Übungen zur Vorlesung “Physik des Universums”

Wintersemester 2016/17

Übungsblatt Nr. 6

Ausgabe: 1.12.2016/5.12.2016 Besprechung: 8.12.2016/12.12.2016

Aufgabe 1: Strahlungsheizung von Planeten

Ein Planet habe eine Albedo von 0,77. Die Einstrahlung betrage 2609 Watt m^{-2}. Berechnen Sie die Gleichgewichtstemperatur des Planeten.

Lösung

A = 0.77
$S^* = 2609$ Watt m^{-2}.
$4\pi R_{\mathrm{pl}}^2 \sigma T_{\mathrm{eq}}^4 = (1 - A)\pi R_{\mathrm{pl}}^2 S^*$.
$T_{\mathrm{eq}} = [(1 - A)S^*/(4\sigma)]^{1/4} = 227\,\mathrm{K}$.

Aufgabe 2: CO_2 Speicherung in Kalkstein

Wie in der Vorlesung besprochen, ist ein großer Teil des ursprünglich in der Erdatmosphäre enthaltenen CO_2 heute in Kalksteinen (und kalkhaltigen Sedimenten) gespeichert.
Berechnen Sie, wieviel CO_2 [Angabe in der Masseneinheit Tonnen] in einem einzigen Berg wie der Zugspitze gespeichert ist. Nehmen Sie hierfür vereinfachend an, dass der Berg eine Pyramide mit einer Grundfläche von $4\,\mathrm{km} \times 4\,\mathrm{km}$ und einer Höhe von 2 km ist und vollständig aus Kalkstein (chemische Formel: $Ca[CO_3]$; Dichte: $2{,}7\,\mathrm{g/cm^3}$) besteht.
Vergleichen Sie die enthaltene CO_2 Menge mit der jährlichen CO_2 Emission in Deutschland (Zahlen hierfür finden Sie z.B. auf den Webseiten des Bundesumweltamtes).

Lösung:
Entsprechend der chemischen Formel und den entsprechenden Atomgewichten beträgt der Massenanteil von CO_2 in $Ca[CO_3]$ $44/100 = 44\%$.

Eine Pyramide mit Grundfläche G und Höhe H hat ein Volumen von $V = \frac{1}{3}GH$, somit $10{,}66\,\mathrm{km}^3 = 1{,}066 \times 10^{10}\,\mathrm{m}^3$. Mit der Dichte von $2700\,\mathrm{kg/m}^3$ ergibt sich eine Gesamtmasse von $2{,}88 \times 10^{10}$ Tonnen. 44% davon sind also $1{,}27 \times 10^{10}$ Tonnen CO_2.

`http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/3_tab_emi-direk`

In Deutschland werden momentan jährlich ca. 800 Millionen Tonnen CO_2 emittiert. In einem einzigen Berg wie der Zugspitze ist also soviel CO_2 gespeichert, wie in Deutschland in 15,8 Jahren emittiert wird.

Aufgabe 3: Strahlungsleistung des Menschen

a) Berechnen Sie, welche Leistung der menschliche Körper allein durch thermische Abstrahlung verliert (Koerperoberflaeche = $1.5\,\mathrm{m}^2$).

$T = 3\,\mathrm{K}$, $L = \mathrm{A}\sigma T^4 = 1.5 \times 5.67 \cdot 10^{-8} \times 3 \cdot 10^4 = 850\,\mathrm{W}$

b) Der Körper absorbiert aber gleichzeitig die Strahlung der Umgebung. Nehmen Sie dafür eine Temperatur von 293 K an, wie groß ist dann der Netto-Strahlungsverlust des menschlichen Körpers?

ca 850 W - 600 W = 150 W

Aufgabe 4: Die "Eislinie" in protoplanetaren Scheiben

In kalten Moleülwolken können Gase auf den Oberflächen von Staubkörnern kondensieren und dort Eismäntel bilden, die hauptsächlich aus H_2O und einigen anderen Molekülen wie NH_3, CO, CO_2 bestehen.

Wenn im Rahmen des Sternentstehungsprozesses solche Staubkörner mit Eismäntel in eine protoplanetare Scheibe um einen entstehenden Stern gelangen, werden sie durch die Strahlung des (Proto)-Sterns aufgeheizt. Bei einer bestimmten Temperatur sublimieren die Eismäntel (d.h. die Stoffe in den Eismäntel gehen direkt vom festen in den gasförmigen Zustand über). Für H_2O-dominierte Eismäntel liegt die Sublimationstemperatur für die typischen Bedingungen in protoplanetaren Scheiben bei $T_{\mathrm{sub}} \simeq 140$ K.

a) Überlegen Sie sich den physikalischen Grund, warum die Eismäntel bei Erwärmung nicht zuerst schmelzen, sondern direkt vom festen in den gasförmigen Zustand übergehen, und warum dieser Prozess nicht bei 273 K (Schmelzpunkt von Wasser-Eis unter Normalbedingungen), sondern bereits bei etwa 140 K stattfindet (Hinweis: Betrachten Sie das Phasendiagramm von Wasser und berücksichtigen Sie dabei, dass die typischen Teilchendichten in der protoplanetaren Scheibe etwa 10^{13} bis 10^{16} Atome pro cm^3 betragen).

Lösung

Phasendiagramm anschauen, sehen dass es bei diesem Druck und Temperatur keine flüssige Phase gibt.

b) Berechnen Sie den radialen Abstand vom Stern, innerhalb dessen die Eismäntel sublimieren (die sog. “Eislinie”) unter der Annahme, dass die Leuchtkraft des zentralen Sterns (Fall 1:) eine Sonnenleuchtkraft bzw. (Fall 2:) 20 Sonnenleuchtkräfte beträgt. Nehmen Sie hierzu an, dass die Eismantel-Staubkörner eine Albedo von $A = 0{,}5$ haben, sowohl der Stern als auch die Staubkörner wie perfekte Schwarzkörper strahlen, und vernachlässigen Sie alle weiteren möglichen Heizquellen.

Lösung

$A = 0{,}5$, $T_{\mathrm{eq}} = 140\,\mathrm{K}$, $L_\odot = 3{,}846 \cdot 10^{26}\,\mathrm{W}$

$S^* = L^*/(4\pi r^2)$

Gleiche Rechnung wie in Aufgabe 1, d.h.

$r = \sqrt{\frac{(1-A)L^*}{\sqrt{\pi\sigma}}\frac{1}{4T_{\mathrm{eq}}^2}}$

Für $L^* = L_\odot$”: $r = 2{,}8\,\mathrm{AU}$. Für $L^* = 20L_\odot$: $r = 12{,}5\,\mathrm{AU}$.

Aufgabe 5: Wiensches Verschiebungsgesetz

Man berechne, bei welcher Wellenlänge folgende Objekte das Maximum ihrer Ausstrahlung besitzen:

a) die Sonne ($T = 5800\,\mathrm{K}$),

b) ein Roter Riese ($T = 3000\,\mathrm{K}$),

c) ein A0-Stern mit ($T = 10000\,\mathrm{K}$).

Lösung

a) 510 nm, also im grünen Bereich; b) 970 nm, also im IR; c) 290 nm, also an der Grenze Blau/UV.