

Диск Земли площадью πR_3^2 «перехватывает» только малую долю этой энергии, равную $(\pi R_3^2)/(4\pi L^2)$. И вся эта перехваченная энергия излучается Землей со всей ее поверхности $4\pi R_3^2$. Приравнявая падающую на Землю энергию Солнца и энергию, излучаемую Землей, получим

$$\sigma T_C^4 \pi D_C^2 \frac{\pi R_3^2}{4\pi L^2} = 4\pi R_3^2 \sigma T_3^4.$$

Как видим, в этом примере даже не важно знать величину σ — она сокращается. Отсюда

$$T_C = T_3^4 \sqrt{\frac{16}{(D_C/L)^2}} = T_3 \frac{2}{\sqrt{\theta_C}}.$$

Подставляя $T_3 \approx 300$ К, $\theta_C \approx 0,5^\circ \approx 10^{-2}$ рад, находим

$$T_C \approx 20T_3 = 6000 \text{ К}.$$

Затем, зная температуру Солнца, можно оценить площадь солнечного паруса космического летательного аппарата, который давал бы, к примеру, силу тяги в 1 ньютон. Пусть он находится на таком же расстоянии от Солнца L , что и Земля, и пусть его поверхность покрыта тонким зеркальным слоем. Тогда каждый фотон, упав под прямым углом на парус и отразившись от него, изменит свой импульс на величину $h\nu/c - (-h\nu/c) = 2h\nu/c$. Поскольку на всю площадь S паруса падает в единицу времени энергия (см. предыдущие

рассуждения)

$$Q_\downarrow = \sigma T_C^4 \pi D_C^2 \frac{S}{4\pi L^2},$$

то, чтобы найти *поток импульса* всех фотонов (силу F), осталось разделить на c и умножить на 2:

$$F = \frac{2Q_\downarrow}{c} = \frac{2}{c} \sigma T_C^4 \theta_C^2 \frac{S}{4}.$$

Отсюда

$$S = \frac{4Fc}{2\theta_C^2 \sigma T_C^4} \approx \frac{4 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^{-4} \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 6000^4} \text{ м}^2 \sim 10^5 \text{ м}^2.$$

Это почти десять гектаров, говоря сельскохозяйственным языком!

А теперь, зная температуру Солнца, можно уточнить соотношение (8). Учтывая, что $\nu_* = c/\lambda_*$, перепишем его в виде

$$\lambda_* T \sim \frac{hc}{k_B}.$$

Получаем, что произведение температуры и характерной длины излучения есть некоторая постоянная, состоящая из фундаментальных констант физики. Поскольку температура Солнца примерно 6000 К, а характерная длина волны видимого света порядка 0,5 мкм, эта постоянная оказывается равной приблизительно $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot 6000 \text{ К} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$. Соотношение между температурой и характерной длиной волны излучения, называемое законом Вина, явля-

ется универсальным. Из него следует, в частности, что все предметы при комнатной температуре $T \approx 300$ К излучают в основном на длине волны $\lambda_* \approx 3 \cdot 10^{-3}/300 \text{ м} = 10 \text{ мкм}$, т.е. в инфракрасной области. Поэтому их и не видно «в темноте» (человеческим глазом). Но на их фоне без труда можно было бы рассмотреть «теплого» человека-невидимку при помощи специальных приборов (тепловизоров).

Наконец, можно сделать еще один вывод из приведенных выше соображений. Очень маленькая печка или пылинка, нагретые до некоторой температуры, в условиях термодинамического равновесия должны излучать набор длин волн, ограниченный условием (1): самая большая длина волны будет порядка размеров пылинки. Значит, спектр частот излучения будет «обрезан» со стороны малых частот (что показано качественно на рисунке 6 штриховой кривой), т.е. сдвинут в область «фиолетового» участка спектра. Следовательно, если бы удалось нагреть пылинки до температуры поверхности Солнца, они казались бы (в видимой области) тем более синими, чем меньше их размер.

Все эти соображения учитываются во многих областях науки и человеческой практики, например — при исследовании энергетического баланса звездных и планетных атмосфер, металлургических топков, ракетных струй и т.п.

« К В А Н Т » У Л Ы Б А Е Т С Я

Груки

Имя Пита Хэйна широко известно не только на его родине в Дании, но и во всей Скандинавии, и во многих англоязычных странах. Такая популярность не удивительна — XX век вряд ли насчитает много людей, в которых счастливо уживались поэт, романист, эссеист, художник, архитектор и инженер-изобретатель и которые к тому же сумели во всех этих ипостасях проявить себя талантливо.

Наибольшую славу П.Хэйну принесли его короткие стихи — груки (название придумано им самим). Он начал писать их во время нацистской оккупации в Дании. Двупланность, двусмысленность груков позволяли датчанам говорить о том, что их действительно волновало. Эта особенность груков сохраняется и впоследствии. Создатель кибернетики Норберт Винер, большой почитатель таланта Хэйна, особенно выделял эту черту: «Его стихи следует читать по крайней мере на двух уровнях — внешнем и более глубоком. И в том и в другом случае они вызывают во мне восхищение. Какое богатство значительных мыслей заключено в них!» Когда Хэйн работал в знаменитом Копенгагенском институте теоретической физики, Нильс Бор избрал именно его своим партнером по «интеллектуальному пинг-понгу». Многие строчки Хэйна стали поговорками, крылатыми словами. Они настолько прочно вошли в обиход, что в свою очередь дали одному критику основание для следующего афоризма: «Блестящий оратор — это человек, способный произнести хорошую речь, ни разу не процитировав Пита Хэйна».

П.Хэйн издал около 20 сборников груков — на английском и датском языках. Их популярности в немалой степени способствовали рисунки автора к своим стихотворениям.

Предлагаем вам несколько груков с авторскими иллюстрациями.

Перевел с английского и подготовил публикацию Г.Варденга.