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: $\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Q \cdot q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot 2 \cdot \mu \cdot v_0^2} \right)^2 \cdot \frac{1}{sin^4\left(\frac{\vartheta}{2}\right)}$.

Berechnen Sie weiters für den Fall der **Rutherford-Rückstreuung**, in dem eine **Masse m_2** mit der Geschwindigkeit v_2 (**Teilchen 2**) auf eine **ruhende Masse m_1** (**Teilchen 1**) tifft

a) die kinetische Energie von Teilchen 1 und Teilchen 2 nach dem Stoß
b) die **Änderung** der kinetischen Energie von Teilchen 2 nach dem Stoß
<u>Hinweis</u>: Die Lösung für das Problem des zentralen elastischen Stoßes kann der Literatur entnommen werden

2. **Compton-Effekt**: Man berechne

a) die **Änderung der Wellenlänge** λ eines an einem **ruhenden Elektron** unter dem **Winkel** φ gestreuten **Photons**, *(<u>Lösung</u>:* $\lambda_S - \lambda_0 = \frac{2h}{m_0 c}\sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)$*)*

b) den Betrag der **Geschwindigkeit *v*** des Elektrons **nach der Streuung**.

(<u>Lösung</u>: $v = c\sqrt{1 - \frac{1}{\left[1 + \frac{2h^2 \nu_0 \nu_S}{m_0^2 c^4}\sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)\right]^2}}$ *)*

3. **Flugzeit-Massenspektrometrie**: In einem **Flugzeit-Massenspektrometer** mit der Beschleunigunsspannung **U = 5 kV** und der Länge **L = 3 m** werden folgende drei Peaks zu drei verschieden **Zeitpunkten T_1**, **T_2** und **T_3** mit den Intensitäten **I_1**, **I_2** und **I_3** detektiert: **T_1 = 16,1632 µs, T_2 = 17,2747 µs**, **T_3 = 19,3015 µs**; **I_1 = 185640 cts**, **I_2 = 49980 cts**, **I_3 = 2380 cts**.

➔Man bestimme die Art des Gases, unter der Annahme, dass es sich um **einfach ionisierte Teilchen** handelt und dass **alle ionisierten Teichen detektiert werden**.
(<u>Lösung</u>: m_1=28,013 u, m_2= 31,998 u, m_3= 39,94 u, *mit* 1 u = 1,66 · 10^{-27} kg*)*

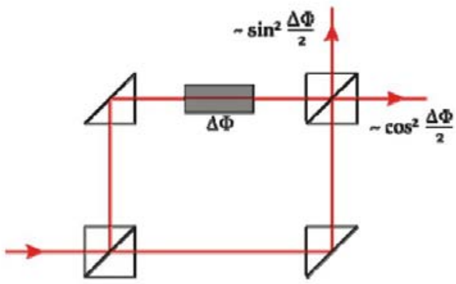
4. **Zweizustands-System und Superposition:** Blochkugel am Beispiel der Polarisation; ein Photon befinde sich in folgendem Zustand:

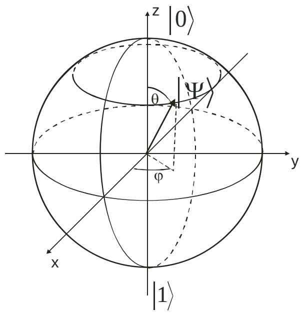
$$\left|\Psi\right\rangle = \cos(\pi/4)\left|H\right\rangle + \sin(\pi/4) \cdot e^{-\frac{i\cdot\pi}{4}}\left|V\right\rangle$$

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

<u>Bitte Seite wenden!</u>

5. **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: $\Psi = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(|0\rangle + i \cdot |1\rangle\right)$. 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>:*

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

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

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

6. **Interferometrie und Zweizustands-Systeme: Superposition und Bloch-Kugel:** Beschreiben Sie ein **Mach-Zehnder Interferometer** durch den **Weg** den ein Quantenzustand auf der Blochkugel zurücklegt.
<u>Hinweis:</u> 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

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

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

$\Delta\Phi = \pi$

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

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