1. **Rutherford-Streuformel:** Zeigen Sie, dass für den differentiellen Streuquerschnitt $\frac{d\sigma}{d\Omega} = b \cdot \frac{db}{d\vartheta} \cdot \frac{1}{\sin\vartheta}$ (b … Stossparameter, ϑ …Ablenkwinkel) für Rutherford-Streuung zweier gleichnamiger Ladungen Q und q mit der reduzierten Masse μ gilt: $\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Q \cdot q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot 2 \cdot \mu \cdot v_0^2} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin^4\left(\frac{\vartheta}{2}\right)}$.

2. Das **Plancksche Strahlungsgesetz** der spektralen Energiedichte der Hohlraumstrahlung als Funktion von deren Frequenz ν lautet

$$w(\nu)d\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \cdot \frac{d\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}.$$

a) Man leite aus dieser Beziehung das Stefan-Boltzmann-Gesetz für die **je Flächeneinheit in den gesamten Halbraum emittierte Strahlungsleistung** der Hohlraumstrahlung durch Integration über alle Frequenzen ab. Wie lautet der analytische Ausdruck für die Konstante σ im Stefan-Boltzmann-Gesetz, welche Einheit hat sie und was ist ihr numerischer Wert?
(<u>Lösung</u>: $dW/dt = \sigma T^4$, $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{Wm^{-2}K^{-4}}$*)*

b) Man drücke das Plancksche Strahlungsgesetz als Funktion der Wellenlänge λ aus.

c) Man bestimme das Maximum der Wellenlängenverteilung und zeige damit das **Wiensche Verschiebungsgesetz.**

d) Hat die Konstante des Wienschen Verschiebungsgesetzes einen analytischen Wert? Was ist ihre Einheit und ihr numerischer Wert? *(<u>Lösung</u>:* $\lambda_{max} T = C_{Wien}$, $C_{Wien} = 2{,}88 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m \cdot K}$*)*

3. 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 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? *(<u>Lösung</u>:* $d_{Stern} = 1{,}02 \cdot 10^6$ km*)*

4. Ein Metalldraht mit einem spezifischen Widerstand von $\boldsymbol{\rho_{el} = 5\ \mu\Omega cm}$ und mit einem Durchmesser $\boldsymbol{d = 200\ \mu m}$ wird unter Vakuum bei einer Spannung von $\boldsymbol{U = 220\ V}$ von einem Strom ***I*** durchflossen und dadurch auf $\boldsymbol{T_1 = 3000\ K}$ aufgeheizt.

a) Unter der Annahme, dass der Glühdraht ein **idealer schwarzer Strahler** ist und die Energieabgabe ausschließlich durch Strahlung erfolgt berechne man den Heizstrom ***I***.
(<u>Lösung</u>: 42.58 A*)*

Als weitere Materialdaten des Drahtes seien seine Dichte $\boldsymbol{\rho = 19\ gcm^{-3}}$ und seine spezifische Wärmekapazität $\boldsymbol{c = 154{,}6\ Jkg^{-1}K^{-1}}$ bekannt.

b) Wie lange es dauert es, bis nach Abschalten des Stromes der Draht auf $\boldsymbol{T_2 = 800\ K}$ abgekühlt ist? *(<u>Lösung</u>:* 1,65 s*)*

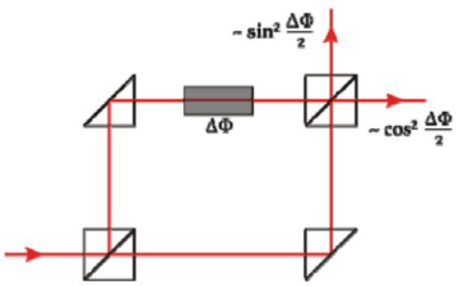
<u>Bitte Seite wenden!</u>

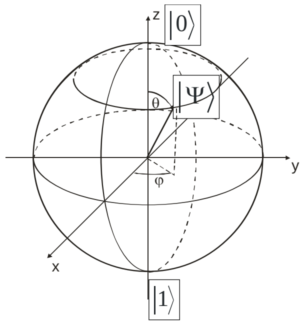
5. **Zweizustands-System und Superposition:** Blochkugel am Beispiel der Polarisation; ein Photon befinde sich in folgendem Zustand:

$$|\Psi\rangle = \cos(\pi/4)|H\rangle + \sin(\pi/4)\cdot e^{-\frac{i\cdot\pi}{4}}|V\rangle$$

a) Wo auf der Blochkugel befindet sich der Zustand?
b) Stellen Sie diesen Zustand in der Basis $|+45\rangle, |-45\rangle$ dar.
c) Stellen Sie diesen Zustand in der Basis $|\sigma^{+}\rangle, |\sigma^{-}\rangle$ dar.

6. **Darstellung einer Interferometersequenz auf der Blochkugel:** Die in der Skizze dargestellte Interferometeranordnung soll graphisch mit Hilfe der Blochkugel dargestellt werden:





a) Das Teilchen befindet sich zu Beginn im Zustand $|0\rangle$. Der erste Strahlteiler erzeugt die folgende Superposition: $\Psi = \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot(|0\rangle + i\cdot|1\rangle)$. Dies entspricht einer Rotation um die x-Achse der Blochkugel. Im Interferometer erfährt der Zustand $|0\rangle$ einen Phasenschub $\Delta\Phi$. Man betrachte folgende 3 Phasenschübe: $\Delta\Phi_1 = \frac{\pi}{2}$, $\Delta\Phi_2 = -\frac{3\cdot\pi}{4}$ und $\Delta\Phi_3 = -\pi$. Der 2. Strahlteiler hat genau die gleiche Funktion wie der 1. Strahlteiler (eine Rotation um die x-Achse der Bloch-Kugel). Man Zeichne den Zustandsvektor und jede seiner Bewegungen auf der Blochkugel ein und gebe den Endzustand an.

b) Ein nachgeschalteter Detektor misst den Endzustand in der Basis $|0\rangle$ und $|1\rangle$. Man gebe für alle 3 Phasenschübe die Wahrscheinlichkeiten P_0 und P_1, an dass am Ende der Zustand $|0\rangle$ bzw. $|1\rangle$ .gemessen wird. (*<u>Lösung</u>:*

$\Delta\Phi_1 = \frac{\pi}{2}$: *$P_0 = 0{,}5$, $P_1 = 0{,}5$;*

$\Delta\Phi_2 = -\frac{3\cdot\pi}{4}$: *$P_0 = 85{,}3\%$, $P_1 = 14{,}7\%$;*

$\Delta\Phi_3 = -\pi$: *$P_0 = 1$, $P_1 = 0$)*