

симости потока в ограниченном диапазоне частот можно получить и для теплового излучения некоторых астрофизических источников (например, суммированием планковских кривых от слоев с изменяющейся температурой, как в оптически толстых аккреционных дисках вокруг компактных звезд). В таких случаях указанием на возможную нетепловую природу спектра обычно является отсутствие экспоненциального «завала» $F_\nu \sim \exp(-h\nu/kT)$ на высоких частотах, который всегда имеет место для теплового излучения с температурой T . Другими признаками нетеплового излучения является высокая степень поляризации (особенно для синхротронного излучения), а также физически неприемлемо высокая яркостная температура излучения. Например, для космических мазеров T_b может достигать значения $> 10^{20}$ К!

2.5. Задачи

1. Сферически-симметричное облако оптически тонкой тепловой плазмы сжимается адиабатически. В приближении Рэлея–Джинса найти зависимость яркостной температуры излучения и принимаемого потока излучения от радиуса облака. Коэффициент поглощения и массу облака считать постоянными. Плазму считать идеальным одноатомным газом.

Решение

а) $I_\nu = \tau_\nu S_\nu$, $S_\nu = B_\nu(T) \sim T$ (приближение Рэлея–Джинса),

б) $\tau = n(r)\sigma r \sim (1/r^3) \cdot r = 1/r^2$,

в) $pV^\gamma = \text{const}$, $pV \sim T \rightarrow T \sim V^{-2/3} \sim 1/r^2$ для $\gamma = 5/3$,

г) $T_b \sim I \sim \tau T \sim 1/r^2 \cdot 1/r^2 \sim 1/r^4$,

в) $F \sim r^2 I \sim 1/r^2$,

Ответ: $T_b \sim 1/r^4$, $F \sim 1/r^2$.

2. На луче зрения одно за другим располагается N одинаковых облаков тепловой плазмы с оптической толщиной τ . Чему равна интенсивность выходящего излучения вдоль луча зрения? Как она относится к интенсивности излучения от одного облака? Дать численный ответ для $\tau = 1$ и $N = 10$.

Решение

1. Формальный способ — из уравнения переноса:

а) $I_1 = S(1 - e^{-\tau})$, $I_2 = I_1 e^{-\tau} + S(1 - e^{-\tau}) = S(1 - e^{-2\tau})$, ..., $I_N = I_{N-1} e^{-\tau} + S(1 - e^{-\tau}) = S(1 - e^{-N\tau})$;

б) $I_N/I_1 = (1 - e^{-N\tau})/(1 - e^{-\tau})$.

2. По определению τ , оптическая толщина на отдельных участках пути вдоль луча зрения суммируется. Поскольку облака одинаковы, их можно заменить одним облаком с $\tau_N = N\tau$, откуда сразу получаем ответ (см. п. 1б).

Ответ: $I_{10}/I_1 \approx e/(e-1) \approx 1.58$.

3. Наблюдаемая светимость мазерного источника на молекуле гидроксила OH с длиной волны $\lambda = 18$ см достигает светимости Солнца, а яркостная температура излучения $T_b = 10^{20}$ К. Температура в источнике 300 К. Считая, что уширение линии обусловлено только тепловыми движениями молекул, оценить размер источника r_s , предполагая его сферическую симметрию.

Решение

а) Для оптически тонкого газа

$$I_\nu = j_\nu \cdot 2r_s, \quad j_\nu = (1/4\pi) \cdot (3L/4\pi r_s^3) \cdot (1/\Delta\nu),$$

б) $\Delta\nu/\nu \approx v_t/c = \sqrt{3kT/m}$, где $m = 17m_p$ для молекулы OH,

в) $kT_b = 1/2 \cdot c^2/\nu^2 I_\nu = 1/2 \cdot \lambda^2 I_\nu = 3 \cdot \lambda^3 (L/4\pi) \cdot 1/(4\pi r_s^2) \cdot 1/v_t$,

г) $r_s^2 = 3 \cdot \lambda^3 / (16\pi^2 v_t) (L/kT_b)$.

Ответ: $r_s \approx 1$ а. е. — характерный размер планетной системы.