

Inhalt

Lernzettel Physik	1
Elektrische und Magnetische Felder	1
Schwingungen und Wellen	1
Quanten und Atomphysik	1
Versuche	1
Kernphysik	11

Lernzettel Physik

- Photoeffekt: [Vakuum Photozelle](#)
- Inverser Photoeffekt: [Röntgenstrahlung](#)
- Bragg-Reflexion am Kristall: [Bragg-Reflexion](#)

Elektrische und Magnetische Felder

Schwingungen und Wellen

Quanten und Atomphysik

Versuche

Glühelektrischer Effekt

Der glühelektrische Effekt (auch Richardson- oder Edison-Effekt) ist das Phänomen, dass eine glühende Metall- oder Halbleiteroberfläche Elektronen emittiert (Glühemission). Mit steigender Temperatur nimmt die kinetische Energie der Leitungselektronen im erhitzten Körper so weit zu, dass immer mehr von ihnen imstande sind, die Potenzielschwelle an der Oberfläche (Austrittsarbeit) zu überwinden.

Wiensches Geschwindigkeitsfilter

Verwendung

Ein Geschwindigkeitsfilter dient hauptsächlich dazu, aus dem Teilchenstrahl einer Ionenquelle nur diejenigen Teilchen den Filter passieren zu lassen, die eine bestimmte Geschwindigkeit besitzen, während alle übrigen im Filter „hängenbleiben“ – anders gesagt, kann man damit einen Teilchenstrom

mit nur einer genau definierten Geschwindigkeit „präparieren“, aber auch die Geschwindigkeit unbekannter geladener Teilchen bestimmen. Das Filter wird zum Beispiel in einem [Massenspektrometer](#) genutzt.

Aufbau

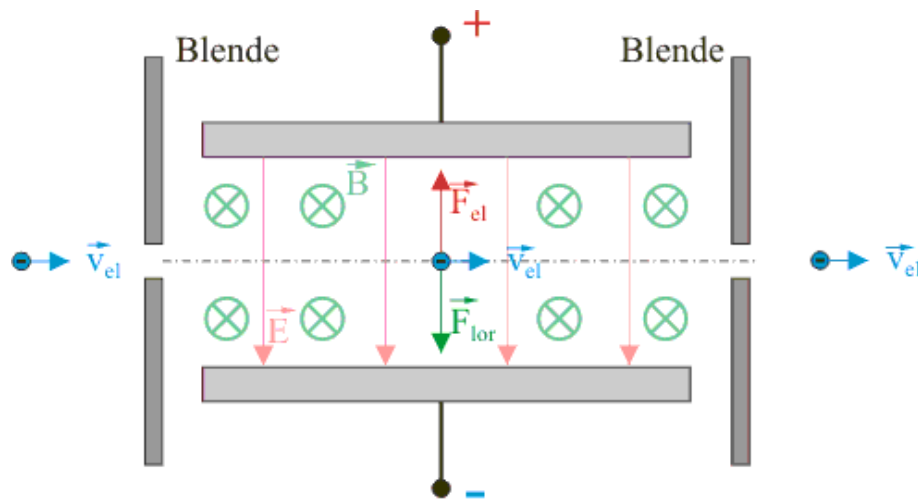


Figure 1: Wiensches Geschwindigkeitsfilter

Im Filter stehen ein homogenes elektrisches Feld und ein homogenes magnetisches Feld senkrecht aufeinander und senkrecht zur Einschussrichtung der geladenen Teilchen. Damit ein Teilchen nach dem Passieren der Eintrittsblende in gerader Bahn die Austrittsblende erreichen kann, muss an jedem Punkt Kräftegleichgewicht $F_{\text{el}} = F_{\text{L}}$ herrschen:

$$F_{\text{el}} = F_{\text{L}}$$

$$q \cdot E = q \cdot v \cdot B$$

$$v = \frac{E}{B}$$

Nur Teilchen mit dieser Geschwindigkeit können das Filter passieren. Alle anderen werden nach oben oder unten abgelenkt und erreichen daher die Öffnung der Ausgangsblende nicht.

Massenspektrometer

Aufbau

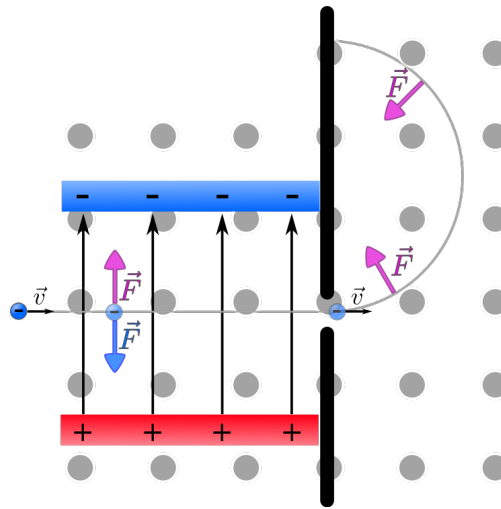


Figure 2: Massenspektrometer

Verwendung

Bei einem Massenspektrometer werden Teilchen eines Ionenstrahls zuerst mithilfe eines [Geschwindigkeitsfilters](#) mit einer bekannten Geschwindigkeit rausgefiltert, um dann z.B. mittels eines Magnetfeldes die verschiedenen Massen zu trennen.

Bewegung von Teilchen im homogenen Feld

Die Teilchen bewegen sich auf einem Kreisbogen. Dies wird durch den Zusammenhang $F_L = F_Z$ beschrieben:

$$F_L = F_Z$$

$$q \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$r = \frac{m \cdot v}{e \cdot B}$$

Da die Geschwindigkeit v und die Größe der Flussdichte B bekannt sind, hängt der Radius der Kreisbahn von der Masse m des Teilchens ab. Somit bewegen sich Teilchen verschiedener Massen auf verschiedenen Kreisbahnen. Dies wird genutzt, um Teilchen eines Ionenstrahls zu trennen.

Franck-Hertz-Versuch

Aufbau

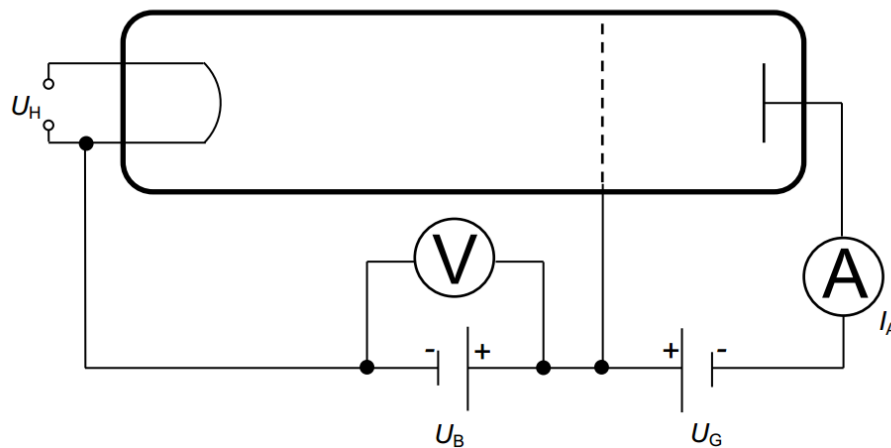


Figure 3: Franck-Hertz-Versuch

Bestandteile

- U_H **Heizspannung:**

Die Heizspannung hat die Funktion, mittels Glühelctrischem Effekt freie Elektronen in der Röhre zur Verfügung zu stellen.

- U_B **Beschleunigungsspannung:**

Die Beschleunigungsspannung hat die Funktion, zwischen Kathode und Gitter ein elektrisches Feld zur Verfügung zu stellen, in dem Elektronen beschleunigt werden.

- U_G **Gegenspannung:**

Die Gegenspannung sorgt dafür, dass zwischen Gitter und Anode ein Gegenfeld erzeugt wird. Dadurch wird erreicht, dass nur Elektronen, die eine Mindestenergie beim Durchfliegen des Gitters haben, die Anode erreichen und vom Strommesser gemessen werden.

- I_A **Strommesser:**

Das Strommessgerät misst den Anodenstrom und damit die Anzahl der Elektronen je Zeiteinheit, die die Anode erreicht.

Bewegung eines Elektrons in der Röhre

Elektronen treten aufgrund des [Glühelctrischen Effekts](#) aus der Kathode aus. Sie werden im elektrischen Feld zwischen Kathode und Gitter beschleunigt. Dabei kommt es zu Zusammenstößen mit den Hg-Atomen (Quecksilber-Atomen). Aufgrund ihrer Trägheit durchfliegen die meisten Elektronen

das Gitter und gelangen in das Gegenfeld. Nur Elektronen, die im Bereich des Gitters genügend Energie besitzen, können das Gegenfeld überwinden und die Anode erreichen. Sie fließen über die Anode ab und bilden den Anodenstrom I_A . Ansonsten kehren sie im Gegenfeld um und fließen über das Gitter ab.

So bildet sich ein Minimum im Messschrieb, wenn sich eine Anregungszone direkt vor dem Gitter befindet, da die Elektronen von dieser Anregungszone bis zum Gitter nicht ausreichend beschleunigt werden, um das Gegenfeld zu überwinden.

Diagramm

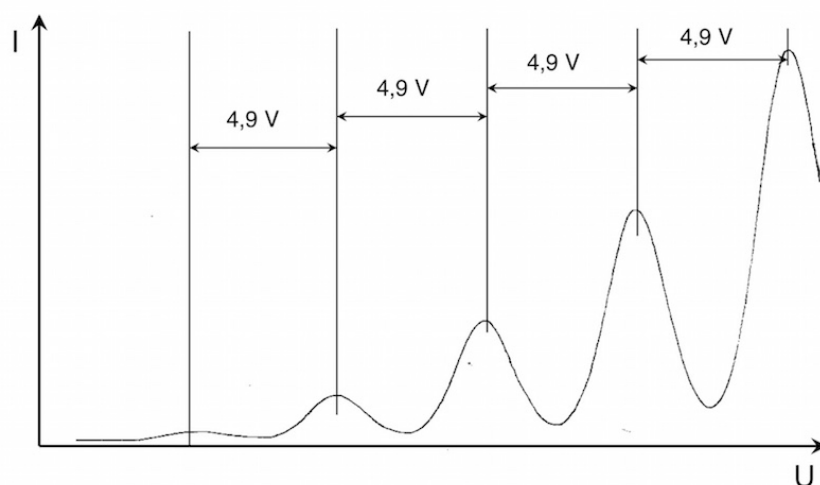


Figure 4: Franck-Hertz-Versuch Messschrieb

Hinweis: Es werden die Maxima genutzt um die Anregungsenergie festzustellen, da diese gegenüber den Minima leichter zu identifizieren sind. Dies ist möglich, da die Maxima und Minima ungefähr den gleichen Abstand haben.

Stöße der Elektronen mit den Hg-Atomen

Die Elektronen stoßen ständig mit Hg-Atomen zusammen. Haben sie eine Energie bis zu $4,8\text{ eV}$, so sind die Zusammenstöße elastisch und die Elektronen behalten ihre Energie. Haben die Elektronen genügend Energie (bei Quecksilber ca. $4,8\text{ eV}$) so ist der Stoß unelastisch und die Elektronen geben ihre Energie an die Hg-Atome ab. Anschließend werden die Elektronen erneut beschleunigt.

Das Hg-Atom hat die Energie aufgenommen und befindet sich nun in einem angeregten Zustand. Dieses möchte in sein Grundzustand zurück (Abregung) und gibt die Energiedifferenz in Form eines Photons ab. Die Energiedifferenz legt die Frequenz/Wellenlänge des Photons fest:

$$E_{\text{ph}} = h \cdot f$$

$$f = \frac{E}{h}$$

Ergebnisse des Franck-Hertz-Versuchs

- Elektronen können bei Stößen mit Atomen nur ganz bestimmte Energieportionen abgeben
- Die Größe der Energie ist abhängig von der Atomsorte/Element
- Elektronen einer Sorte können nur diskrete Anregungszustände einnehmen
- Die möglichen Energien werden in Energieniveauschema/Termschema dargestellt

Röntgenröhre

Aufbau

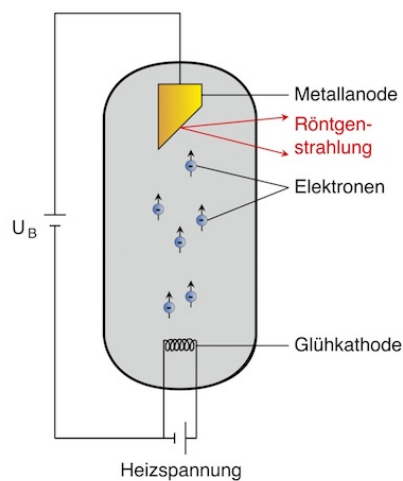


Figure 5: Röntgenröhre

Bestandteile

- U_H **Heizspannung:**

Die Heizspannung hat die Funktion, mittels Glühelctrischem Effekt freie Elektronen in der Röhre zur Verfügung zu stellen.

- U_B **Beschleunigungsspannung:**

Die Beschleunigungsspannung hat die Funktion, zwischen Kathode und Anode ein elektrisches Feld zur Verfügung zu stellen, in dem Elektronen beschleunigt werden.

- **Anode:**

Die Anode ist das Ziel der beschleunigten Elektronen, In ihr wird die Röntgenstrahlung ausgelöst.

Durchführung

Bei der Röntgenröhre werden Elektronen mit kinetischer Energie genutzt, um Photonen zu erzeugen. Die Energie der Elektronen wird durch Abbremsung ganz oder teilweise (in Stufen) in Photonen umgesetzt. Hierbei entsteht die sogenannte **Bremsstrahlung**.

Bremsstrahlung

Die Bremsstrahlung (auch Röntgenstrahlung) entsteht bei der Erzeugung in der **Röntgenröhre**.

Entstehung der Bremsstrahlung

Die Elektronen werden im elektrischen Feld beschleunigt und nehmen dabei die kinetische Energie

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = e \cdot U_B \quad \text{auf.}$$

Beim Aufprall auf die Anode werden die Elektronen sehr stark abgebremst. Ihre Energie kann dabei ganz oder teilweise auf ein Photon (Röntgenquant) übertragen werden. Das entstehende Spektrum ist kontinuierlich mit einer kürzesten Wellenlänge λ_0 bzw. λ_{min} (max. Photonenenergie).

$$E_{\text{ph}} = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$E_{\text{kin}} = e \cdot U_B$$

Energieerhaltungssatz EES

$$\frac{h \cdot c}{\lambda} = e \cdot U_B$$

Diagramm

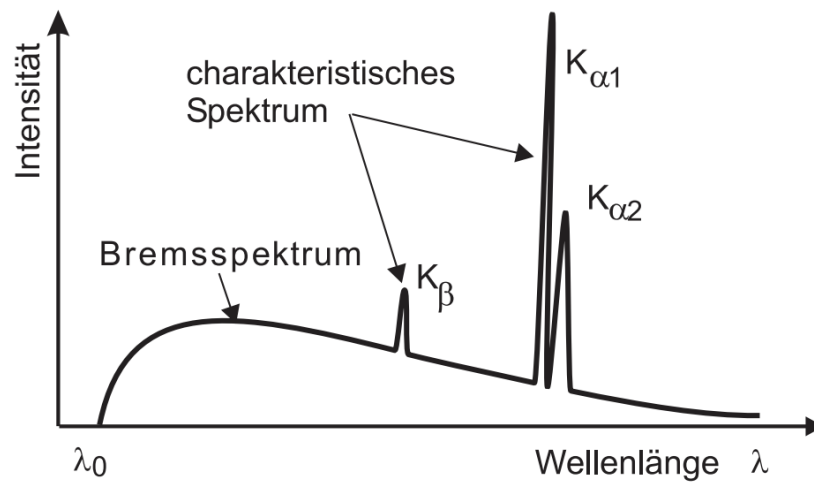


Figure 6: Bremsstrahlung

Hinweis: In dieser Grafik ist auf der Querachse die Wellenlänge aufgetragen, dies ist aber nicht immer der Fall, da manchmal auch die Frequenz aufgetragen ist!

Messung des Spektrums

Zur Messung wird folgender Aufbau genutzt, um das Spektrum mit der [Bragg-Reflexion](#) zu messen. Dabei wird ein Kristall mit Röntgenstrahlung bestrahlt. Die am Kristall reflektierte Röntgenstrahlung wird mit Hilfe eines Zählrohrs gemessen:

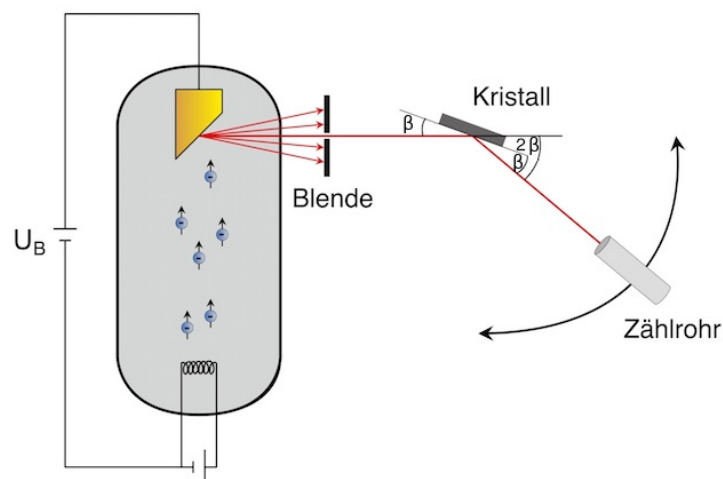


Figure 7: Bragg-Reflexion an einem Kristall

Bragg-Reflexion

In einigen Fällen beobachtet man, dass Wellen an regelmäßigen Strukturen nur unter ganz bestimmten Winkeln besonders stark reflektiert werden. Diese Winkel werden Glanzwinkel genannt, sie sind von der Wellenlänge und dem Strukturabstand abhängig. Die Bedingung wird als Bragg-Bedingung bezeichnet, die Reflexion als Bragg Reflexion. Es ist eine Interferenzerscheinung.

Typisch ist, dass Reflexion nicht nur an der Oberfläche erfolgt, sondern die Welle auch tief in das Material eindringen. Dies ist z.B. bei [Röntgenstrahlung](#) der Fall. Bragg Reflexion wird typisch bei Wellenlängen beobachtet/genutzt, die in der gleichen Größenordnung oder kleiner als die Gitterkonstante ist. Als Gitter werden Kristallgitter eingesetzt. Die Atome in Kristallen haben konstante Abstände, im einfachsten Fall in allen Richtungen die gleichen. Die Atome bilden Streuzentren für die einlaufende Welle. Das bedeutet, von jedem Atom geht in alle Richtungen eine Elementarwelle aus. Gezeichnet wurden hier aber nur die Ausbreitungsrichtungen, die für konstruktive Interferenz in Reflexionsrichtung von Bedeutung sind.

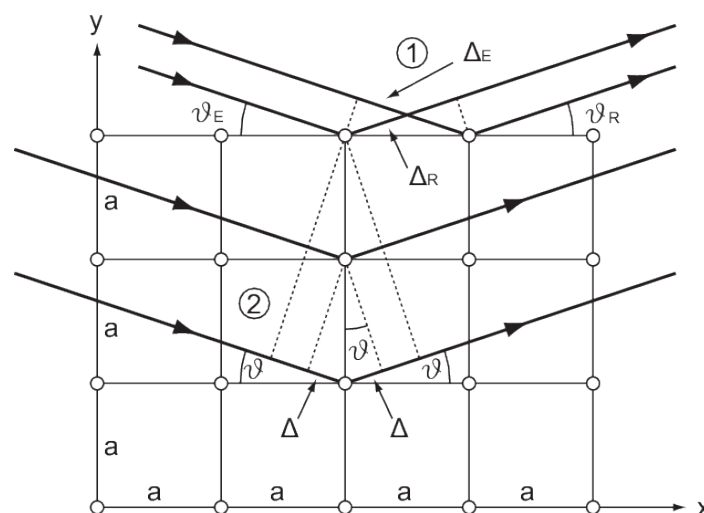


Figure 8: Bragg-Reflexion

Zwei Bedingungen müssen erfüllt sein:

1. "Normale Reflexion":

An jeder Gitterebene (z.B. Oberfläche des Kristalls) wird an jedem Atom die einlaufende Welle gestreut. Für die Richtung Einfallswinkel = Ausfallswinkel entsteht konstruktive Interferenz, da die Welle ausgehend keinen Gangunterschied zur Welle einlaufend hat.

2. Bragg Reflexion:

Ein Teil der Welle dringt tiefer in den Kristall ein und wird dann an tieferliegenden Ebenen gestreut. Diese Anteile haben den Gangunterschied $2 \cdot \Delta_s$ gegenüber den gestreuten Anteilen

aus der darüberliegenden Ebene. Konstruktive Interferenz kann nur entstehen, wenn dieser Gangunterschied ein vielfaches der Wellenlänge ist.

Treffen beide Bedingungen zu, so entsteht eine kräftige Reflexion in diese Richtung, der Winkel wird daher auch Glanzwinkel genannt. Die zusammengefasste Bedingung wird als Bragg-Beziehung bezeichnet:

$$2 \cdot \Delta s = 2 \cdot a \cdot \sin \beta = k \cdot \lambda$$

Beugung am Gitter

Vakuum Photozelle

Aufbau

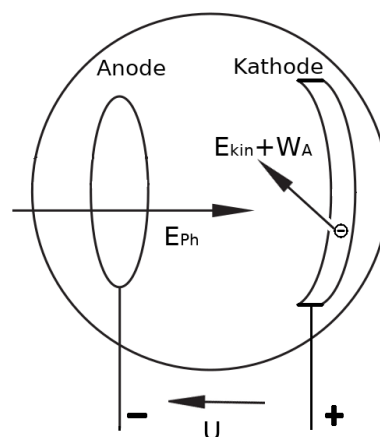


Figure 9: Vakuum Photozelle

Eine Anodenring und eine Kathode werden innerhalb eines Vakuumgefäßes platziert. Zusätzlich wird eine Photonenquelle benötigt, welche monoenergetisch sein sollte und genügend Anzahl von Photonen zur Verfügung stellen muss. Hierzu wird eine Hg-Dampflampe eingesetzt. Mit sehr schmalbandigen Filtern wird jeweils eine Spektrallinie des Hg-Linienspektrums ausgefiltert.

Theorie

Treffen Photonen auf eine Metalloberfläche, so können sie ihre Energie an Elektronen im Metall abgeben. Ist die Energie größer als die Austrittsarbeit W_A , so können die Elektronen die Metalloberfläche verlassen. Sie lagern sich im Anodenring an, der sich dadurch negativ auf die Spannung U auflädt und ein E-Feld zwischen Anodenring und Kathode aufbaut. Die weitere Aufladung findet solange statt, bis die kinetische Energie E_{kin} der Elektronen beim Austritt aus der Oberfläche nicht mehr ausreicht, um gegen das E-Feld anzukommen. Die Elektronen haben im Anodenring gegenüber der Kathode die potentielle Energie

$$E_{pot} = e \cdot U = E_{kin}$$

Eine Energiebilanz liefert: $e \cdot U = h \cdot f - W_A$

Werden f und U gemessen, so sind das Wirkungsquantum h und die Austrittsarbeit W_A des verwendeten Metalls bestimmbar.

Diagramm

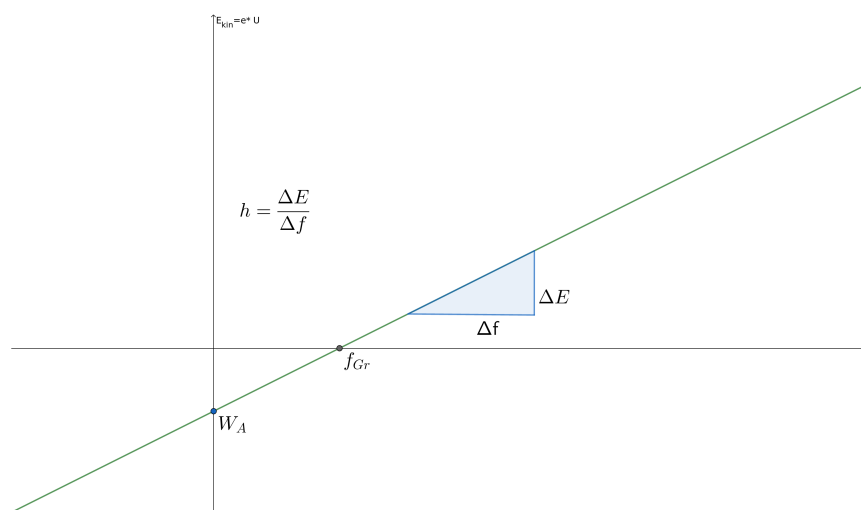


Figure 10: Vakuum Photozelle

Nahfeldinterferenz

Michelson-Interferometer

He-Ne-Laser

Kernphysik