Sehr schönes Design hab genossen es zu lesen! :D

Blatt 1 **25. Oktober 2021**

Experimentalphysik III

Leo Knapp, Marius Pfeiffer, Juan Provencio Tutor: Tobias Hammel

1. Aufgabe: Originalliteratur zum Photoeffekt

a) Die grundlegende Beobachtung ist, dass das von einem Funken (elektrischer Entladung) erzeugte UV-Licht einen weiteren Funken verstärken kann. Hertz spricht hier von aktiven und passiven Funken, tatsächlich findet die Verstärkung aber gegenseitig statt. Die Wirkung der aktiven auf die passive Funke nahm mit zunehmendem Abstand ab.

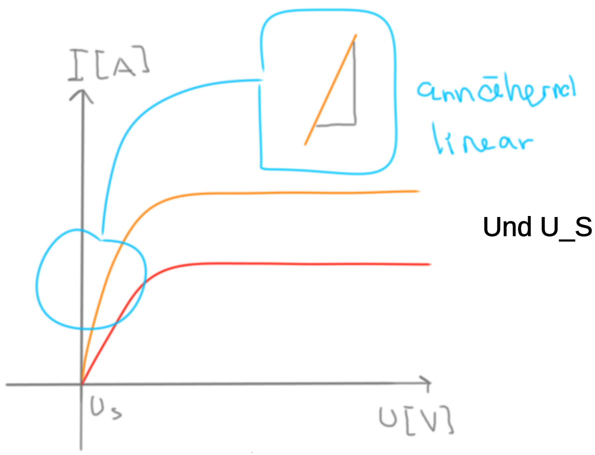
b) Zwischen den zwei Funken wurde eine Barriere aus diversen festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen gestellt. Als erstes befand sich Funke B von einem verdunkelnden Gehäuse eines nicht spezifizierten Materiales umgeben. Zunächst benutzte Hertz zur Überprüfung verschiedene Metalle unterschiedlicher Dicke, Paraffin, Siegellack, Harze, Hartgummi, Kautschuk, Glas, Porzellan, Steingut, Holz, Pappe, Papier, Elfenbein, Horn, tierische Haut, Federn, Glimmer, usw. Bei Krystallen zeigten sich einige undurchlässig zur Wirkung, wie beispielsweise Kupfervitrol, Topas und Amethyst; einige durchlässig aber abgeschwächt wie krystallisierter Zucker, Alaun, Doppelspath, Steinsalz und einige waren völlig durchlässig wie Marienglas und Bergkrystall.

   Hertz hat daraus schlussgefolgert, dass die Dicke der angewandten Körper möglicherweise eine Rolle spielen könnte, aber dass absorbierende Körper trotz sehr dünnen Dicke die Wirkung verhinderten.

c) Beim Abschnitt 15. erläutert Hertz, dass sich die ”Ursache” dieser Wirkung wie Licht verhalten soll. Dies hat er dadurch begründet, dass bei verschiedenen Einstellungen des Aufbaus die bekannten Beugungs- und Reflexionsgesetze des Lichtes auftreten. Ferner hat er das Licht des aktiven Funkens durch ein Prisma zerteilt, und mit einer Barriere abschnittweise die verschiedenen Wellenlängen untersucht, es zeigte sich, dass die Stelle der größten Wirkung dem Bereich entsprach, welcher jenseits des violetten Farbspektrums liegt - kurz gesagt also das UV-Licht. Bestätigen konnte er das auch, indem er zwischen beide Funken Material einbrachte, welches bekanntermassen UV-durchlässig ist. Da hier weiterhin eine starke Wirkung auf den Funken feststelltbar war, konnte er folgern, dass die Ursache UV-Licht sein muss.

2. Photoeffekt: Größenordnungen

a) Bei einer Fotozelle werden durch Licht Elektronen aus der Kathode rausgelöst. Diese werden in Richtung einer Ringanode abgeschossen werden und von dieser gefangen und in einen Stromkreis reingezogen, wo man durch diese einen Strom beobachten kann. Bei einer positiven Vorspannung ist diese Anode positiv geladen und zieht aktiv die Elektronen an. Mit zunehmender Spannung werden also die Elektronen stärker angezogen. Dies geht nur soweit, bis es keine Elektronen mehr aufgelöst werden als aufgefangen sein können, das heißt, der Fotostrom nähert sich asymptotisch einer Grenze an. Bei einer Sperrspannung U_s gelangen keine Elektronen mehr in die Ringanode.



Und U_S kann sogar negativ sein

Abbildung 1: Strom in Abhängigkeit der Anodenspannung

b) Bei erhöhter Intensität des Lasers werden mehr Elektronen rausgelöst, weil mehr Photonen auf die Kathode auftreten. Naiv kann man sich überlegen, dass wenn man die Intensität verdoppelt, dann werden doppelt so viele Photonen erzeugt, die dann wiederum doppelt so viele

Elektronen auslösen können. Man kann zumindest bis zu einer gewissen Größe einen linearen Verhältnis zwischen Fotostrom und Lichtintensität erwarten.

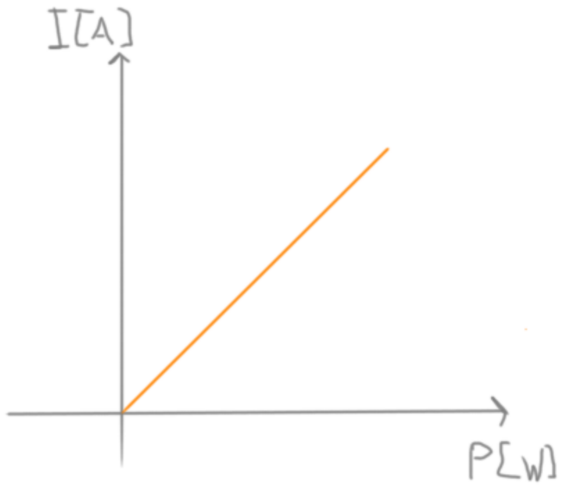


Abbildung 2: Strom in Abhängigkeit der Laserleistung

c) Gegeben ist ein Laser mit Durchmesser $d = 2\,\mathrm{mm}$, Wellenlänge $\lambda = 532\,\mathrm{mm}$, maximale Leistung $P = 1\,\mathrm{mW}$ und eine Kathode aus Cäsium mit einer Austrittsarbeit von $W = 2\,\mathrm{eV}$. Bekanntlich gilt:

$$W = N\nu h \qquad |\lambda\nu = c \tag{1}$$
$$= N \cdot \frac{c}{\lambda} h \tag{2}$$
$$N = \frac{W\lambda}{ch} \tag{3}$$
$$\approx 2,7 \cdot 10^5 \tag{4}$$

Tippfehler muss eine 15 sein

Angenommen jedes einzelne Photon löst genau ein Elektron raus erhalten wir in einer Sekunde:

$$I_{\mathrm{max}} = \frac{N}{t} e \approx 0,4\,\mathrm{mA} \tag{5}$$

3. Schwankungen von Laserpulsen

a) Als Verteilungsfunktion der Photonenzahl eines Laserimpulses wenden wir die gegebne Gauss-Verteilung

$$P(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\lambda}} \exp\left(-\frac{(n-\lambda)^2}{2\lambda}\right) \tag{6}$$

an. Zur Ermittlung des Erwartungswertes $\langle N \rangle$ führen wir das Integral.

$$\langle N \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} n \cdot P(n)\,\mathrm{d}n = \int_{-\infty}^{\infty} n \frac{1}{\sqrt{2\pi\lambda}} \exp\left(-\frac{(n-\lambda)^2}{2\lambda}\right) \mathrm{d}n \tag{7}$$

aus. Dies können wir durch die Definitionen

$$\mu = \lambda \tag{8}$$
$$\sigma = \sqrt{\lambda} \tag{9}$$

auf die im Hinweis der Aufgabenstellung gegebene Form bringen und erhalten somit

$$\langle N \rangle = \lambda \tag{10}$$
$$\mathrm{Var}(N) = \sqrt{\lambda}^2 = \lambda \tag{11}$$
$$\implies \Delta N = \sqrt{\mathrm{Var}(N)} = \sqrt{\lambda}. \tag{12}$$

Ausgehend von der gegebenen Leistung des Lasers von

$$E_{Laser} = 1\,\mathrm{mW} = 10^{-3}\,\mathrm{W} = 10^{-3}\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}} \tag{13}$$

kann die Photonenzahl pro Sekunde berechnet werden. Anhand der angegebenen Wellenlänge $\lambda = 532\,\mathrm{nm}$ und der Lichtgeschwindigkeit c, erhalten wir eine Frequenz von

$$\vartheta = \frac{c}{\lambda} \approx 5.64 \cdot 10^{14}\,\mathrm{Hz} \tag{14}$$

womit sich die Energie eines Photons als Produkt mit dem Planck'schen Wirkungsquantum berechnen lässt:

$$E_{Photon} = h \cdot \vartheta. \tag{15}$$

Es gilt also

$$E_{Laser} = \tilde{N} \cdot E_{Photon} = \tilde{N} \cdot h \cdot \vartheta \tag{16}$$

$$\iff \tilde{N} = \frac{E_{Laser}}{h \cdot \vartheta} \tag{17}$$

mit eingesetzten Werten

$$\tilde{N} = \frac{10^{-3}\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}}{h \cdot 5.64 \cdot 10^{14}\,\mathrm{Hz}} \approx 2.68 \cdot 10^{15}\,\frac{\text{Photonen}}{\text{Sekunde}} \tag{18}$$

Für eine Impulslänge von einer Pikosekunde entspricht dies einem Betrag von

$$\tilde{N} = 2.67 \cdot 10^{15}\,\frac{\text{Photonen}}{\text{Sekunde}} \cdot 10^{-12}\,\frac{\text{Sekunden}}{\text{Impuls}} \tag{19}$$

$$= 2670\,\frac{\text{Photonen}}{\text{Impuls}}. \tag{20}$$

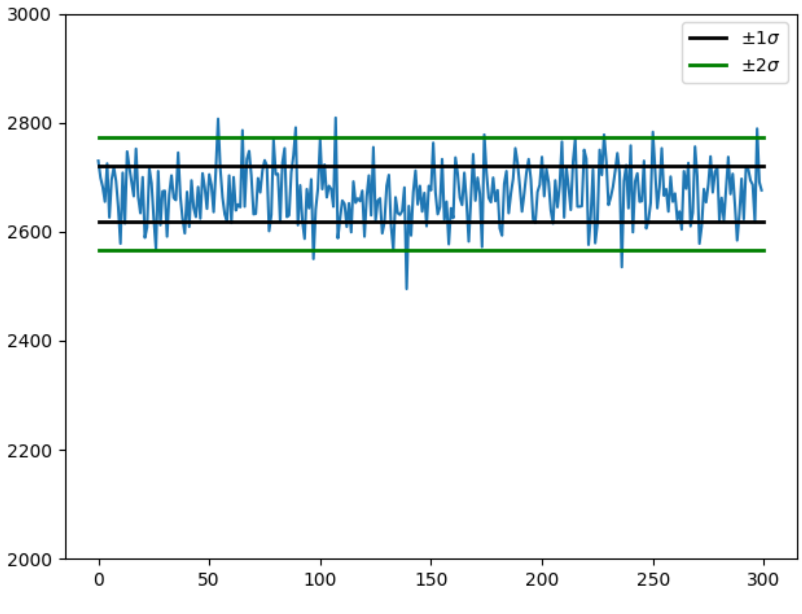
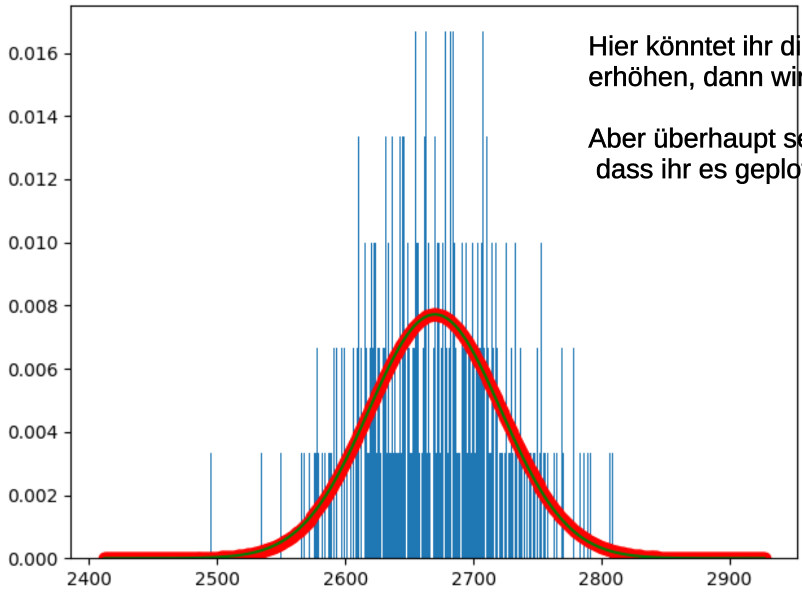


Abbildung 3: Erwartungswert



Hier könntet ihr die Bin-Breite noch etwas erhöhen, dann wird das Ergebnis anschaulicher

Aber überhaupt sehr schön, dass ihr es geplottet habt:)

Abbildung 4: Kurve

b) Wie im Skript beschrieben gilt, dass $\Delta N = \sqrt{\overline{N}}$ und nach Teil a) wissen wir $\overline{N} = \langle n \rangle$. Somit gilt für den Eingang mit

$$\overline{N} = 1000 \tag{21}$$

eine relative Photonenfluktuation von

$$\frac{\Delta N}{\overline{N}} = \frac{\sqrt{\overline{N}}}{\overline{N}} = \frac{1}{\sqrt{\overline{N}}} = \frac{1}{\sqrt{1000}} = 0.0316 \hat{=} 3.16\,\%. \tag{22}$$

Durch den Strahteiler erhalten wir zwei Photonenstrahlen, je mit

$$\overline{N}_1 = 0.9 \cdot 1000 = 900 \tag{23}$$
$$\overline{N}_2 = 0.1 \cdot 1000 = 100 \tag{24}$$

als mittlere Photonenzahl. Für deren relative Photonenfluktuation gilt somit

$$\left(\frac{\Delta N}{\overline{N}}\right)_1 = \frac{1}{\sqrt{900}} = 0.0333 \hat{=} 3.33\,\%. \tag{25}$$
$$\left(\frac{\Delta N_2}{\overline{N}_2}\right)_2 = \frac{1}{\sqrt{100}} = 0.1 \hat{=} 10.00\,\%. \tag{26}$$

Es ist hier zu sehen, dass die relativen Photonenfluktuationen an den beiden Ausgängen deutlich höher sind, als die am Eingang.

Super!