A13) geg.: $W_{ab} = 3eV$
$r = 0{,}2nm$
$R = 1m$
$P = 1W$
$\lambda_1 = 600nm$
$\lambda_2 = 300nm$

ges.: t_{ab}

Lös.: klass.:

Leistung pro Fläche für Strahlung: $L = \frac{P}{4\pi R^2}$

Wirkungsquerschnitt: $Q = \pi r^2$

Absorbierte Leistung pro Atom: $L \cdot Q = \frac{P \pi r^2}{4 \pi R^2} = \frac{P}{4} \frac{r^2}{R^2}$

$= \frac{1 J \cdot (10^{-10} m)^2 \cdot 4}{4 m^2 s}$

$= \frac{1 \cdot (10^{-10} m)^2 eV \cdot}{4 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} m^2 s}$

$= 0{,}0612 eV/s$

$\Rightarrow t_{ab} = \frac{W_{ab}}{LQ} = 48s \Rightarrow$ Photoeffekt nach 48 s

Quantenmechanik

$E = hc/\lambda$ Photoeffekt tritt wann ein:

$\Rightarrow E(\lambda_1) = 4{,}14 eV < 3eV$ nie

$E(\lambda_2) = 2{,}07 eV > 3eV$ sofort

A14) geg.: $\lambda_1 = 0{,}002nm$ $\lambda_3 = 0{,}003nm$
$\lambda_2 = 0{,}001nm$

ges.: $\varphi_{1/2}(\lambda_{1/2} \to \lambda_3)$

Lös.: $\Delta\lambda_{1/2} = \lambda_c(1 - \cos\varphi_{1/2})$ $\lambda_c = 2{,}426 \cdot 10^{-12} m$

$\Delta\lambda_{1/2} = \lambda_3 - \lambda_{1/2} = \lambda_c(1 - \cos\varphi_{1/2})$

$\Rightarrow \varphi_{1/2} = \arccos(1 - \Delta\lambda_{1/2}/\lambda_c)$

$\Rightarrow \varphi_1 = 54{,}07°$

$\varphi_2 = 80°$

Demtröder: Wirkungsquerschnitt ist für 2 pm etwa doppelt so groß wie für 1 pm *

* siehe Demtröder 3 Seite 243 Abb. 7,3b

A15) ges.: $r_1 = 6000\,km$
$r_2 = 36000\,km\ (+6000\,km)$

$\lambda_1(6000\,km) = 600\,nm$

ges.: $\lambda_2(42000\,km)$

Lös.: Masse des Lichtes $m = \frac{E}{c^2} = \frac{h}{\lambda c} = h\nu/c^2$

Änderung im Gravitationsfeld der Erde

Näherung: Erde ist eine Scheibe ...

$h\nu_2 = h\nu_1 + mgH$ Näherung m ist konstant

$\nu_2 = \nu_1(1 + gH/c^2)$

$\lambda_2 \stackrel{!}{=} \lambda_1/(1 + gH/c^2)$ $H = 36000$

599,99999977 nm $\approx 600\,nm/(1 + 3{,}9 \cdot 10^{-9}) < 600\,nm$

Aber: Pythagoras (6. Jhd. v. Chr.): aus ästhetischen Gründen muß die Erde eine Kugel sein

Aristoteles (4. Jhd. v. Chr.): Segel am Horizont ... Runder Erdschatten bei Mondfinsternis ... Erde ist Kugel!

Eratosthenes (3. Jhd. v. Chr.): Messung des Erdumfanges mittags zur Sommersonnenwende mit Schattenwurf ..

$\Rightarrow$ 40000 km Erdumfang! real: 40007,76 km
(beides über die Pole gemessen)

Und ohne Näherung?

$m_1 = h/\lambda_1 c \quad , m_2 = h/\lambda_2 c$

potentielle Energie im Erdfeld $\Delta V = \int_{r_2}^{r_1} \left(\frac{d}{dr} \gamma\, m(\lambda(r)) M \frac{1}{r}\right) dr$

jetzt muß ich doch nähern $m(r) \stackrel{!}{=} m(r_1) = h/\lambda_1 c$

$$\Delta V = \gamma m M \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right)$$

$$h\frac{c}{\lambda_2} = h\frac{c}{\lambda_1} + \Delta V$$

$$= h\frac{c}{\lambda_1} + \gamma M \frac{h}{\lambda_1 c}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$\frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{\lambda_1}\left(1 + \frac{\gamma M}{c^2}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)\right)$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 / \left(1 + \frac{\gamma M}{c^2}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)\right)$$

$$\approx \lambda_1/(1 + 6{,}4 \cdot 10^{-10}) < 600\,nm$$

$$\approx 599{,}99999962\,nm$$

zu A 15) Zusatz
relativistische
Dopplerverschiebung
bei elm-Wellen

$$\nu_1 = \nu_2 \sqrt{(c+v)/(c-v)} \quad \text{(Vakuum)}$$

$$\nu_1^2/\nu_2^2 = (c+v)/(c-v)$$

$$\nu_1^2/\nu_2^2 (c-v) = c+v$$

$$c(\nu_1^2/\nu_2^2 - 1) = v(\nu_1^2/\nu_2^2 + 1)$$

$$v = c(\nu_1^2/\nu_2^2 - 1)/(\nu_1^2/\nu_2^2 + 1)$$

$$= c(\lambda_2^2/\lambda_1^2 - 1)/(\lambda_2^2/\lambda_1^2 + 1)$$

$$\approx -0{,}19\,m/s = -0{,}67\,km/h$$

$$(\approx -1{,}2\,m/s)$$

Der Satellit muß sich vom Erdmittelpunkt wegbewegen.

A 16) geg.: $p_{e,e^-} = 10^{-21}\,kgm/s$, $m = 9{,}109 \cdot 10^{-31}\,kg$

ges.: λ

Lös.: $E = \sqrt{c^2p^2 + m^2c^4}$ Energie eines Teilchens

$hc/\lambda = 2E \Rightarrow \lambda = h/2\sqrt{p^2+m^2c^2} \approx 3{,}2 \cdot 10^{-13}\,m$

gilt nur Näherungsweise
eigentlich nur möglich in der Nähe eines Kerns
$\Rightarrow$ Rückstoßenergie des Kerns vernachlässigen ($E_{kin} \sim v^2$)