eine Methode zur Bestimmung der Strahlung in absolutem Maass etc. Wied. Ann. 65, 1898, p. p. 747—760.

По этой формулѣ при $A = 2$ получаемъ t' , т. е. температуру небеснаго пространства, равную -121.4° Ц., а при $A = 2.1$, $t' = -197.0^{\circ}$ Ц. Наибольшее значеніе A , возможное по этой формулѣ, равно 2.12 .

Такимъ образомъ, при значеніяхъ A , лежащихъ между 2.0 и 2.1 , температура небеснаго пространства, въ среднемъ -159.2° Ц., близка къ той, которую нашелъ Пулье, т. е. -142° Ц., а слѣдовательно температуры планетъ, найденныя мною въ другомъ мѣстѣ ¹⁾, остаются справедливыми и при новыхъ предположеніяхъ.

Въ новѣйшее время Фери ²⁾ обратилъ вниманіе на то, что благодаря употребленію не абсолютно чернаго поглотителя, опредѣленія Курльбаума и другихъ даютъ для σ слишкомъ малую величину. По его опредѣленію $\sigma = 6.3.10^{-12} \frac{\text{ватт}}{\text{см.}^2}$ ³⁾. По опредѣленію Бауэра и Мулена ⁴⁾ 6.0 . Эти числа нѣсколько увеличиваютъ предѣльное значеніе A и *повышаютъ* температуру небеснаго пространства сравнительно съ найденными выше; такъ при $\sigma = 6.0$ максимальное значеніе A равно 2.40 , а t' равно -91.5° Ц. при $A = 2.1$. При $\sigma = 6.3.10^{-12}$ максимальное значеніе $A = 2.52$, а при $A = 2.1$, $t' = -50.5^{\circ}$ Ц., т. е. является уже значительно повышенной, а вмѣстѣ съ тѣмъ температуры всѣхъ планетъ приблизятся къ земной, уменьшивъ свои численныя значенія, приведенныя въ примѣчаніи ¹⁾. Однако результаты опытовъ Фери нуждаются еще въ тщательной провѣркѣ, которая, конечно, будетъ вскорѣ произведена, и только тогда можно будетъ прійти къ болѣе точному заключенію о температурѣ небеснаго пространства.

¹⁾ *Е. Роговскій*. Еще о температурѣ и составѣ атмосферъ солнца и планетъ. Изв. Р. Астр. Общ. VIII, 1899 стр. 32—45. *Astrophysical Journ.* XIV, 1901, p. 234—260. Привожу здѣсь найденныя мною среднія температуры поверхностей планетъ:

Меркурій	+40° Ц.	Юпитеръ	+2690° Ц.
Венера	+25° „	Сатурнъ	+827° „
Земля	+15° „	Уранъ	+188° „
Луна	-85° „	Нептунъ	+300° „
Марсъ	-73° „		

²⁾ *C. Féry*. Sur l'approximation des corps noirs employés comme récepteurs. C. R. 148, 1909, p. 777—780.

³⁾ *C. Féry*. Détermination de la constante de la loi de Stefan. C. R. 148, 1909, p. 915—918.

⁴⁾ *E. Bauer et M. Moulin*. Sur la constante de la loi de Stefan. C. R. 149, 1909, p. 988—990.