PROFESSOR ERKLÄRBÄR

Serie Physik · Folge 12 · Advanced

PHYSIK

LEHRERINFO ZUM VIDEO

Quantenphysik – Licht in Portionen

FACH	STUFE	DAUER	VIDEO
Physik	Gymnasium · Sek II (Matura/Abitur)	15 min	youtube.com/@Erklaerbaer

01 Lernziele

Nach dem Video können die Schülerinnen und Schüler …

- den Photoeffekt beschreiben und seine Widersprüche zum Wellenmodell benennen,
- Photonenenergien mit $E = h \cdot f = h \cdot c/\lambda$ berechnen und in Elektronvolt umrechnen,
- die Einstein-Gerade $E_{kin} = h \cdot f - W_A$ anwenden (Grenzfrequenz, Gegenspannung),
- den Welle-Teilchen-Dualismus am Doppelspalt mit einzelnen Teilchen erklären,
- de-Broglie-Wellenlängen $\lambda = h/p$ berechnen,
- die Unschärferelation qualitativ einordnen.

02 Voraussetzungen

Folge 10 Advanced („Optik“): Licht als Welle, $c = \lambda \cdot f$, Spektrum, Doppelspalt. Folge 11 Advanced: $E = m \cdot c^2$. Energie in Joule, Impuls $p = m \cdot v$. Mathematisch: Zehnerpotenzen, lineare Funktionen. Eine Grundlagen-Folge 12 gibt es nicht.

03 Ablauf des Videos

ZEIT	KAPITEL	INHALT UND PRAXISBEISPIEL
0:00	Einstieg	Zinkplatte: rotes Licht nie, schwaches UV sofort · Ident · Serien-Fahrplan
0:51	Was du brauchst	$c = \lambda \cdot f$, Spektrum · Doppelspalt · Joule, $E = m \cdot c^2$
1:29	Das Rätsel	Hallwachs 1888 (Elektroskop, Glasscheibe) · Erwartung des Wellenmodells · Lenard 1902
2:42	Lichtquanten	Einstein 1905, Planck 1900 · $E = h \cdot f$ (Merksatz) · eV · Rot 1,9 eV, UV 5 eV, Zink 4,3 eV PAUSE-FRAGE 532 nm → 2,3 eV · Nobelpreis

4:45	Die Einstein-Gerade	W_A · $E_{kin} = h \cdot f - W_A$ · Steigung h · Grenzfrequenz, 288 nm · 0,7 eV · Gegenspannung · Millikan 1916 · Merksatz
6:12	Photonen zählen	Laserpointer $3{,}3 \cdot 10^{15}$ pro Sekunde · Kamerasensor · Dunkelkammer PAUSE-FRAGE Sonnenbrand durch UV, nicht IR
7:32	Welle oder Teilchen?	Doppelspalt mit einzelnen Photonen · Wahrscheinlichkeit · Tonomura 1989 · Welcher-Weg · Merksatz
8:35	Materiewellen	de Broglie 1924 · Elektron 100 V: 0,12 nm · Beugung am Kristall · Elektronenmikroskop · Tennisball
9:38	Die Unschärferelation	Heisenberg 1927 · Wellenpakete · Elektron im Atom $\Delta v \approx 580$ km/s · Anwendungen · Quantencomputer
10:42	Turbinen-Baustein 12	Solarzelle: Bandlücke Si 1,1 eV · gut ein Fünftel gegen ≈ 90 % Wasserkraft · LED umgekehrt
11:39	Prüfungsfallen	vier Fallen (siehe 04)
12:23	Zusammenfassung	fünf Kernaussagen · Auflösung des Einstiegs
13:00	Quiz	4 Fragen · Endkarte Folge 13 Advanced

04 Typische Fehlvorstellungen und Prüfungsfallen

- „Helleres Licht macht schnellere Elektronen." – Helligkeit = Anzahl der Photonen, Frequenz = Energie pro Photon (Kapitel 2, 4, 10).
- eV und J verwechselt – 1 eV = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J (Kapitel 3, 10).
- nm nicht in m umgerechnet – 650 nm = $6{,}5 \cdot 10^{-7}$ m (Kapitel 3, 10).
- Grenzfrequenz und Grenzwellenlänge vertauscht – Mindestfrequenz bedeutet Höchstwellenlänge (Kapitel 4, 10).
- „Ein Photon ist ein winziges Kügelchen." – Photonen sind weder klassische Teilchen noch klassische Wellen (Kapitel 6).

05 Einsatz im Unterricht

Einstieg: Hallwachs-Versuch mit Zinkplatte, Elektroskop und UV-Lampe (mit und ohne Glasscheibe) – oder als Video.

Experiment: Planck-Konstante mit LEDs verschiedener Farben bestimmen (Schwellenspannung gegen Frequenz).

Vertiefung: Aufgaben 2–10; Einstein-Gerade aus Messwerten zeichnen und h ablesen.

Prüfungsvorbereitung: Kapitel 10 und das Arbeitsblatt (Aufgaben im Stil von Matura-/Abiturprüfungen).

Hinweis: Die Austrittsarbeit von Zink liegt je nach Oberfläche bei 4,3–4,9 eV; im Video wird 4,3 eV verwendet. Die Wirkungsgrade der Solarmodule sind gerundet („gut ein Fünftel"). **Sicherheit:** UV-Lampen nur mit Augenschutz verwenden; Laserpointer nie auf Augen richten.

06 Quellen

- Hallwachs, W. (1888): Über den Einfluss des Lichtes auf electrostatisch geladene Körper. Annalen der Physik 269
- Einstein, A. (1905): Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. Annalen der Physik 17
- Millikan, R. A. (1916): A Direct Photoelectric Determination of Planck's „h“. Physical Review 7
- Tonomura, A. et al. (1989): Demonstration of single-electron buildup of an interference pattern. American Journal of Physics 57
- CODATA 2018: h = 6,626 070 15·10⁻³⁴ J·s, e = 1,602 176 634·10⁻¹⁹ C (exakt) – physics.nist.gov
- EDK: Rahmenlehrplan für die Maturitätsschulen (Physik) · KMK: Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife (2020)

NAME _____ KLASSE _____ DATUM _____

Quantenphysik – Licht in Portionen

$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J·s · $c = 3 \cdot 10^{8}$ m/s · 1 eV = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J · $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg · $h \cdot c \approx 1240$ eV·nm.

1 Merksätze ergänzen ●○○

Licht gibt Energie nur in Portionen ab: _____.

Ob Elektronen austreten, entscheidet die _____ – wie viele, die _____.

2 Photonenenergie ●○○

Berechne die Energie eines blauen Photons (450 nm) in Joule und in Elektronvolt.

3 Kalium ●●○

Kalium hat die Austrittsarbeit 2,3 eV. Löst rotes (650 nm), grünes (530 nm) bzw. blaues Licht (450 nm) Elektronen aus? Wie gross ist jeweils E_{kin}?

4 Grenzwellenlänge ●○○

Berechne die Grenzwellenlänge von Kalium. In welchem Bereich des Spektrums liegt sie?

5 Gegenspannung ●●○

Bei UV-Licht von 200 nm braucht man an einer Metallplatte 1,9 V Gegenspannung, bis kein Elektron mehr ankommt. Bestimme die Austrittsarbeit des Metalls.

6 Photonen zählen ●●○

Eine grüne LED gibt 5 W Licht bei 530 nm ab. Wie viele Photonen sendet sie pro Sekunde?

7 Helligkeit ●●○

Beim Photoeffekt mit UV-Licht verdoppelst du die Helligkeit. Was passiert mit der Anzahl und mit der Geschwindigkeit der Elektronen? Begründe mit dem Photonenmodell.

8 de Broglie ●●○

a) Ein Elektron fliegt mit $2 \cdot 10^{6}$ m/s. Berechne seine Wellenlänge. b) Ein Staubkorn (10^{-9} kg) fliegt mit 1 mm/s. Berechne seine Wellenlänge und vergleiche.

9 Doppelspalt ●●●

Erkläre, warum beim Doppelspalt mit einzelnen Elektronen nach vielen Durchgängen ein Streifenmuster entsteht, obwohl jedes Elektron als einzelner Punkt ankommt.

10 Solarzelle ●●○

Die Bandlücke von Silizium beträgt 1,1 eV. Welches ist die grösste Wellenlänge, die eine Siliziumsolarzelle noch nutzen kann?

11 Quiz aus dem Video – kreuze an ●○○

a) Energie eines Photons ☐ Helligkeit ☐ Frequenz ☐ Lampengrösse

b) hellere Lampe ☐ mehr Elektronen ☐ schnellere ☐ nichts

c) 1 eV ☐ $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J ☐ $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J ☐ $9 \cdot 10^{16}$ J

d) Doppelspalt, einzelne Elektronen ☐ Abstossung ☐ Welle, Wahrscheinlichkeit ☐ Schirm

Lösungen

1 Merksätze

$E = h \cdot f$ · Frequenz · Helligkeit

2 Photonenenergie

$E = 6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8} : 4{,}5 \cdot 10^{-7} \approx 4{,}4 \cdot 10^{-19}$ J ≈ 2,76 eV

3 Kalium

Rot 1,91 eV < 2,3 eV: nein · Grün 2,34 eV: knapp, $E_{kin} \approx 0{,}04$ eV · Blau 2,76 eV: $E_{kin} \approx 0{,}46$ eV

4 Grenzwellenlänge

$\lambda_g = 1240$ eV·nm : 2,3 eV ≈ 540 nm – grün; längere Wellen (gelb, rot) lösen keine Elektronen aus

5 Gegenspannung

$E_{Photon} = 1240 : 200 = 6{,}2$ eV · $E_{kin} = 1{,}9$ eV → $W_A = 6{,}2 - 1{,}9 = 4{,}3$ eV (z. B. Zink)

6 Photonen zählen

$E = 3{,}75 \cdot 10^{-19}$ J · $N = 5 : 3{,}75 \cdot 10^{-19} \approx 1{,}3 \cdot 10^{19}$ Photonen pro Sekunde

7 Helligkeit

Doppelt so viele Photonen → doppelt so viele Elektronen. Die Energie pro Photon bleibt gleich → die Elektronen werden nicht schneller.

8 de Broglie

a) $\lambda = 6{,}626 \cdot 10^{-34} : (9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot 2 \cdot 10^{6}) \approx 3{,}6 \cdot 10^{-10}$ m = 0,36 nm · b) $\lambda = 6{,}626 \cdot 10^{-34} : (10^{-9} \cdot 10^{-3}) \approx 6{,}6 \cdot 10^{-22}$ m – unmessbar klein

9 Doppelspalt

Jedes Elektron verhält sich auf dem Weg wie eine Welle, die durch beide Spalte geht und interferiert. Diese Welle bestimmt nur die Wahrscheinlichkeit, wo es auftaucht. Viele Einzeltreffer zeichnen die Wahrscheinlichkeitsverteilung nach – das Streifenmuster.

10 Solarzelle

$\lambda = 1240$ eV·nm : 1,1 eV ≈ 1130 nm (nahes Infrarot)

11 Quiz

a) Frequenz b) mehr Elektronen c) $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J d) Welle, Wahrscheinlichkeit