Spektren und Franck-Hertz

Linienspektren, Termschema, Röntgen, Franck-Hertz-Versuch

Das können Sie nach diesem Skript

– Spektrenarten unterscheiden
– Linien aus einem Termschema berechnen (längste, kürzeste, Ionisation)
– die Franck-Hertz-Kurve auswerten
– Anregung durch Photonen und durch Elektronen abgrenzen

Lernskript zur Vorbereitung auf das Vorabitur am 06.11.2026 · Gymnasium Westerstede, Niedersachsen
Grundlage: Kerncurriculum Physik (Niedersachsen 2022), Unterrichtsmaterialien www.physik.gym-wst.de, Aufgabenpool der Länder (IQB)

Inhalt

1 Spektrenarten . . . 3
2 Energieniveaus lesen . . . 3
3 Röntgenspektrum . . . 4
4 Resonanzabsorption und Fluoreszenz . . . 5
5 Franck-Hertz-Versuch . . . 5
6 Aufgaben . . . 6
7 Typische Fehler . . . 7
8 Wiederholung . . . 7

1 Spektrenarten

Typ	Entstehung	Aussehen
kontinuierlich	thermische Strahlung, Glühkörper	alle Wellenlängen
Emissionslinien	angeregte Atome leuchten	einzelne helle Linien
Absorptionslinien	weißes Licht durch kaltes Gas	dunkle Linien auf Kontinuum
Bandspektren	Moleküle	breite Banden

Ein kontinuierliches Spektrum entsteht in dichten, heißen Körpern: Die Atome stoßen einander und die Energiezustände überlappen, sodass alle Wellenlängen vorkommen. Ein Emissionslinienspektrum entsteht in verdünntem Gas: Nur die Differenzen diskreter Niveaus werden als Photonen frei. Bei der Absorption durchstrahlt weißes Licht ein kaltes Gas; das Gas entfernt genau die Photonen, deren Energie zu einem Übergang passt, und erzeugt dunkle Linien an denselben Wellenlängen. Moleküle zeigen zusätzlich Schwingungs- und Rotationsniveaus; viele dicht beieinanderliegende Linien erscheinen als Bande.

Merksatz
Linienspektren sind der direkteste Beweis für diskrete Energieniveaus: Nur die Differenzen $E_m - E_n$ sind als Photonen zugänglich.

2 Energieniveaus lesen

Das Termschema ist ein Energie-Lineal. Nach oben (Richtung $E = 0$) wird der Abstand zwischen den Niveaus kleiner; $E = 0$ ist die Ionisationsgrenze.

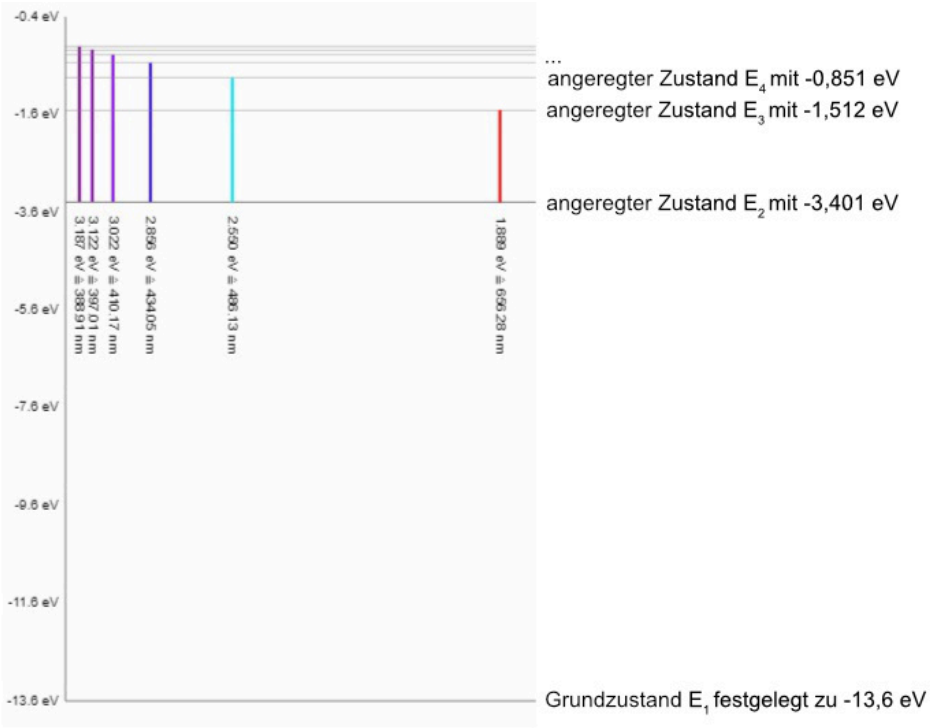


Abbildung 1: Wasserstoff-Termschema aus dem Schulmaterial. Quelle: Schulseite.

Die Energiedifferenzen zwischen den Niveaus bestimmen die Photonenenergien; je kleiner die Differenz, desto größer die Wellenlänge.

Frage im Abitur	Vorgehen
Energie des Photons	$\Delta E = \lvert E_m - E_n \rvert$
Wellenlänge	$\lambda = 1239{,}8\ \text{eV nm}\ / \Delta E_{[\text{eV}]}$
längste Wellenlänge	kleinster Sprung, also benachbarte Niveaus

kürzeste Wellenlänge einer Serie	größter Sprung innerhalb der Serie, Startniveau $n \to \infty$ bzw. oberstes gegebenes
Ionisationsenergie	Energie von n bis $E = 0$
Anregungsenergie	Energie vom Grundzustand bis zum Zielniveau
Seriengrenze	$\lambda_{\min} = 1239{,}8/\ \lvert E_{\text{Ziel}}\rvert$

Herleitung

Balmerformel aus dem Termschema

1. Die Energieniveaus des Wasserstoffs sind $E_n = -13{,}6\ \text{eV}\ /n^2$. Für einen Übergang von n nach m (mit $n > m$) ist

$$\Delta E = 13{,}6\ \text{eV}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) \tag{1}$$

2. Mit $\Delta E = hc/\lambda$ folgt

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{13{,}6\ \text{eV}}{hc}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) \tag{2}$$

mit der Rydberg-Konstante $R = 13{,}6\ \text{eV}\ /(hc) = 1{,}097 \cdot 10^7\,\text{m}^{-1}$.

3. Für $m = 2$ (Balmer) und $n = 3$:

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \frac{5}{36} \quad \Rightarrow \quad \lambda = 656\ \text{nm} \quad \text{(H-alpha, rot)} \tag{3}$$

4. Seriengrenze $n \to \infty$:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{R}{4} \quad \Rightarrow \quad \lambda = 364{,}6\ \text{nm} \tag{4}$$

Achtung – typische Fehlerquelle

Seriengrenze und Ionisationsgrenze sind verschieden: Die Seriengrenze gehört zur Serie (Ziel m fest, Start $n \to \infty$), die Ionisationsgrenze zum Grundzustand ($n = 1 \to \infty$).

3 Röntgenspektrum

Bestandteil	Ursache
Bremsspektrum (kontinuierlich)	Abbremsung der Elektronen, $eU_B = hc/\lambda_{\min}$
charakteristische Linien	Übergänge in den inneren Schalen des Anodenmaterials

Die charakteristischen Linien entstehen, wenn ein schnelles Elektron ein Elektron aus einer inneren Schale des Anodenatoms herausschlägt. Fällt ein Elektron aus einer höheren Schale in das frei gewordene Niveau, wird die Energiedifferenz als Photon emittiert. Der Übergang von L nach K heißt K_α, der von M nach K heißt K_β. Weil die Energieniveaus vom Element abhängen, ist das Linienspektrum für das Anodenmaterial charakteristisch; die Moseley-Beziehung $\sqrt{f} \sim (Z - 1)$ ordnet die Linien der Kernladungszahl Z zu.

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU_B} = \frac{1239{,}8\ \text{eV nm}}{U_B} \quad (U_B \text{ in V}) \tag{5}$$

Mit der Moseley-Beziehung $\sqrt{f} \sim (Z - 1)$ lässt sich das Anodenmaterial bestimmen.

Experiment

Aufbau. Röntgenröhre mit Glühkathode und Metallanode, regelbare Hochspannung U_B, Kristall-Spektrometer und Detektor.

Durchführung. U_B verändern und das Intensitätsspektrum über der Wellenlänge aufnehmen.

Beobachtung. Kontinuierliches Bremsspektrum mit scharfer Grenzwellenlänge $\lambda_{\min}$ und zusätzliche charakteristische Linien des Anodenmaterials.

Auswertung. $\lambda_{\min} = hc/(eU_B)$; die Linien folgen den Energieniveaus der Anodenatome.

Fehler und Sicherheit. Winkel und Ordnung der Reflexe tragen die Unsicherheit; die Apparatefunktion wirkt systematisch. Röntgenschutz beachten und nur im abgeschirmten Gerät messen.

4 Resonanzabsorption und Fluoreszenz

Ein Gas absorbiert genau die Wellenlängen, die es auch emittieren kann (Energieerhaltung, Resonanz). Fluoreszenz: Absorption im UV, Emission sichtbar – die Emission hat **kleinere** Energie, weil ein Teil als Wärme abgegeben wird (Stokes-Verschiebung).

In der Leuchtstoffröhre erzeugt die Gasentladung UV-Licht; die Leuchtstoffschicht an der Glaswand absorbiert es und sendet sichtbares Licht aus. Bei der weißen LED wird eine blaue oder UV-LED mit einem Leuchtstoff kombiniert; der Leuchtstoff wandelt einen Teil des kurzwelligen Lichts in längere Wellenlängen um. Überlagern sich viele Farben, erscheint das Licht weiß.

5 Franck-Hertz-Versuch

Experiment

Aufbau. Evakuierte Röhre mit Hg-Dampf (oder Ne), Glühkathode, beschleunigende Gitter- spannung U, Gegenfeld U_G zwischen Gitter und Auffänger, Amperemeter.

Durchführung. U von 0 auf 30 V erhöhen, Strom I messen.

Beobachtung. Im idealisierten Modell fällt I bei 4,9 V, 9,8 V, 14,7 V … wieder ab (Periodizität $\Delta U \approx 4{,}9$ V). Die Quellenkurve zeigt das erste Maximum bei ca. 6 V; die weiteren Maxima liegen im Abstand von 4,9 V. Bei 32 V sind sechs Leuchtzonen sichtbar. Bei Ne leuchtet das Gas in einer orangeroten Schicht.

Erklärung. Elektronen geben bei Stößen genau $\Delta E = e \cdot 4{,}9$ V an Hg-Atome ab; ihre Restenergie reicht nicht mehr über das Gegenfeld. Nach dem Stoß beginnt die Beschleunigung erneut – daher die Periodizität.

Bedeutung. Direkter Nachweis diskreter Anregungsenergien ohne Spektroskopie.

Fehler und Sicherheit. Beschleunigungs- und Gegenfeldspannung sowie der Auffängerstrom sind die Mess- größen; die Kontaktspannung wirkt systematisch. Heizung und Hochspannung langsam regeln, Röhre nicht öffnen.

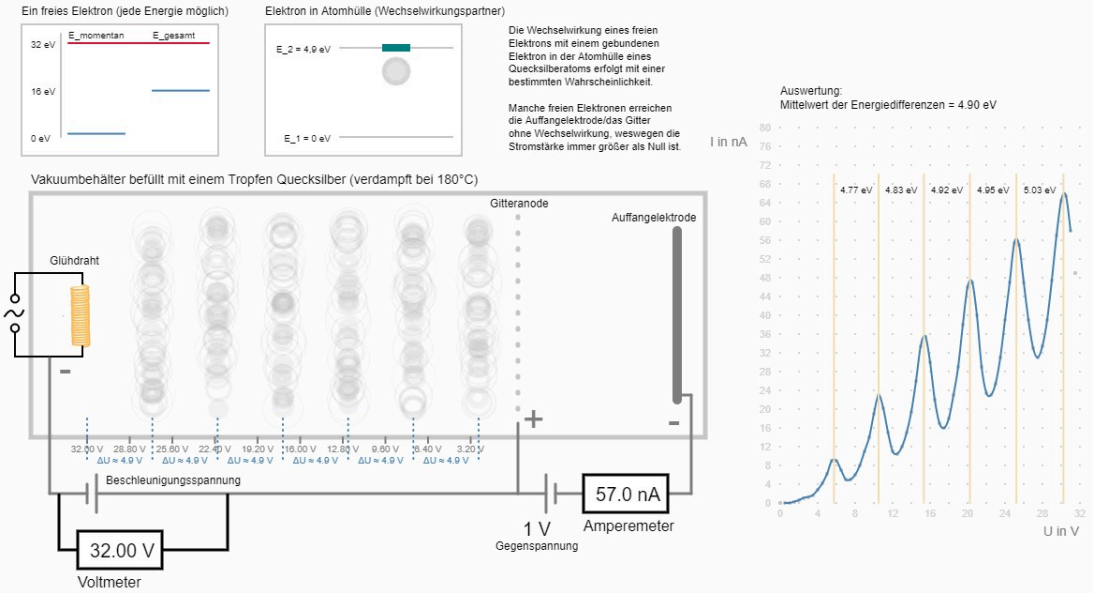


Abbildung 2: Franck-Hertz-Kennlinie aus dem Schulmaterial. Quelle: Schulseite.

Im idealisierten Modell liegen die Minima bei 4,9 V, 9,8 V und 14,7 V. Die Quellenkurve ist gegenüber diesem Modell um ca. 1,1 V verschoben: Ihr erstes Maximum liegt bei ca. 6 V. Diese Verschiebung folgt aus der Gegenspannung von 1 V und dem Kontaktpotenzial; sie wird hier nicht als eigene Messgröße verwendet. Der konstante Abstand von 4,9 V ist der Beweis, dass die Atome nur feste Energiebeträge aufnehmen.

Herleitung

Anregungsenergie und Emissionswellenlänge

1. Maxima liegen bei $U_n = n \cdot \Delta U + U_0$ (U_0: Verschiebung durch Gegenspannung und Kontaktpotenzial).
2. Also U_n gegen n auftragen: Steigung ΔU, Achsenabschnitt U_0.
3. Anregungsenergie $\Delta E = e \cdot \Delta U = 4{,}90$ eV.
4. Die beim Zurückfallen emittierte Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{1239{,}8}{4{,}90} = 253 \text{ nm} \tag{6}$$

5. Diese UV-Linie ist bei Hg bekannt – die Bestätigung, dass Elektronenstöße dieselben Niveaus anregen wie Photonen.

Anregung durch	Bedingung
Photonen	$hf = \Delta E$ exakt; kein Überschuss möglich
Elektronen	kinetische Energie $\geq \Delta E$; Überschuss bleibt als E_{kin}

6 Aufgaben

Aufgabe 1 AFB II 12 P.

Die Franck-Hertz-Kurve mit Quecksilber zeigt Maxima bei ca. 6,0 V, 10,9 V, 15,8 V und 20,7 V.

1. Bestimmen Sie die Anregungsspannung aus dem Abstand der Maxima.
2. Berechnen Sie die Wellenlänge der emittierten Strahlung.
3. Erklären Sie, warum das Gas beim Versuch leuchtet und warum das erste Maximum nicht bei 4,9 V liegt.

Lösung

(1) U_n gegen n: Steigung 4,90 V. Also $\Delta U = 4{,}90$ V (Anregung).

(2) $\Delta E = 4{,}90$ eV, $\lambda = 1239{,}8/4{,}90 = 253$ nm – die bekannte Hg-UV-Linie.

(3) Ein Teil der Hg-Atome wird durch Stöße angeregt und fällt unter Emission sichtbarer Linien zurück. Bei Neon ist das Leuchten besonders auffällig, weil viele der anschließenden Übergänge im Sichtbaren liegen; dort sieht man die Leuchtschicht direkt.

Aufgabe 2 AFB II 10 P.

Ein Wasserstoffgas wird mit weißem Licht durchstrahlt.

1. Skizzieren Sie das beobachtete Spektrum.
2. Berechnen Sie die Grenzwellenlänge der Lyman-Serie.
3. Begründen Sie, warum die Balmer-Linien schwächer sind.

Lösung

(1) Kontinuierliches Spektrum mit dunklen Linien bei 121,6 nm, 102,6 nm … (Lyman) und 656 nm, 486 nm … (Balmer).

(2) Seriengrenze $n \to \infty$: $\Delta E = 13{,}6$ eV, $\lambda = 1239{,}8/13{,}6 = 91{,}2$ nm.

(3) Im Grundzustand sind die Atome meist in $n = 1$; Übergänge nach $n = 2$ verlangen bereits angeregte Atome. Daher sind Balmer-Absorptionen bei Raumtemperatur schwach.

Aufgabe 3 AFB III 12 P.

Die Franck-Hertz-Kurve ist gegenüber dem idealisierten Modell um etwa 1,1 V verschoben. Beurteilen Sie, warum man trotzdem die Anregungsenergie 4,9 eV ablesen kann, und erklären Sie den Unterschied zwischen Steigung und Achsenabschnitt.

Lösung

Die Verschiebung addiert zu jedem Maximum denselben Betrag U_0 (Gegenspannung plus Kontaktpotenzial). Die Differenz zweier benachbarter Maxima bleibt deshalb $\Delta U = 4{,}9\ \text{V}$; die Anregungsenergie folgt aus der Steigung, nicht aus dem absoluten Wert eines Maximums. Der Achsenabschnitt U_0 ist keine Anregungsspannung und darf nicht als solche gelesen werden. Erst die Steigung ΔU ergibt $\Delta E = e\Delta U = 4{,}9\ \text{eV}$.

7 Typische Fehler

Fehler	Richtig
Seriengrenze = Ionisationsgrenze	Serie: Ziel m fest, Start $n \to \infty$
Energie in eV und Wellenlänge in m ohne Umrechnung	λ in nm mit $hc = 1239{,}8$
„Franck-Hertz zeigt, dass Elektronen Wellen sind“	er zeigt diskrete Anregungsenergien
Maximaabstand als Kontaktspannung gedeutet	Steigung ist ΔU; der Achsenabschnitt U_0 ist Gegenspannung plus Kontaktpotenzial
Absorptionslinien als hell beschrieben	Absorption = dunkle Linien

8 Wiederholung

Kern	Formel / Aussage
Photonenenergie aus λ	$E = 1239{,}8\ \text{eV nm}\ /\lambda$
Übergang	$\Delta E = E_m - E_n$
Seriengrenze	$\lambda_{\text{min}} = 1239{,}8/\ \lvert E_{\text{Ziel}}\rvert$
Röntgengrenze	$\lambda_{\text{min}} = 1239{,}8/U_B$
Franck-Hertz	$U_n = n\Delta U + U_0$
Anregungsenergie	$\Delta E = e\Delta U$
Photon oder Elektron	Photon exakt, Elektron mindestens ΔE

Verstehen, nicht auswendig: warum die Minima periodisch sind; warum die Emission langwelliger als die Absorption sein kann; warum Linien diskret sind.

Prüfungsrelevanz

Das musst du können:

- **erklären**, wie Emissions-, Absorptions- und kontinuierliche Spektren entstehen;
- **erklären**, warum der Franck-Hertz-Strom periodische Einbrüche zeigt;
- **berechnen**: Übergangsenergie, Wellenlänge, Seriengrenze und λ_{min} im Röntgenspektrum;
- **begründen**, warum die Linien diskret sind und die Bremsstrahlung kontinuierlich;
- **skizzieren**: Franck-Hertz-Kurve und Röntgenspektrum mit Grenzwellenlänge.

Quellen (Abruf 2026-11-02).

- Emissionsspektren: https://www.physik.gym-wst.de/docs/d13/14atomhuelle/05emissionsspektren/docs.md
- Absorptionsspektren: https://www.physik.gym-wst.de/docs/d13/14atomhuelle/06absorptionsspektren/docs.md
- Röntgenspektrum: https://www.physik.gym-wst.de/docs/d13/14atomhuelle/08roentgenspektrum/docs.md
- Franck-Hertz: https://www.physik.gym-wst.de/docs/d13/14atomhuelle/07franckhertz/docs.md
- Kerncurriculum Physik Niedersachsen 2022: https://cuvo.nibis.de/
- CODATA 2018; Rydberg-Konstante $R = 1{,}097 \cdot 10^7$ 1/m.
- Abbildungen: Unterrichtsmaterialien der Schulwebsite (`05_Grafiken/schule/`).