

Physik IV 2011 - Übung 2

4. März 2011

1. Photonen Zähler.

Σ 2

Ein Photonenzähler besteht aus einer Photokathode, mehreren Dynoden und einer Anode. Trifft ein Photon auf der Photokathode auf, löst es dort aufgrund des Photoeffekt ein einzelnes Elektron heraus, das anschliessend in einem mehrstufigen Prozess an den Dynoden vervielfacht wird. Ein elektrisches Feld zwischen den Dynoden sorgt für eine Beschleunigung in Richtung der jeweils nächsten Dynode, wo durch Sekundäremissionsprozesse jedes Elektron weitere Elektronen herauslöst. Die so erzeugten Elektronen treffen schliesslich auf die Anode und werden dort als makroskopische Ladungsansammlung messbar.

Die Anzahl der Elektronen n_i , die ein einzelnes eintreffendes Elektron an der i -ten Dynode auslöst, kann durch einen statistischen Prozess mit Poisson-Verteilung $P(\nu_i, n_i) = e^{-\nu_i} \nu_i^{n_i} / n_i!$ beschrieben werden, wobei $\nu_i = \langle n_i \rangle$ der Mittelwert fuer die Anzahl ausgelöster Elektronen ist. Treffen nun statt einem mehrere Elektronen n_{i-1} auf der i -ten Dynode auf, so wird aufgrund der Unabhängigkeit jedes einzelnen Prozesses diese Wahrscheinlichkeit zu $P(n_{i-1} \nu_i, n_i)$.

- (a) Konstruieren Sie daraus die gesamte Wahrscheinlichkeits-Verteilung $P(n_1, \dots, n_M)$ fuer M Dynoden, wobei n_i die Anzahl der Elektronen nach der i -ten Dynode bezeichnet. Berechnen Sie den Erwartungswert $\langle n_M \rangle$ fuer die auf die Anode auftreffende Elektronenanzahl.
- (b) Die Sensitivität des Photonenzählers, insbesondere im Hinblick auf die Unterscheidung zwischen verschiedenen Photonenzahlen, kann durch die relative Varianz $(\langle n_M^2 \rangle - \langle n_M \rangle^2) / \langle n_M \rangle^2$ charakterisiert werden. Berechnen Sie die relative Varianz fuer $M = 3$. Verwenden sie dazu die Eigenschaft $(\langle n^2 \rangle - \langle n \rangle^2) = \langle n \rangle$, falls n Poisson-verteilt ist. Warum macht es Sinn, die Elektron-Multiplikation an der ersten Stufe ν_1 möglichst gross zu wählen?

2. **Bremsstrahlung - inverser photoelektrischer Effekt.**

$\sum 1\frac{1}{2}$

Beim inversen photoelektrischen Effekt wird durch Abbremsen von Elektronen in einem Metall Strahlung erzeugt.

- (a) Berechnen Sie sowohl relativistisch als auch nicht-relativistisch die Grenzwellenlänge des abgestrahlten Lichts, wenn die Elektronengeschwindigkeit die Hälfte der Lichtgeschwindigkeit beträgt. [1]
- (b) Welche Kühlleistung wird bei einem Elektronenstrom von 1 mA benötigt, wenn die Strahlungsausbeute ca. 1% der Elektronenenergie beträgt? [$\frac{1}{2}$]

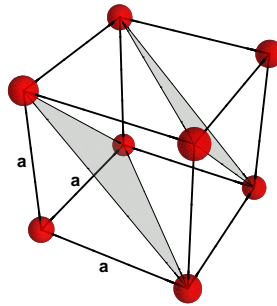


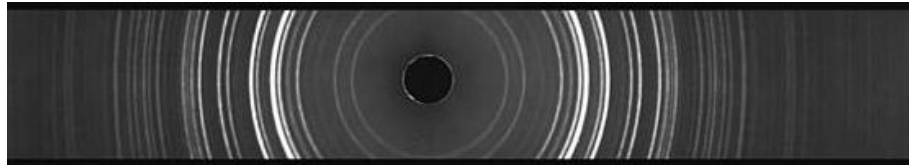
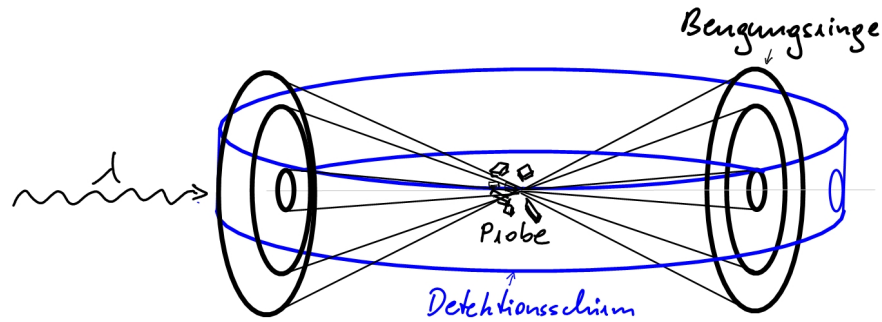
Abbildung 1: Kubische Kristallstruktur mit (111)-Gitterebenen.

3. **Bragg Reflexion.** Zur Erzeugung monochromatischer Röntgenstrahlung kann ein hinter einer polychromatischen Röntgenquelle platzierter Kristall verwendet werden.

$\sum 2\frac{1}{2}$

- (a) Nehmen Sie an, das Licht wird an der (111)-Gitterebene eines Germanium Kristalls ($a = 5.65 \text{ \AA}$) (Abb. 1) reflektiert. Unter welchem Winkel zur Gitterebene wird Strahlung mit einer Wellenlänge von $\lambda = 1 \text{ \AA}$ beobachtet (1. Ordnung)? [$\frac{1}{2}$]
- (b) Der einfallende Strahl habe eine Winkeldivergenz von $\Delta\theta = 2^\circ$. Berechnen Sie die Breite der Wellenlängenverteilung $\Delta\lambda$ des (111)-Reflexes. Wie muss der Winkel θ gewählt werden, damit – für beliebiges λ – die relative Unschärfe $\Delta\lambda/\lambda$ minimal wird? [1]
- (c) Das auf diese Art erzeugte monochromatische Licht kann zur Charakterisierung von unbekanntem Gitterstrukturen verwendet werden. Eine gebräuchliche Methode ist das Debye-Scherrer-Verfahren, wo monochromatisches Röntgenlicht auf eine polykristalline oder

pulverförmige Probe eingestrahlt wird (Pulverdiffraktometer). Können Sie anhand des Versuchsaufbaus erklären, wie es zu den unten gezeigten Beugungsringen kommt? [1]



4. Strahlungsdruck

Σ 2

- (a) Die Strahlungsleistung der Sonne auf die Erde beträgt 1366 W/m^2 . Berechnen Sie den Druck auf einen reflektierenden Spiegel auf der Erdoberfläche mit senkrechter Ausrichtung zur Sonne und vergleichen Sie mit dem Atmosphärendruck. Wie gross wäre der Druck direkt oberhalb der Oberfläche der Sonne (Abstand Sonne-Erde: $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$, Radius Sonne: $0.7 \times 10^9 \text{ m}$). [1]
- (b) Der Strahlungsdruck kann auch zum Abbremsen bzw. zur Kühlung von Atomen verwendet werden. Dabei werden Photonen mit einem der Flugrichtung entgegengesetzten Impuls von den Atomen absorbiert. Berechnen Sie die Distanz, innerhalb derer ein ^{23}Na -Atom mit einer Geschwindigkeit von 800 m/s durch einen Laserstrahl mit $\lambda = 589 \text{ nm}$ zum Stillstand gebracht wird, wenn in etwa alle 16 ns ein Photon absorbiert werden kann. Welche Leistung muss der Laser mindestens haben? [1]

5. Compton Effekt

Σ 2

- (a) Bestimmen Sie die Wellenlänge der Röntgenstrahlung für den Fall, dass die maximale kinetische Energie der Compton-Elektronen $T_{\max} = 0.2$ MeV beträgt. [1]
- (b) Ein Photon mit Energie $E = 0.15 \cdot 10^6$ eV wird an einem ruhenden, freien Elektron gestreut. Die Wellenlänge des Photons ändert sich dabei um $\Delta\lambda = 3 \cdot 10^{-12}$ m. Berechnen Sie den Streuwinkel des Compton-Elektrons. [$\frac{1}{2}$]
- (c) In der unten stehenden Abbildung ist das Energiespektrum des in der Vorlesung gezeigten Experiments zum Compton-Effekt gezeigt. Der Winkel zwischen dem einfallenden Strahl und dem Detektor ist 0° oder ϕ . Bestimmen Sie ϕ aus den Daten. [$\frac{1}{2}$]

