1. Eine Raumsonde untersucht die von einem sonnenähnlichen Stern im **Abstand r = 1,2 · 10^8 km** emittierte Strahlung. Der Spektraldetektor misst das **Maximum der Spektralverteilung bei 475 nm**. Das **2,21 m² große Sonnensegel** registriert **3,11 kW Strahlungsleistung** bei **senkrechter Bestrahlung**. Welchen Durchmesser ***d*** hat der Stern unter der Annahme, dass es sich um eine **idealen schwarzen Strahler** handelt? *(Lösung: $d_{\text{Stern}} = 1{,}02 \cdot 10^6$ km)*

2. **Strahlungsgesetze im Haushalt:** Eine Glühbirne der **elektrischen Leistung P = 100 W** wird mit der **Spannung U = 230 V** betrieben. Der im Inneren der evakuierten Glühbirne befindliche Wolframdraht (spezifischer Widerstand **ρ_{el} = 5,65 µΩcm**, Dichte **ρ = 19 gcm^{-3}**, spezifische Wärmekapazität **c = 154,6 $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$**) wird durch den ihn durchfließenden Strom auf **3000 K** erhitzt.

a) Wie **dick** ist der Draht? *(Lösung: d = 9,7 µm)*
b) Wie lange dauert es, bis der Draht nach abschalten des Stromes auf **1000°C bzw.** auf **20°C** abgekühlt ist? In welchem der beiden Fälle wird die berechnete Zeit **unterschätzt** sein? *(Lösung: auf 1000°C:* 0,019 s*; auf 20°C:* 1,67 s*)*
c) Welche Spannung **U_m** ist nötig, damit der Draht durchbrennt? Was ist die maximale Stromdichte **j_m** [A/m²]? (Die Schmelztemperatur von Wolfram beträgt **T_m = 3137 K**);
(Lösung: U_m = 255,3 V, j_m = 6,5 mA/µm²*)*

Hinweis: Vernachlässigen Sie alle Strahlungsflüsse die aus der Umgebung auf den Draht auftreffen; alle Materialkenngrössen seien als temperaturunabhängig angenommen, auch wenn diese Näherung für den spezifischen Widerstand problematisch ist ($\rho_{el,\,20*C}$ = 5,65 µΩcm, ($\rho_{el,\,600*C}$ = 21,5 µΩcm, Daten aus: Handbook of Chemistry and Physics, 74th ed. (1994) CRC Press Boca Raton, Florida).

3. **Photoelektrischer Effekt:**

a) Man bestimme die **Grenzwellenlänge**, ab der Elektronen aus einem **Festkörper mit 4,55 eV Austrittsarbeit** freigesetzt werden können. *(Lösung: λ_g =* 272,46 nm*)*
b) Unter der Annahme, dass die auf den Festkörper auftreffende Lichtintensität **8 · 10^{-6} Wcm^{-2}** beträgt und **innerhalb der Grenzwellenlänge** vollkommen von den im Festkörper befindlichen Elektronen (Elektronendichte $\rho_e \approx 10^{23}\ \text{cm}^{-3}$) aufgenommen wird, berechne man klassisch die **mittlere Energieaufnahme** eines Elektrons.
c) Wie lange dauert es, bis nach diesem klassischen Ansatz ein Elektron aus dem gegebenen Festkörper emittiert wird? *(Lösung: $\Delta t = 2{,}48 \cdot 10^5$ s)*

4. **Mechanische Effekte von Licht:** Wir betrachten ein **^{23}Na Atom** und seine Wechselwirkung mit **nahe resonantem** Laserlicht:

Na:

Massenzahl:	**A=23**	
Wellenlänge $5S_{1/2} – 5P_{3/2}$	**λ=589,2 nm**	
Lebensdauer	**τ= 16,25 ns**	$\Gamma=1/\tau$

a) wie groß ist der **Rückstossimpuls** der von einem Photon übertragen wird? Wie groß die Änderung der Geschwindigkeit des Na Atoms. *(Lösung: $p = 1{,}125 \cdot 10^{-27}\ \text{kg·m·s}^{-1}$, $v = 29{,}5\ \text{mm·s}^{-1}$)*
b) wie groß ist die **Energie**, die ein Na Atom, welches vor dem Stoss in Ruhe ist, nach einem Photonrückstoss hat. Geben Sie diese Energie in verschiedenen Einheiten an (J, eV, äquivalente Temperatur) *(Lösung: $E = 1{,}03 \cdot 10^{-10}$ eV)*
c) was ist die **maximale Kraft** (Beschleunigung), die ein Laserstrahl auf das Na Atom ausüben kann *Hinweis: die maximale Streurate $R_{max}=\Gamma/2=1/(2\tau)$. (Lösung: $F = 3{,}462 \cdot 10^{-20}$ N)*
d) In welcher Zeit (über welche Strecke) kann ein thermisches Na Atom ($E_{kin} \sim k_B T$ T=300 K) mit dieser maximalen Kraft **abgebremst** werden. *(Lösung: s = 0,12 m)*
e) Wie viele Photonen können gestreut werden bis der **Dopplereffekt** die Frequenz des Laserlichtes um eine Linienbreite Γ verschiebt. *(Lösung: N = 1230)*

Bitte Seite wenden!

5. **Interferometrie und Zweizustands-Systeme: Superposition und Bloch-Kugel:** Beschreiben Sie ein **Mach-Zehnder Interferometer** durch den **Weg** den ein Quantenzustand auf der Blochkugel zurücklegt.
Hinweis: Ein symmetrischer Strahlteiler entspricht einer Rotation um die x-Achse

a) Wie lässt sich auf der Blochkugel ein Phasenschub im Interferometer beschreiben?
b) Wie sieht der Weg auf der Blochkugel aus für einem Phasenschub $\Delta\Phi$ von

$$\Delta\Phi = \frac{\pi}{2}$$

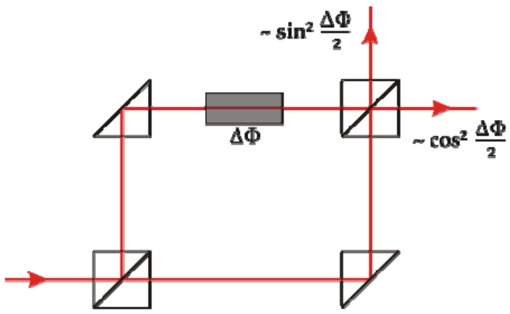
$$\Delta\Phi = -\frac{\pi}{2}$$

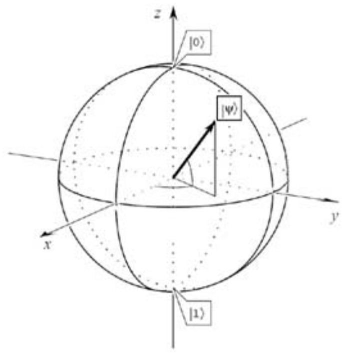
$$\Delta\Phi = \pi$$

$$\Delta\Phi = 2 \cdot \pi$$

$$\Delta\Phi = -17{,}25 \cdot \pi$$

6. Darstellung einer Interferometersequenz auf der Blochkugel.





a) Das Teilchen befindet sich zu Beginn im Zustand $|0\rangle$. Der erste Strahlteiler erzeugt die folgende Superposition: $\Psi=\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$. Dies entspricht einer Rotation um die x-Achse der Blochkugel. Im Interferometer erfährt der Zustand $|0\rangle$ eine Phasenschub $\Delta\phi$. Betrachte folgende 3 Phasenschübe: $\Delta\phi_1 = \pi/2$, $\Delta\phi_2 = -3\pi/4$ und $\Delta\phi_3 = -\pi$. Der 2. Strahlteiler hat genau die gleiche Funktion wie der 1. Strahlteiler (eine Rotation um die x-Achse). Zeichne den Zustandsvektor und jede seiner Bewegungen auf der Blochkugel ein und gib den Endzustand an.

b) Ein nachgeschalteter Detektor misst den Endzustand in der Basis $|0\rangle$ und $|1\rangle$. GIb für alle 3 Phasenschübe die Wahrscheinlichkeiten P_0 und P_1, dass am Ende der Zustand $|0\rangle$ bzw. $|1\rangle$ gemessen wird, an.