Experimentalphysik III Prof. M. Bargheer	Übungen: Wouter Koopman, Marc Herzog, Matthias Rössle	**WS 2016/17** Zum 6.12.16

Aufgabenblatt 7

I) Gelerntes wiedergeben

a) Was sind die Einsteinkoeffizienten?
b) Was sind die wesentlichen Bestandteile eines Lasers?
c) Mit welchen Experimenten bestimmt man die folgenden Eigenschaften von Photonen: Energie, Impuls, Drehimpuls, Masse, Frequenz, Wellenlänge (diskutieren!)
d) Mit welchen Experimenten bestimmt man die folgenden Eigenschaften von Elektronen: Ladung, Energie, Impuls, Drehimpuls, Masse (diskutieren!)

II) Einfache Aufgaben

*II.15) Rauschen und Detektion einzelner Quanten

Sie schwächen einen Lichtstrahl mit quadratischem Querschnitt (1 x 1 mm^2) stark ab und beobachten ihn mit Hilfe eines Zeilendetektors mit Pixeln der Größe 0.1 x 1 mm^2, der ein Dunkelrauschen von 100 Elektron pro Sekunde pro Pixel hat (d.h. diese Elektronen entstehen thermisch, auch wenn kein Licht absorbiert wird). Pro einfallendem Photon mit 2 eV Energie wird ein Elektron detektiert.

a) Skizzieren Sie die detektierte Intensität als Funktion der Pixelnummer bei einer Messzeit von 1 bzw. 100 s, um sich die Situation klar zu machen (Rauschen plus Signal, achten Sie auf Mittelwert und Standardabweichung des Rauschens). Der Strahl füllt exakt die Pixel 50-59 aus.

b) Wie hoch muss die Intensität des Laserstrahls bei den beiden Integrationszeiten sein, damit das Signal-zu-Rausch Verhältnis 1:1 ist, d.h. das Signal auf den Pixeln die vom Laserstrahl getroffen werden ist mindestens so hoch wie das Dunkelrauschen. (Skizze)

c) Jetzt nimmt man einen Röntgenstrahl mit 8 keV Photonen, die durch einen Szintillator vor dem Detektor in ca. 1000 Photonen mit je 2 eV verwandelt werden. Welche Intensität (Photonenzahl?) braucht man nun bei den beiden Integrationszeiten? Sollte man die Auslesezeit verkürzen? Quantitativ diskutieren!

III) Vertiefende Aufgaben

III. 10) Röntgenlaser

Wir versuchen einen Röntgenlaser zu konstruieren: Als Beispiel nehmen wir den Übergang von der L- zu der K Schale in Kupfer. Diese sogenannte $K\alpha$ Linie liegt hat die Photonenenergie $E = 8$ keV. Die Linienbreite ist $\Delta E = 1.5$ eV.

a) Wie groß in etwa die Lebensdauer des emittierenden Niveaus? (Größenordnung reicht) Was bedeutet das für das Erzeugen von Inversion?
b) Für effiziente stimulierte Emission muss es mehr als ein Photon pro Mode im Strahlungsfeld geben. Wenn man ein konstantes Frequenzintervall $d\nu$ betrachtet: Um das Wievielfache ist die Modenzahl in diesem Frequenzintervall bei 8 keV größer als bei der 632 nm Linie des HeNe Lasers?
c) Die Linienbreite des HeNe Lasers ist etwa $\Delta\nu = 1{,}5$ GHz. Vergleichen Sie die diese Linienbreite quantitativ mit der Breite der Kupfer $K\alpha$ Linie. Vergleichen Sie die relative Linienbreite der HeNe Laserlinie mit der relativen Linienbreite der $K\alpha$ Linie.
d) Angenommen Sie haben einen He-Ne Laser mit der Leistung 1 W. Wenn Sie einen Kupfer- $K\alpha$ Laser bauen könnten, der die gleiche Anzahl an Photonen pro s ausspuckt: Welche Leistung hätte dieser?
e) Wie funktioniert eigentlich ein Freie Elektronenlaser im Röntgenbereich (z.B. LCLS in Stanford)?

*III. 17) Thomson Streuquerschnitt

Ein Elektron mit Ladung e, das mit der Amplitude x_0 und der Kreisfrequenz ω schwingt, strahlt die folgende Leistung ab: $P = (e\, x_0\, \omega^2)^2 / (6\, \pi\, \varepsilon_0\, c^3)$. (Das haben wir in der E-dynamik nachgeschaut.)

a) Wenn ein Elektron von einem Röntgenstrahl der Amplitude E und Frequenz ω getroffen wird, die nicht resonant mit einem Quantenübergang ist, schwingt das Elektron quasifrei und die Bewegungsgleichung ist $m\ a = e\ E$. Mit welcher Amplitude x_0 schwingt das Elektron? (Differentialgleichung des Lorentz-Oszillators mit $\omega_0 = 0$)
b) Wie groß ist dann die Leistung P, die das Elektron (mit der gleichen Frequenz) abstrahlt?
c) Diese nach Hertz abgestrahlte Energie muss das Elektron aus dem einfallenden Röntgenstrahl gezogen haben, dessen Energiestromdichte $I = \varepsilon_0\ c\ E^2$ ist. Das Elektron hat also die Energie gestreut, die auf den Querschnitt $\sigma_0 = P/I$ gefallen ist. Berechnen Sie diesen Streuquerschnitt σ_0.
d) Wie groß ist der „klassische Elektronenradius“, der sich daraus ergibt?