

**Institut f. Angewandte Physik**  
**UE Grundlagen der Physik III WS 2019/20**

## 3. Übung am 31. 10. 2019

### 14) Planck'sche Strahlungsformel

(a) Ersetzen Sie in der Planck'sche Strahlungsformel  $w_\nu(\nu)d\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{d\nu}{e^{h\nu/(kT)} - 1}$

die Frequenz durch die Wellenlänge.

(b) Leiten Sie nun daraus das Wien'sche Verschiebungsgesetz ab. Bestimmen Sie auch die Konstante im Wien'schen Verschiebungsgesetz, indem Sie die erhaltene Gleichung entweder graphisch oder numerisch lösen (z.B. mit MATHEMATICA).

c) Die Sonne hat eine Oberflächentemperatur von 5780 K. Bei welcher Wellenlänge liegt das Maximum der emittierten Strahlungsenergie? Wie hängt das Strahlungsmaximum der Sonne mit der Empfindlichkeitskurve des menschlichen Auges zusammen?

Der kosmischen Hintergrundstrahlung entspricht eine Schwarzkörperstrahlung von 2,7 K. Wo liegt das Maximum dieser emittierten Strahlungsenergie?

(d) Berechnen sie mit dem Planck'schen Strahlungsgesetz die Energiedichte im Wellenlängenintervall von 500 nm bis 501 nm für die Sonne ( $T = 5780$  K), eine Glühwendel mit 2500 K und eines Raumes mit 300 K unter der Annahme eines idealen schwarzen Strahlers. **(2 Pkte)**

**15)** Eine Glühbirne der elektrischen Leistung  $P = 60$  W wird mit der Spannung  $U_{eff} = 240$  V betrieben. Der im Inneren der evakuierten Glühbirne befindliche Wolframdraht (spezifischer Widerstand  $\rho = 5,65 \mu\Omega\text{cm}$ ; nehmen sie an dass er im untersuchten Temperaturbereich konstant bleibt!) wird durch den ihn durchfließenden Strom auf  $T = 2500$  K erhitzt.

(a) Bestimmen Sie die Dicke  $d$  des Drahtes unter der (unrealistischen) Annahme, dass es sich beim Wolframdraht um einen idealen schwarzen Körper handelt.

(b) Welche Spannung  $U_m$  wäre nötig, damit der Wolframdraht durchbrennt (die Schmelztemperatur des Wolframs beträgt  $T_m = 3695$  K). **(2 Pkte)**

**16)** Eine massive geschwärzte Kupferkugel mit dem Radius  $r = 1,0$  cm hängt isoliert an einem dünnen Faden in einer evakuierten Kammer, die auf nahezu 0 K abgekühlt ist. Die ursprüngliche Temperatur der Kupferkugel beträgt  $T_0 = 300$  K. Wie lange wird es dauern bis die Temperatur um den Faktor  $n = 1,5$  (auf  $T_0/n$ ) abgefallen ist?

Daten: Spezifische Wärmekapazität:  $c_{Cu} = 385$  J/kg K

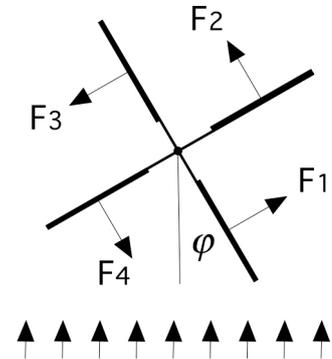
Spezifische Dichte:  $\rho_{Cu} = 8,92 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup> **(1 Pkt)**

**17)** Eine Raumsonde untersucht die von einem sonnenähnlichen Stern im Abstand  $r = 1,2 \cdot 10^8$  km emittierte Strahlung. Der Spektraldetektor misst das Maximum der Spektralverteilung bei 475 nm. Das 2,21 m<sup>2</sup> große Sonnensegel registriert 3,11 kW Strahlungsleistung bei senkrechter Bestrahlung. Welchen Durchmesser  $d$  hat der Stern unter der Annahme, dass es sich um einen schwarzen Strahler handelt? **(1 Pkt)**

**18) a)** Geben Sie eine Formel an für die Kraft, die ein Laserstrahl der Leistung  $P$  auf einen vollständig reflektierenden Spiegel ausübt. Warum ist diese Kraft unabhängig von der Wellenlänge des Lasers, obwohl der Photonenimpuls das nicht ist?

b) Schätzen Sie grob ab, welche Lichtkraft der sichtbare Anteil der Sonnenstrahlung (rund  $1 \text{ kW/m}^2$ ) auf die Erde ausübt! ( $R = 6378 \text{ km}$ , Annahme: die Erde absorbiert das gesamte Licht)

c) Aus Läden mit „physikalischen Ziergegenständen“ kennt man sogenannte „Lichtmühlen“. Dabei handelt es sich um ein horizontal gelagertes, rotierendes Kreuz mit z.B. vier senkrechten Plättchen, die auf einer Seite schwarz (fett gezeichnet in Abbildung) und auf der anderen Seite verspiegelt sind. Das Ganze befindet sich in einer grob evakuierten Glaskugel, um den Luftwiderstand zu reduzieren. Wird die Lichtmühle homogen mit Licht bestrahlt, beginnt sich das Kreuz zu drehen (homogen heißt, alle Plättchen werden gleichermaßen beleuchtet, z.B. von einer ebenen Welle entsprechend Pfeilrichtung, vernachlässigen Sie aber Abschattungseffekte der Plättchen untereinander).



Sowohl die geschwärzte, als auch die verspiegelte Seite erfahren einen Impulsübertrag aus dem Lichtfeld. Warum entsteht dabei ein Drehmoment? Schätzen sie das Drehmoment ab, wenn die einzelnen Plättchen jeweils  $10 \text{ cm}^2$  groß sind, der Mittelpunkt  $7 \text{ cm}$  von der Drehachse entfernt ist, und das eingestrahlte Licht eine ebene Welle mit einer Intensität von  $150 \text{ mW/cm}^2$  ist. Im Schaufenster des „Physik-Gadget-Ladens“ dreht sich die Lichtmühle allerdings in die andere Richtung! Warum? (Hinweis: das Vakuum in der Glaskugel ist nicht perfekt). (2 Pkte)

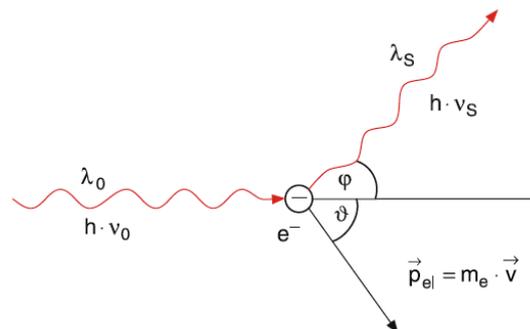
**19)** Ein Röntgenquant der Wellenlänge  $\lambda_0$  wird an einem ruhenden Elektron um den Winkel  $\varphi$  gestreut.

(a) Leiten sie aus Energie und Impulserhaltung die Compton-Streuformel für  $\lambda_s$  ab.

(b) Welchen Energiebetrag  $\Delta E_{el}$  nimmt das Elektron auf?

(c) Unter welchem Winkel  $\vartheta$  gegenüber der einfallenden Röntgenstrahlung bewegt sich dann das Elektron?

Rechnen sie zunächst allgemein und dann für  $\lambda = 0,102 \text{ nm}$  und  $\varphi = 77^\circ$ .



(2 Pkte)