

PHMOD HS25 - Master Sheet

Formeln + Theorie-Checks (VL 1-13)

1. Wellen & Interferenz (VL 1)

$c = \lambda f$; $\omega = 2\pi f$; $k = 2\pi/\lambda$. Phase: $\phi = kx - \omega t$.

- **Interferenz:** Max: $\Delta s = n\lambda$; Min: $\Delta s = (n + \frac{1}{2})\lambda$.
- **Gitter/Spalt:** $d \sin \alpha = n\lambda$.
- **Stehende Welle:** $\lambda_n = \frac{2L}{n}$; Abstand Knoten-Knoten = $\lambda/2$.
- **Phasensprung:** Reflexion am dichteren Medium $\rightarrow \pi$ ($\lambda/2$).
- **Theorie:** Auflösung: Blau (*short* λ) löst besser auf als Rot.

2. Spezielle Relativität (VL 2-3)

$\beta = v/c$; $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$.

- **Trafo:** $x' = \gamma(x - vt)$; $t' = \gamma(t - \frac{vx}{c^2})$.
- **Invarianten:** $d\tau^2 = dt^2 - \frac{1}{c^2}dx^2$; $E^2 - (pc)^2 = (mc^2)^2$.
- **Dynamik:** $p = \gamma mv$; $E_{kin} = (\gamma - 1)mc^2$; $E_{tot} = \gamma mc^2$.
- **Beschleunigung:** $x(\tau) = \frac{c^2}{a} (\cosh \frac{a\tau}{c} - 1)$;
 $v(t) = \frac{at}{\sqrt{1+(at/c)^2}}$.
- **Theorie:** Ruhemasse m ist invariant. Zeitdilatation bewiesen durch **Myonen-Zerfall**.

3. Photoeffekt & Strahlung (VL 4)

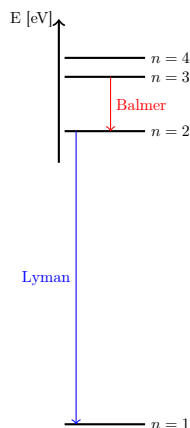
$E = hf = hc/\lambda$; $P = \sigma AT^4$; $\lambda_{max}T = 2.9 \cdot 10^{-3} mK$.

- **Photoeffekt:** $E_{kin,max} = hf - W_A = e \cdot U_{stop}$.
- **Theorie:** Intensität erhöht nur Anzahl der Photonen, nicht deren Energie. Licht hat Teilchencharakter.

4. Atome & Quantenmechanik (VL 5-7)

$1/\lambda = R_H(1/n_1^2 - 1/n_2^2)$; $E_n = -13.6 \text{ eV}/n^2$.

- **Schrödinger:** $i\hbar\partial_t\Psi = \hat{H}\Psi$; $\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m}\Delta + V(x)$.
- **Kasten:** $E_n = \frac{n^2\hbar^2}{8mL^2}$; $\psi_n = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin(\frac{n\pi x}{L})$.
- **Unschärfe:** $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$; $\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$.
- **Qubits:** $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ mit $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$.



5. Teilchenphysik & Dirac (VL 8)

Dirac-Gl: $(i\gamma^\mu\partial_\mu - m)\psi = 0$.

- **Standardmodell:** 6 Quarks (u, d, c, s, t, b), 6 Leptonen (e, μ, τ, ν).
- **Kräfte:** γ (EM), g (Stark), W/Z (Schwach), Higgs (Masse).
- **Check:** Proton (uud), Neutron (udd). Dirac sagt **Antimaterie** voraus. Quarks haben Farbladung.

6. Kernphysik (VL 9)

$E_B = [Zm_p + Nm_n - m_{Kern}]c^2$ | $N(t) = N_0e^{-\lambda t}$;
 $T_{1/2} = \ln 2/\lambda$.

- **Zerfall:** α ($\frac{4}{2}\text{He}$), β^- ($e^-, \bar{\nu}$), β^+ (e^+, ν), γ (Photon).
- **Check:** Bindungsenergie-Maximum bei **Eisen** ($A = 56$). Fusion (leichte Kerne), Spaltung (schwere Kerne).

7. Aufbau der Materie (VL 9)

- **Pauli-Prinzip:** Zwei Fermionen (z.B. Elektronen) können nie im identischen Quantenzustand sein.
- **Sitzplatz-Regel:** Pro Zustand nur 1 Elektron. Durch den **Spin** ($\uparrow\downarrow$) passen 2 Elektronen in ein Orbital.
- **Bändermodell:** Isolatoren (große Lücke), Halbleiter (kleine Lücke), Leiter (Überlappung).



8. Kosmologie & ART (VL 10-11)

$R_s = 2GM/c^2$ | $v = H_0 D$ | $z = \Delta\lambda/\lambda_0$ | $G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$.

- **Check: GPS-System:** Uhren in Satelliten gehen schneller wegen schwächerer Gravitation (ART). Dies ist stärker als die SRT-Verlangsamung.
- **Inhalt:** 69% Dunkle Energie, 26% Dunkle Materie, 5% Atome.
- **Expansion:** Doppler-Verschiebung
 $1 + z = \sqrt{(1 + \beta)/(1 - \beta)}$.

9. Chaos & Modelle (VL 12-13)

$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n)$ | $D = \log N / \log(1/s)$.

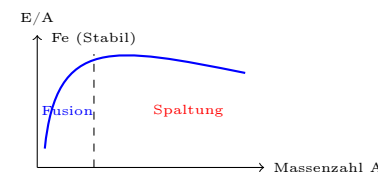
- **Chaos:** Ab $r \approx 3.57$. Deterministisch, aber extrem sensitiv auf Startwerte (Schmetterlingseffekt).
- **Modelle:** Validierung (Ist es das richtige Modell für den Zweck?) vs. Verifizierung (Rechnet das Modell korrekt?).

10. Konstanten (Shortcut-Werte)

Sym.	Eingabe Taschenrechner	Einheit
c	$3 \cdot 10^8$	m/s
h	$6.626 \cdot 10^{-34}$	Js
hc	1240	eV · nm
e	$1.602 \cdot 10^{-19}$	C
m_e	511	keV/ c^2
$k_B T$	0.025	eV (bei 300K)

- $1 \text{ u} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$ | $1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Zusatz: Energie-Gewinnung



- **Fusion:** Leichte Kerne verschmelzen (Sonne).
- **Spaltung:** Schwere Kerne werden geteilt (AKW).
- **Warum?** Alles will zum energetischen Minimum (Eisen).

Bsp 1: Wellen & Auflösung (VL 1)

- **Frage:** Warum nutzt ein Blue-Ray Player blaues Licht (405 nm) statt rotes (650 nm)?
- **Antwort:** Gemäss Gitterformel $d \sin \alpha = n\lambda$ ist der Ablenkwinkel bei kleinerem λ kleiner. Die Beugungsbegrenzung sinkt, Punkte können enger liegen $\rightarrow$ höhere Datendichte.
- **Rezept Interferenz:** Gegeben Δs (Wegunterschied). Rechne $\Delta s/\lambda$. Ist das Ergebnis $1, 2, 3 \dots \rightarrow$ Max. Ist es $0.5, 1.5, 2.5 \dots \rightarrow$ Min.

Bsp 2: SRT - Myonen & Myten (VL 2-3)

- **Szenario:** Myon entsteht in 10km Höhe, lebt $\tau = 2.2\mu s$, fliegt mit $0.99c$.
- **Klassisch:** $s = v \cdot \tau \approx 650m \rightarrow$ erreicht Boden nie.
- **Relativistisch:** Myon-Uhr geht langsamer ($\Delta t = \gamma \tau$). Mit $\gamma \approx 7$ ist $\Delta t \approx 15\mu s \rightarrow s \approx 4.5km$.
- **Längenkontraktion:** Aus Sicht des Myons ist die Atmosphäre nur $10km/\gamma \approx 1.4km$ dick. Beides erklärt, warum wir Myonen am Boden messen!

Bsp 3: Photoeffekt - Die Falle (VL 4)

- **Frage:** Was passiert, wenn wir die Bestrahlungsstärke (Intensität) verdoppeln?
- **Antwort:** Der Photostrom (Anzahl e^- pro Sekunde) verdoppelt sich. Die **maximale Energie** (E_{kin}) der Elektronen bleibt **gleich**!
- **Rechnung:** Licht mit $300nm$ trifft auf Metall mit $W_A = 2.3eV$.
- $E_{ph} = 1240/300 = 4.13eV$.
- $E_{kin} = 4.13eV - 2.3eV = 1.83eV$.

Bsp 4: QM - Der Quantenpunkt (VL 7)

- **Szenario:** Ein Elektron ist in einem winzigen Kristall (Kasten) der Breite L gefangen.
- **Frage:** Wie ändert sich die Energie, wenn der Kristall kleiner wird?
- **Antwort:** Da $E_n \sim 1/L^2$, steigt die Energie bei kleinerem L massiv an.
- **Anwendung:** "Quantum Dots" in Fernsehern. Kleinere Punkte emittieren blaues Licht (hohe Energie), größere Punkte rotes Licht (niedrige Energie).

Bsp 5: Halbleiter & LEDs (VL 9)

- **Frage:** Ein Photon mit $\lambda = 620nm$ wird von einer LED emittiert. Wie groß ist die Bandlücke E_g ?
- **Rechnung:** Das Photon muss genau die Energie der Bandlücke haben: $E_g = hf = hc/\lambda$.
- **Shortcut:** $E_g = 1240/620 = 2.0eV$.
- **Theorie:** Ist die Photonenenergie kleiner als E_g , ist der Halbleiter für dieses Licht transparent (Isolator-Verhalten).

Bsp 6: Kernphysik - C14 Methode (VL 9)

- **Szenario:** Eine alte Holzprobe hat noch 25% der ursprünglichen C14-Aktivität. ($T_{1/2} \approx 5730a$).
- **Rechnung ohne Logarithmus:** $100\% \rightarrow 50\%$ (1

Halbwertszeit) $\rightarrow 25\%$ (2 Halbwertszeiten).

- **Alter:** $2 \cdot 5730 = 11'460$ Jahre.
- **Formel-Check:** $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$. Wenn nach t gefragt ist: $t = -\ln(N/N_0)/\lambda$.

Bsp 7: ART - GPS Zeitfehler (VL 10)

- **Szenario:** Ein GPS-Satellit kreist in 20'000 km Höhe.
- **SRT-Effekt:** Wegen hoher Geschwindigkeit (v) geht die Uhr im Satellit ca. $7\mu s/\text{Tag}$ **langsamer**.
- **ART-Effekt:** Wegen schwächerer Gravitation (größerer Abstand zum Erdzentrum) geht die Uhr ca. $45\mu s/\text{Tag}$ **schneller**.
- **Netto:** Die Uhr geht ca. $38\mu s/\text{Tag}$ zu schnell. Ohne Korrektur gäbe es km-weite Positionsfehler in Minuten!

Bsp 8: Kosmologie - Hubble & Flucht (VL 11)

- **Frage:** Eine Galaxie ist $D = 100$ Mpc entfernt. Wie schnell entfernt sie sich? ($H_0 \approx 70 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc})$).
- **Rechnung:** $v = H_0 \cdot D = 70 \cdot 100 = 7000 \text{ km/s}$.
- **Rotverschiebung:** $z = v/c = 7000/300'000 \approx 0.0233$.
- **Interpretation:** Das Licht dieser Galaxie kommt bei uns mit einer um 2.3% gestreckten Wellenlänge an.

Bsp 9: Chaos - Die logistische Karte (VL 12)

- **Szenario:** Population mit $r = 3.0$ und Startwert $x_0 = 0.5$.
- **Rechnung:**
- $x_1 = 3.0 \cdot 0.5 \cdot (1 - 0.5) = 0.75$.
- $x_2 = 3.0 \cdot 0.75 \cdot (1 - 0.75) = 0.5625$.
- **Verhalten:** Bei $r = 3.0$ pendelt sich der Wert stabil ein. Wäre $r = 4.0$, würde der Wert völlig unvorhersehbar (chaotisch) hin- und herspringen.

Prüfungs-Fallen (Watch out!)

- **Ruhemasse:** In SRT-Aufgaben wird oft nach der "Masse eines bewegten Teilchens" gefragt. **Antwort:** Die Masse m ist eine Invariante (Ruhemasse) und ändert sich **nie!** Nur der Impuls und die Energie steigen mit γ .
- **Phasensprung:** Bei Wellen-Interferenz (Dünne Schichten) unbedingt prüfen: Reflektiert das Licht an einem **optisch dichteren** Medium? Wenn ja: $+\lambda/2$ zum Wegunterschied Δs addieren!
- **Photonen vs. Elektronen:** Beim Photoeffekt: Photonen haben $E = hf$, Elektronen haben $E_{kin} = 1/2mv^2$. Vermische diese Formeln nie!
- **Gitter:** Wenn nach der "Anzahl der Maxima" gefragt wird: $n = d/\lambda$ rechnen und abrunden. Dann mal 2 (für beide Seiten) und +1 (für das Hauptmaximum in der Mitte).

Einheiten-Navigator

Thema	Standard-Einheit / Tipp
λ (Wellen)	Meist in nm ($10^{-9}m$). In Formeln oft m nötig!
Energien	In Atomen immer eV . In SRT oft MeV oder GeV .
Impuls p	In der Teilchenphysik oft in MeV/c .
Frequenz f	Immer in Hz ($1/s$).
h vs $\hbar$	$\hbar = h/(2\pi)$. Nutze $\hbar$ für Schrödinger/Unschärfe.

Zusammenhang: v, β, γ (Quick Check)

- $v = 0.1c \rightarrow \beta = 0.1 \rightarrow \gamma \approx 1.005$ (kaum Effekt)
- $v = 0.9c \rightarrow \beta = 0.9 \rightarrow \gamma \approx 2.3$
- $v = 0.99c \rightarrow \beta = 0.99 \rightarrow \gamma \approx 7.1$
- $v = 0.999c \rightarrow \beta = 0.999 \rightarrow \gamma \approx 22.4$
- *Tipp:* Wenn $\beta > 0.9$, rechne extrem präzise!

Einheiten & Joule-Falle

- **Umrechnung:** $1 \text{ J} = 6.242 \cdot 10^{18} \text{ eV}$
- **ACHTUNG:** In SI-Standardformeln (z.B. $E = \frac{1}{2}mv^2$ oder $p = mv$) musst du Energien oft erst in **Joule** umrechnen, damit die Einheiten von Masse (kg) und Geschwindigkeit (m/s) zusammenpassen!
- **Eigenzeit (τ) Alternative:** $\tau = \Delta t \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$
- (Entspricht $\Delta t = \gamma \tau$). Nutze dies, wenn du die Zeit im Ruhesystem des bewegten Teilchens suchst.

Viel Erfolg bei der PHMOD Prüfung, Andy!