Script Atomodelle - Teil 2

Franck-Herz-Versuch und
weitere Erscheinungen / Anwendungen

Inhalt

2. Der Franck-Hertz-Versuch
Ziel, Aufbau, Durchführung und Ergebnisse
Erklärung des $I_A(U_B)$-Verlaufs

3. Weitere Erscheinungen und Anwendungen
Lumineszenz: Fluoreszenz und Phosphoreszenz
Induzierte Emission
LASER: Aufbau, Funktion, Anwendungen
Metastabile Niveaus, Optischer Resonator

2. Der Franck-Hertz-Versuch

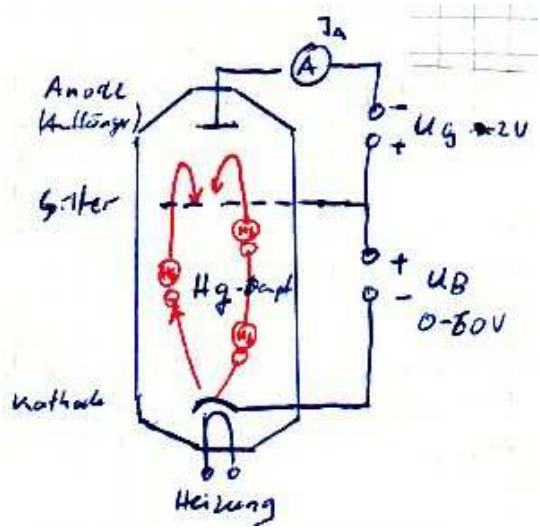
Komplett Lernstoff!

1913 James Franck (1882 - 1964), 31 Jahre
Gustav Hertz (1887 - 1975), 26 Jahre
Nobelpreis 1925

Ziel: Nachweis, dass Atome nur diskrete Energiewerte aufnehmen können.
Nicht Beweis irgendeines Atommodells
weder Bohrsches noch quantenmechanisches Modell
Ergebnisse lassen sich mit beiden Modellen deuten

Grundidee:
- Elektronen im el. Feld beschleunigen.
  ⇒ können kleines Gegenfeld überwinden
- Stoß mit Hg-Atomen
  a) Energie passt nicht
     ⇒ keine E-Abgabe, keine Änderung
  b) Energie passt
     ⇒ E-Abgabe
     ⇒ E_{Kin} der Elektronen ist Null
     ⇒ Gegenfeld kann nicht mehr überwunden werden
     ⇒ messbar

Versuchsaufbau:



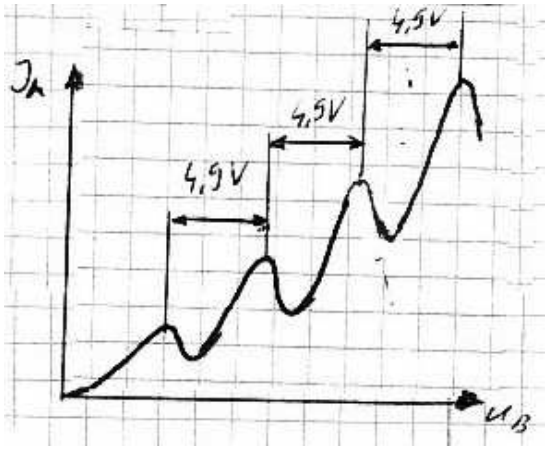
Wesentliche Dinge
- Füllung mit Hg-Dampf
- Glühkathode erzeugt e^-
- U_B: Beschleunigungsspannung, regelbar
- Gitter ist Anode für die Beschleunigung, ausgeführt als Netz, damit die e^- durchkommen
- U_G Gegenspannung, nur schnelle e^- kommen zum Auffänger
- Auffänger (Anode) sammelt e^- ein
- I_A Anodenstrom (nA Bereich)

Durchführung:

- U_B langsam vergrößern
- $I_A = f(U_B)$ messen

Info:
- Betriebstemperatur: ca 190 °C
- Hg-Dampf aus Hg-Perle im Gehäuse, verdampft bei höheren Temperaturen
- Temperatur des Hg-Gases bestimmt freie Weglänge der e^-.
  - zu niedrig: Druck (Teilchenabstand) zu gering, e^- nehmen nicht genug Energie auf
  - zu hoch: Druck (Teilchenabstand) zu groß, e^- stoßen nicht oft genug

Versuchsergebnis:



Eigenschaften:
- Auftreten periodischer Maxima
- Abstand benachbarter Maxima ist konstant (bei Hg: 4,9 V)

Info: 1. Maximum nicht bei 4,9 V sondern später
Ursache: Kontaktpotential (W_{AAnode} - $W_{AKathode}$) muss überwunden werden.

Begründung für den Verlauf der Kurve

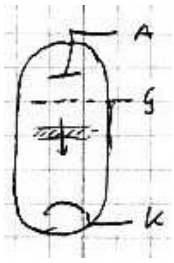
Kleines U_B (aber $U_B > U_G$)

E_{Kin} der e^- reicht nicht für Wechselwirkung mit Hg
⇒ geben keine E. ab
⇒ überwinden Gegenfeld
⇒ I_A messbar

U_B steigt ⇒ mehr e^- nehmen am Stromfluss teil
⇒ I_A steigt

Irgendwann:

E_{Kin} der e^- reicht kurz vor dem Gitter für WW mit Atomen
⇒ Hg-Atome nehmen die Energie auf
⇒ e^- haben keine Energie mehr
⇒ können Gegenfeld nicht mehr überwinden
⇒ I_A sinkt

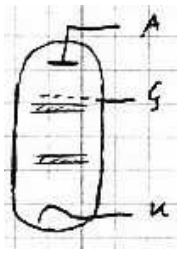


U_B steigt weiter
⇒ Stoßzone wandert runter
⇒ I_A steigt weiter, weil noch mehr e^- am Stromfluss teilnehmen

! Zwischen Stoßzone und Gitter keine E-Abgabe der e^- an Hg-Atome (E. ist zu groß oder zu klein)

Irgendwann:

E_{Kin} der (in der 1. Stoßzone abgebremsten) e^- reicht wieder
⇒ 2. Stoßzone
⇒ I_A sinkt (2. Maximum)



Weitere Steigerung von U_B: Prozess wiederholt sich

Wichtige Fakten:

- Maxima treten in gleichen Abständen auf
- Folgerung daraus:
  Atome können nur diskrete Energiewerte aufnehmen
- FH-Versuch steht in Übereinstimmung mit dem Bohrschen und quantenphysikalischen Atommodell, er lässt sich damit erklären

Achtung! FH-Versuch ist
- **kein Beweis** für irgendein Atommodell
- **kein Beweis** für e^- -Sprünge im Atom

Fragen zum Verständnis:

1. Wozu dient die Gegenspannung (das Gegenfeld)?
2. Welche Auswirkung auf das Versuchsergebnis (Diagramm) hätte
   - eine Gegenspannung von Null?
   - Eine Gegenspannung von 100 V?
3. Was würde bei Verwendung anderer Gase passieren?
4. Wohin verschwindet die Energie, die die Atome von den e^- haben?

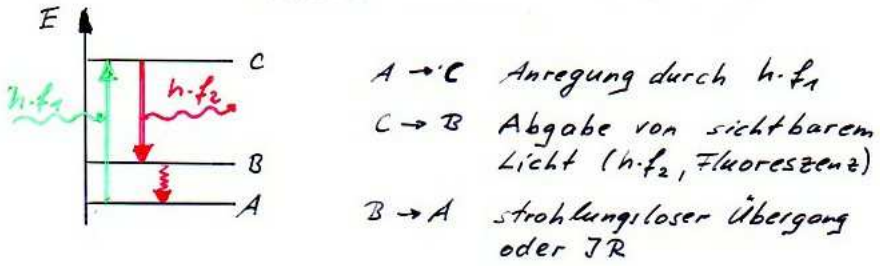
3. Weitere Erscheinungen und Anwendungen

Lernstoff: Alles bis auf gekennzeichnete Ausnahmen (Info).

Lumineszenz (Fluoreszenz, Phosphoreszenz)

1. Fluoreszenz ("Leuchtfarben")

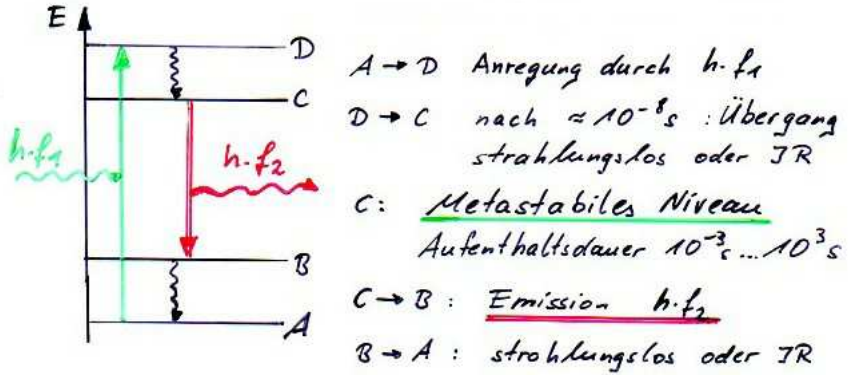
Entstehung von sichtbarem Licht unter Einwirkung von Licht anderer Wellenlänge (z.B. UV, "Schwarzlicht")



Anwendungen:
- Leuchtschirme
- Geldscheine (Sicherheitsmerkmal)
- Deko (Effektfarben unter "Schwarzlicht")

2. Phosphoreszenz ("Nachleuchten")

Nachleuchten von Materialien nach Anregung mit (sichtbarem) Licht.



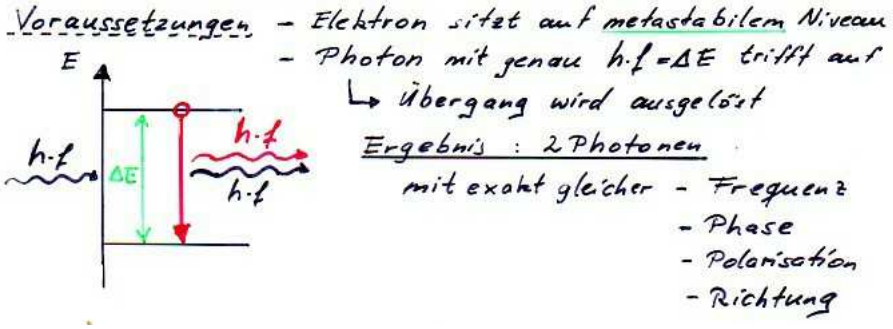
Metastabiles Niveau:
- Verlassen des Niveaus ist quantenmechanisch verboten
- Elektron sitzt fest.
- Aber in Quantenmechanik:
  verboten = extrem geringe Wahrscheinlichkeit

⇒ sehr lange Aufenthaltsdauer (bis Faktor 10^{12})

Anwendungen:
- Leuchtziffern (Uhr)
- Kennzeichnung von Notausgängen

Induzierte Emission

- Aufenthaltsdauer auf metastabilen Niveaus ist sehr lang
- Elektron "wartet"
    - Springt von allein, zu nicht vorhersehbarer Zeit gibt dabei ein Photon an
    - Wird angeregt zu springen ⇒ "induzierte" Emission
      Dazu: Photon passender Energie muss vorbei kommen



Wichtig: beide Photonen stimmen in allen Eigenschaften überein.

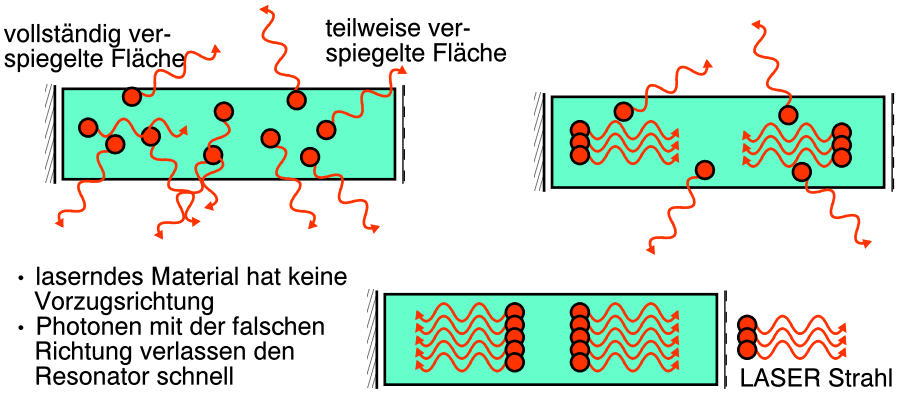
LASER

Anwendung der stimulierten Emission

- Grundidee:
    - viele Elektronen auf metastabilen Niveaus
      ⇒ **Besetzungsinversion** (Fachbegriff)
      D.h. statt der unteren Niveaus sind die oberen besetzt, die Besetzung ist invers.
    - ein "zündendes" Photon (spontaner Übergang)
      ⇒ Lichtlawine
      = **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

- Problem: Erzeugung eines Strahls
    - spontaner Übergang ist nicht steuerbar
    - Richtung der Lawine nicht vorhersehbar

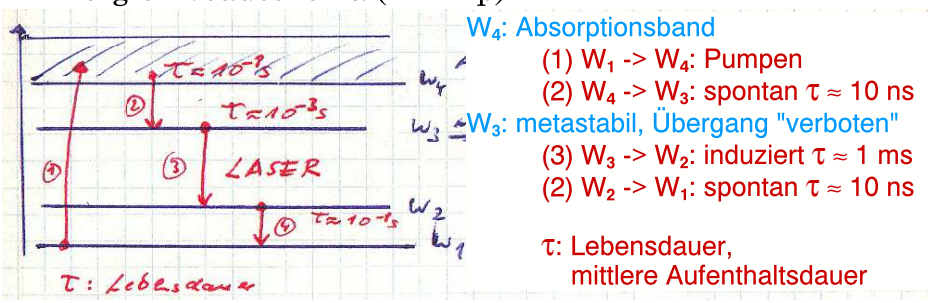
- Lösung: Optischer Resonator
    - zwei parallele Spiegel, Licht wird hin und her reflektiert
    - stehende Welle zwischen den Spiegeln ($l = k \cdot \lambda/s$)
    - diese Richtung wird verstärkt
    - Strahl tritt aus teilweise durchlässiger Seite aus



- Info: Arten (Unterscheidung nach laserndem Material)
  - Festkörperlaser z.B. Rubinlaser Al_2O_3:Cr
    Metastabile Niveaus an Chrom-Ionen
  - Gaslaser z.B. He-Ne-Laser
  - Halbleiterlaser z.B. GaAs
    - Laserpointer
    - CD / DVD - Laufwerke und ~brenner
    - MO Laufwerke
    - Informationsübertragung
  - Farbstofflaser Vorteil: durchstimmbar

- Beispiel: Rubinlaser

  Energieniveauschema (Prinzip)



  (1) "Pumpen": Anregung, hier durch Licht (Blitzlampe)
  Ziel: Absorptionsband (sehr viele dicht liegenden Niveaus)
  ⇒ weißes Licht zum Anregen verwendbar
  Nachteil: Nur Impulsbetrieb

- Eigenschaften von LASER Licht
  - extrem monochromatisch
  - vollständig linear polarisiert
  - geringe Divergenz (Erde ⇒ Mond: ∅500 m)

  Info: sehr gute Kohärenz (Interferenzfähigkeit)
  - alle Photonen gleichphasig
  - Gangunterschiede bis 300 km erlaubt (Kohärenzlänge)

- Anwendungen (5 kennen) z.B.
  - Medizin, z.B. Netzhautschweißen
  - sehr genaue Längenmessung
  - Holographie
  - Schmelzen und Schweißen bei hohen Temperaturen
  - Bohren feinster Löcher
  - Informationsübertragung (Lichtleitkabel)
  - Ausrichten von Bauwerken (vom Fußboden bis zum Tunnel)
  - optische Datenspeicherung (CD, DVD, MO)
  - Ziel: Einleitung der Kernfusion

(Ende)

Bildquellen

Alle im Script verwendeten Bilder, Grafiken, Texte und Berechnungen sind
(c) Rainer Bettsteller, Werner-von-Siemens-Gymnasium Magdeburg.

Copyright

Das Script darf unter der Bedingung für Unterrichtszwecke verwendet werden, dass die Herkunft nicht verschleiert wird. Insbesondere dürfen der Name des Autors und die Copyright-Vermerke nicht entfernt werden.
Werden Teile des Scripts, die nicht Allgemeingut sind (insbesondere Grafiken oder Diagramme), in eigenen Unterrichtsmaterialen verwendet so ist eine Quellenangabe erforderlich.

Eine Verwendung dieses Dokuments zu anderen als Lehrzwecken ist untersagt.

Haftungsausschluss

Die in diesem Dokument enthalten Informationen werden ohne Garantie auf Vollständigkeit oder vollständige Richtigkeit zur Verfügung gestellt. Sie dienen ausschließlich Lehrzwecken. Der Autor versichert alle Quellen nach bestem Wissen und Gewissen angegeben zu haben.

Magdeburg, Dezember 2014 bis Januar 2020