Prof. Dr. Michael Lehmann

Abschlussklausur des Moduls GM090
Physik für Technische Informatik (Bachelor)
12. Oktober 2011

Name: ______________________________

Vorname: ______________________________

Matrikel-Nr.: ______________________________

Studiengang:

☐ Technische Informatik (Bachelor)

☐ Wirtschaftsingenieurwesen (ET, I&K; Bachelor)

☐ anderer Studiengang: ______________________________

Identität des Studierenden durch Hörsaalaufsicht geprüft: ______________________________

Bewertung:

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	gesamt
Punkte											
										Note:	

Punkte <=> Note:
<50P: 5.0 50P-54P: 4.0 55P-59P: 3.7 60P-64P: 3.3 65P-69P: 3.0 70P-74P: 2.7
75P-79P: 2.3 80P-84P: 2.0 85P-89P: 1.7 90P-94P: 1.3 95P-101P: 1.0

Hinweis: Geben Sie die Lösung einer zu rechnenden Teilaufgabe grundsätzlich immer als Formel an. Erst dann setzen Sie bei gegebenen Zahlenwerten diese ganz am Ende ein. Achten Sie auf die physikalischen Einheiten! Als Hilfsmittel ist nur ein nicht-programmierbarer Taschenrechner gestattet.

Physikalische Konstanten:

- Erdbeschleunigung: $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$
- Ruhemasse des Elektrons: $m_e = 9.109 \cdot 10^{-31}$ kg
- Ruhemasse des Protons: $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27}$ kg
- Ruhemasse des Neutrons: $m_n = 1.68 \cdot 10^{-27}$ kg
- Lichtgeschwindigkeit: $c = 299792458 \frac{m}{s}$
- Plancksches Wirkungsquantum: $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ Js
- Elementarladung: $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ As
- Boltzmann-Konstante: $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$
- Gravitationskonstante: $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg\, s^2}$

Aufgabe 1: Notbremsung (12P)

Bei einer Notbremsung wird ein mit der Geschwindigkeit v_{x0} fahrender Zug auf der Strecke von $x_0 = 0$ (Zeit $t_0 = 0$) bis x_1 (Zeit t_1) zum Stehen gebracht.

Gegebene Größen:
Bremsweg $x_1 = 260$ m; Geschwindigkeit $v_{x0} = 90$ km/h

1a) Wie groß ist die konstante Bremsbeschleunigung a_{x0}? (6P)

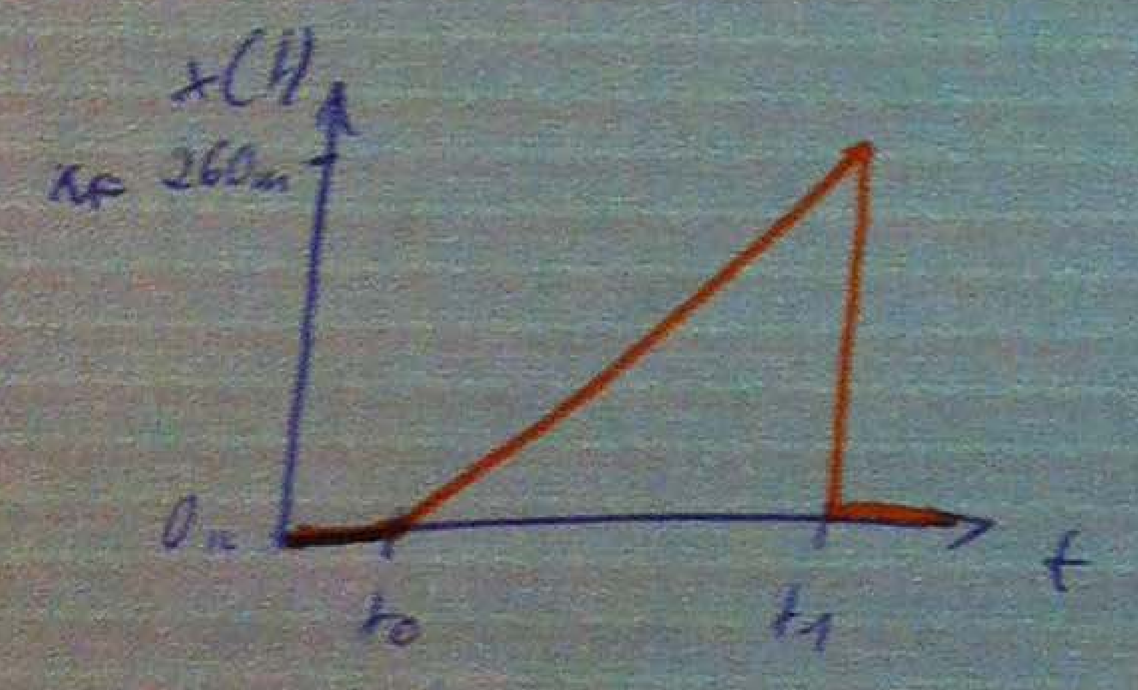
$$t_1 = \frac{x_1 - x_0}{v_{x0}} = \frac{260\,m}{25\,\frac{m}{s}} = 10{,}4\,s$$

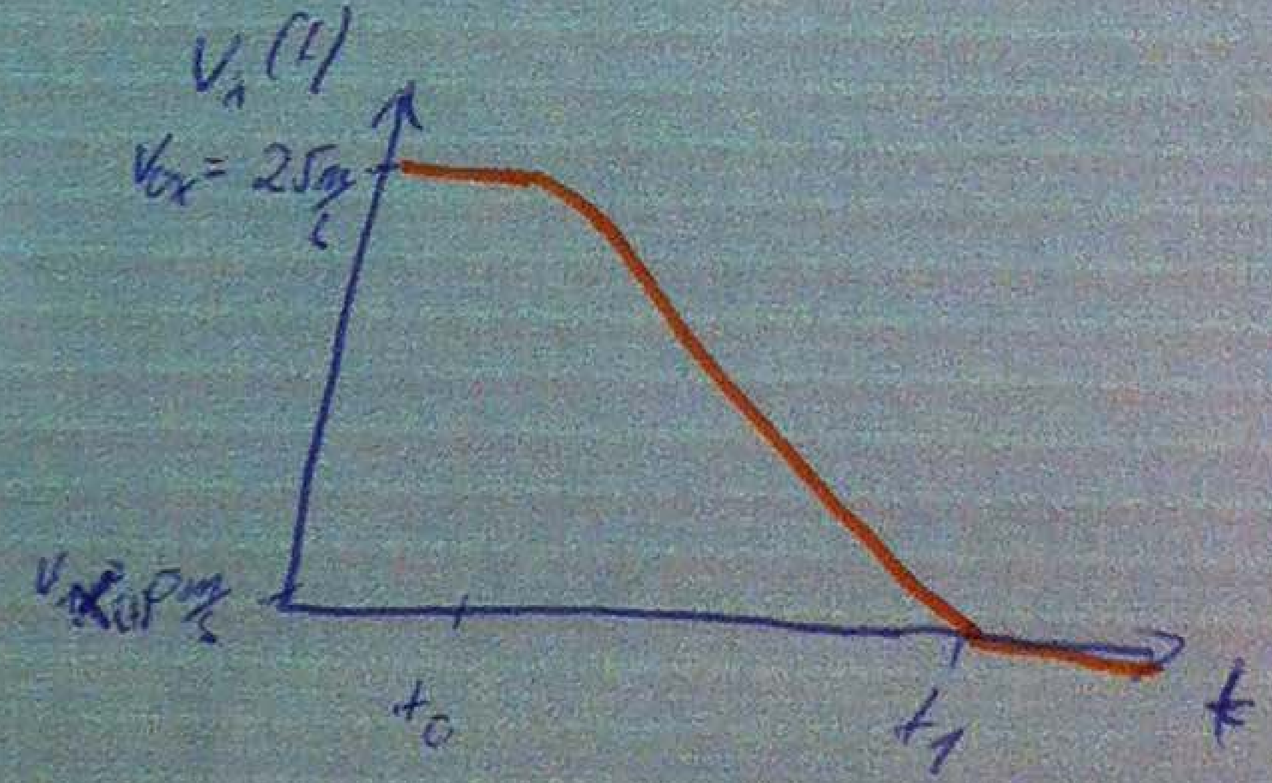
$\Rightarrow$

$$a_{x0} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v(t_1) - v(t_0)}{t_1 - t_0} = \frac{90\,km/h}{10{,}4\,s} = \frac{25\,\frac{m}{s}}{10{,}4\,s} \approx -2{,}4\,\frac{m}{s^2}$$

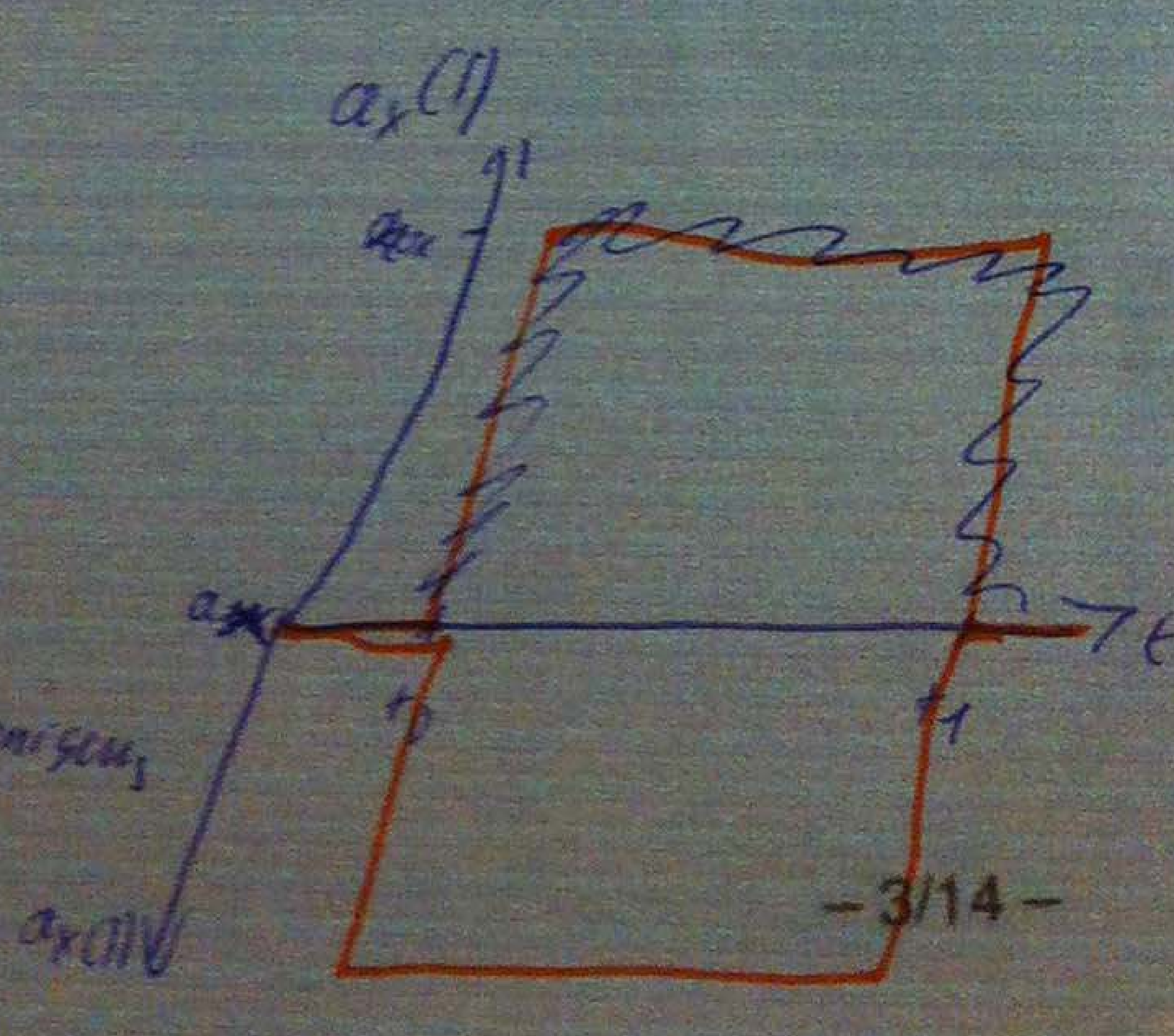
negative Beschleunigung, da Notbremsung

1b) Stellen Sie den Verlauf der Bewegung im $x(t)$, $v_x(t)$ und $a_x(t)$-Diagramm dar! Zeichnen Sie dabei auch die Größen t_1, x_1, v_{x0} und a_x ein und berücksichtigen Sie den Verlauf vor t_0 und nach t_1! (6P)





negativ, da Bremsbeschleunigung



Aufgabe 2: Kräfte (13P)

Ein Körper der Masse m soll mit der Beschleunigung a bewegt werden. Dabei wird der Körper in Richtung der Beschleunigung a mittels einer Kraft F gezogen.

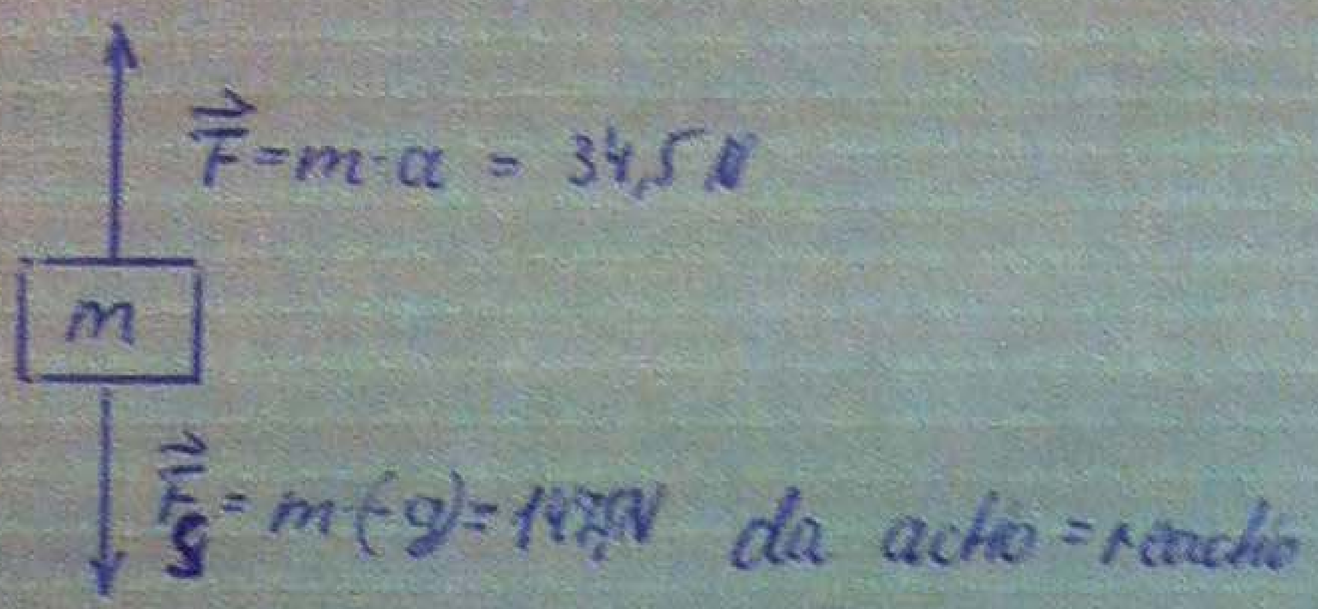
Skizzieren Sie mit Hilfe von Pfeilen für die folgenden unten stehenden vier Fälle jeweils die relevanten auftretenden Kräfte! Berechnen Sie den Betrag der jeweiligen Kraft F, welche nötig ist, die Beschleunigung a zu erreichen!

Gegebene Größen:

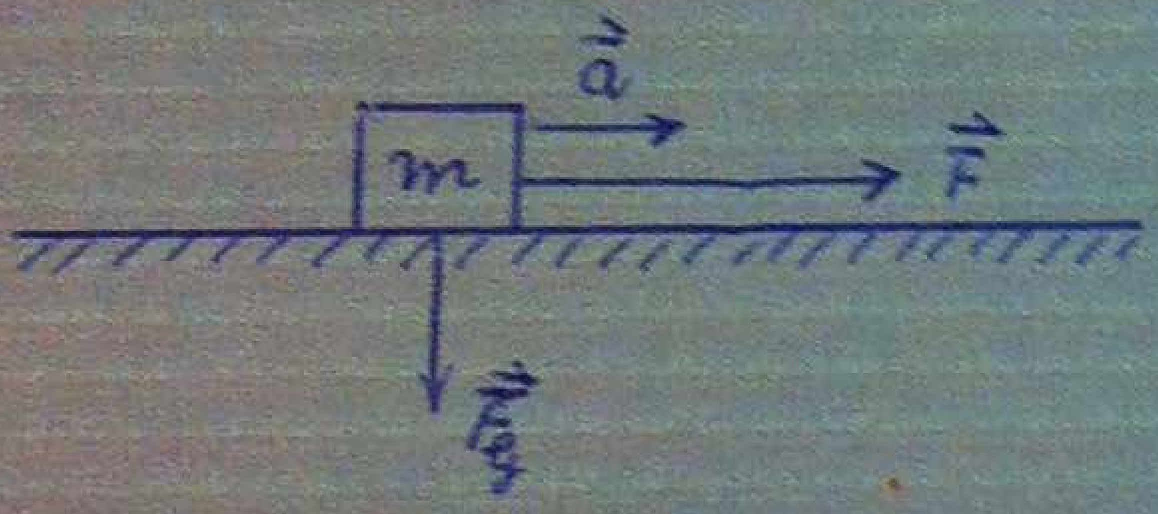
Masse $m = 15$ kg, Beschleunigung $a = 2.3\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, Gleitreibungszahl $\mu_g = 0.25$,

Neigungswinkel der schiefen Ebene $\alpha = 18°$

2a) Beschleunigung senkrecht nach oben entgegen der Schwerkraft ohne Reibung. (3P)



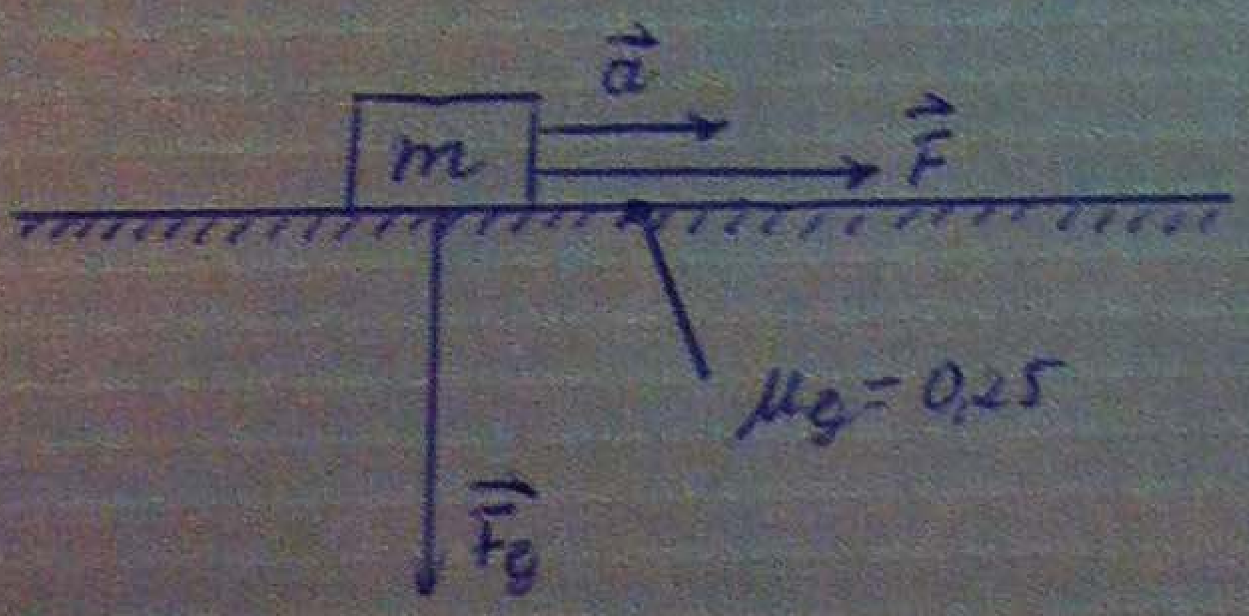
2b) Beschleunigung auf horizontaler Unterlage ohne Reibung. (3P)



$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$

$= 15kg \cdot 2{,}3\,\frac{m}{s^2} = 34{,}5N$

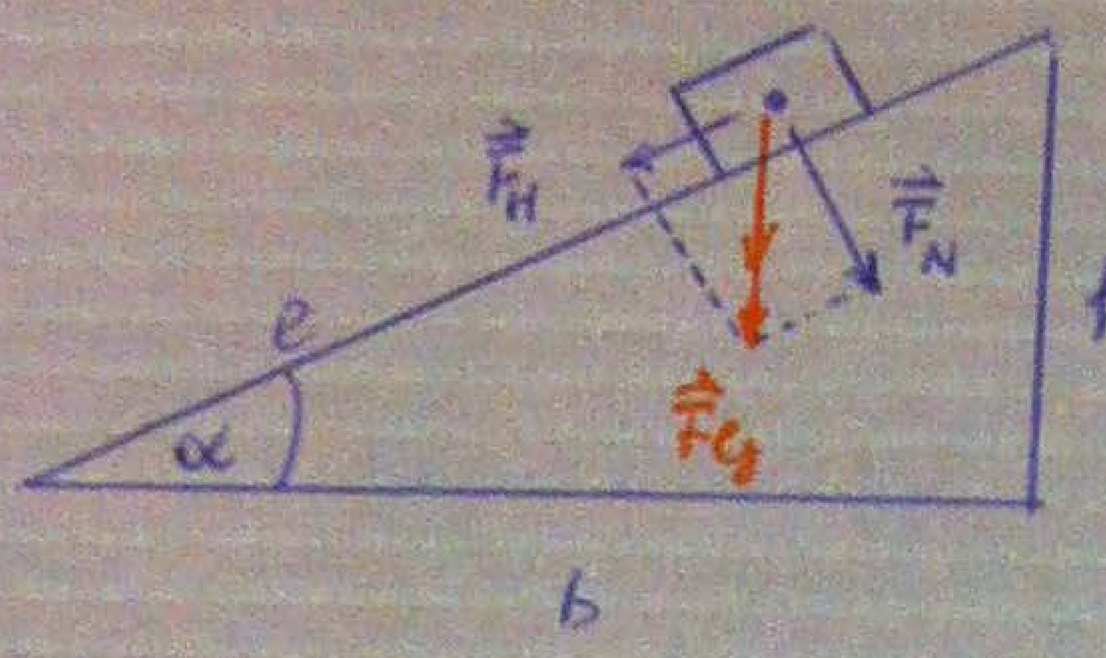
2c) Beschleunigung auf horizontaler Unterlage bei Gleitreibungszahl μ_g. (3P)



$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \cdot \mu_g$

$= 15kg \cdot 2{,}3\,\frac{m}{s^2} \cdot 0{,}25 = 8{,}625N$

2d) Abwärtsbeschleunigung bei einer geneigten Ebene mit Neigungswinkel α bei einer Gleitreibungszahl μ_G. (4P)



$$\vec{F}_H = \vec{F}_g \cdot \sin \alpha \qquad = 12,82\ N$$

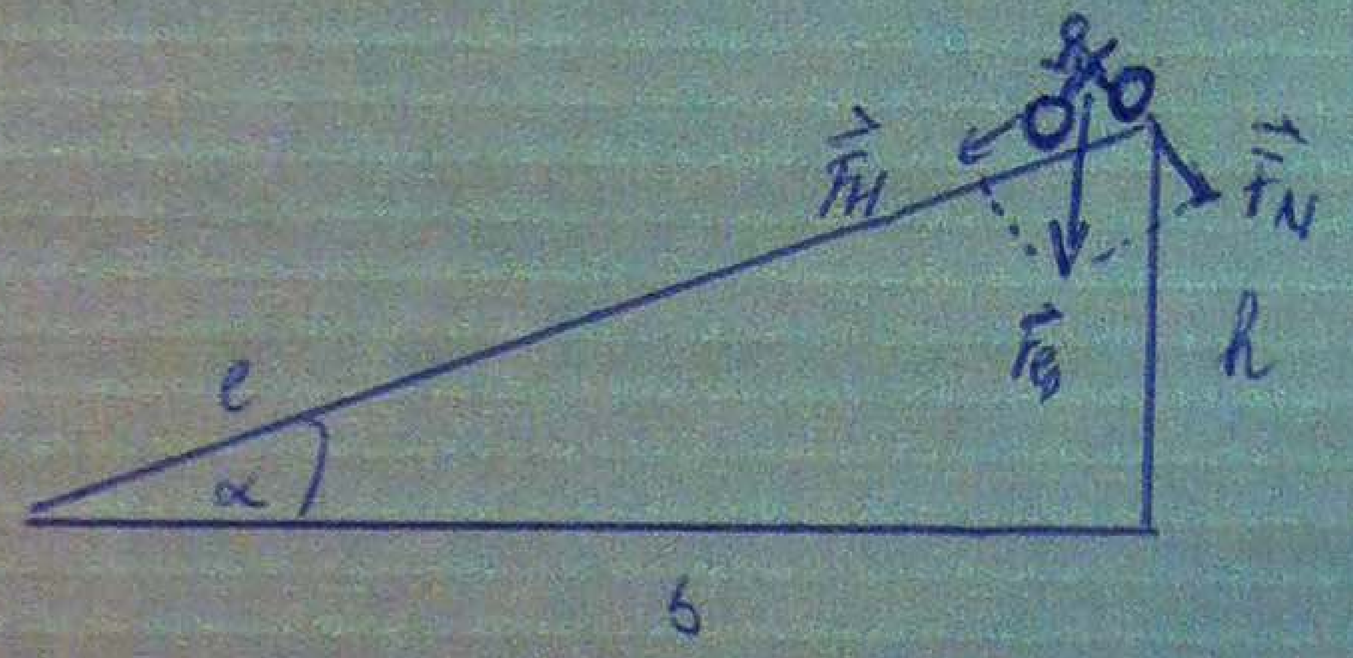
$$\vec{F}_N = \vec{F}_g \cdot \cos \alpha \qquad = 196,59 N$$

Aufgabe 3: Energiesatz und schiefe Ebene (8P)

Ein Radfahrer lässt sich ausgehend von der Passhöhe h eine Straße herunterrollen ohne in die Pedale zu treten. Bis ins Ziel legt er eine Strecke von s_0 zurück. Dabei soll zunächst angenommen werden, dass die Straße ein konstantes Gefälle (Neigungswinkel α) besitzt.

Gegebene Größen:
Start-Ziel Strecke $s_0 = 10\ \text{km}$, Neigungswinkel $\alpha = 5°$

3a) Bestimmen Sie die Passhöhe h! (2P)



$$F_H = F_g \cdot \sin \alpha$$

$$F_N = F_g \cdot \cos \alpha$$

$$\Rightarrow \frac{F_H}{F_g} = \frac{h}{\ell} \quad \Leftrightarrow \quad h = \sin\alpha \cdot \ell = 871,55 m$$

3b) Stellen Sie den Energiesatz auf! (2P)

Energiesatz: $E_{ges} = E_{pot} + E_{kin} = const.$

$$E_{pot} = E_{kin}$$

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

3c) Bestimmen Sie die Geschwindigkeit v_1 des Radfahrers im Ziel! Geben Sie das Ergebnis in der Einheit $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ an! (2P)

EES: $E_{pot} = E_{kin}$

$mgh = \frac{1}{2} m v^2$

$v_1 = \sqrt{2 g \cdot h} = 130 \frac{m}{s} = 470 \ km/h$

3d) Wie ändert sich die Geschwindigkeit v_1 des Radfahrers im Ziel, wenn das Gefälle über die Strecke variiert? (1P)

'goar net!

3e) Warum stimmt das berechnete Ergebnis nicht mit unserer alltäglichen Erfahrung überein? (1P)

Aufgrund der ~~Reibi~~ Alltag vorherschenden Reibung zwischen Gummi d. Rades und dem Asphalt und Luftwiderstand, kann eine solches Ergebnis im Alltag nicht erreicht werden

→ Fahrtwind & Reibung.

Aufgabe 4: Erde und Mond (11P)

Zur Messung der Entfernung zwischen Erde und Mond wird auf kürzestem Weg ein gepulster Laserstrahl auf die Mondoberfläche gerichtet und die Zeit gemessen, die das zurückgestreute Licht benötigt, um wieder zur Erde zu gelangen (LIDAR = Light Detection and Ranging). Für den Hin- und Rückweg zusammen wird eine Zeit von $t_{LIDAR} = 2.5$ s gemessen. Die Umfänge der Erde und des Mondes betragen $U_E = 40070$ km bzw. $U_M = 21840$ km.

4a) Wie groß ist der Abstand r_{ME} zwischen Erde und Mond (Mittelpunkt Erde - Mittelpunkt Mond) (4P)

$U_E = 2\pi r_E \Leftrightarrow r_E = \frac{U_E}{2\pi} = 6377 \ m$

$U_M = 2\pi r_M \Leftrightarrow r_M = \frac{U_M}{2\pi} = 3475 \ m$

$s_{ME} = c \cdot t = 749\,481\,145 \ m$

da Hin- & Rückweg: $749\,481\,145 \ m : 2 = 374\,740\,573 \ m$

$\Rightarrow r_{ME} = \frac{s_{ME}}{2} + r_E + r_M = 374\,750\,425 \ m$

$\approx 375 \cdot 10^3 \ km$

4b) Welche Kräfte stehen im System Erde/Mond im Gleichgewicht und halten den Mond auf der Umlaufbahn um die Erde (Namen und Formeln)? Dabei wird die Erde als Sstaionär angesehen. (3P)

Gravitationskraft $F_G = G \cdot \frac{m_E \cdot m_M}{r^2}$

Zentripetalkraft $F_Z = \frac{m_E \cdot v^2}{r}$

stehen im GGW:

$\Rightarrow F_G = F_Z$

$G \cdot \frac{m_E \cdot m_M}{r^2} = \frac{m_E \cdot v^2}{r}$

4c) Der Mond benötigt in etwa 28 Tage für einen Umlauf um die Erde. Bestimmen Sie die Erdmasse m_E (zur Vereinfachung werden Erde und Mond in dieser Teilaufgabe als punktförmig angenommen)! (4P)

$R_E \approx 6400\,m$; g ~~$9{,}81 \frac{m}{s^2}$~~

$F_Z = F_G$

$m_M \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot R_{ME} = G \cdot \frac{m_M \cdot m_E}{R_{ME}^2} \iff \frac{\cancel{m_M} \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot R_{ME}^3}{G \cdot \cancel{m_M}}$

$\Rightarrow m_E = \frac{\frac{4\pi^2}{T^2} \cdot R_{ME}^3}{G} \approx 6 \cdot 10^{24}\,kg$

Aufgabe 5: Federpendel (11P)

An einer Feder hängt die Masse m_0 bei $z = 0$. Durch das Gewicht einer Zusatzmasse m_1 dehnt sich die Feder bis zu einem Ort z_1.

Gegebene Größen:

Masse: $m_0 = 85$ g; Zusatzmasse: $m_1 = 45$ g; Federdehnung: $z_1 = -42$ mm

5a) Wie groß ist die Federkonstante D? (2P)

Kraftansatz:

Ruhelage: $F_G + F_F = 0$

$m \cdot g = D \cdot z_1$

$D = \frac{m \cdot g}{z_1} = \frac{0{,}130\,kg \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2}}{-0{,}042\,m} \approx 30{,}36 \frac{kg}{s^2}$

5b) Mit welcher Periodendauer T_0 schwingt das System, wenn man die Massen anstößt? (2P)

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$$ Periodendauer

$=$

5c) Wie groß ist die Eigenfrequenz ω_0 des Systems? Geben Sie nur die Formel an! (1P)

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{D}{m}}$$ Eigenfrequenz

5d) Geben Sie die Differentialgleichung für das Federpendel an! (1P)

Differentialgleichung (Bewegungsgleichung) mit $\ddot{z} = g$:

$$\ddot{z} - \omega_0^2 \cdot z = 0 \qquad \text{mit } \omega_0^2 = \frac{D}{m}$$

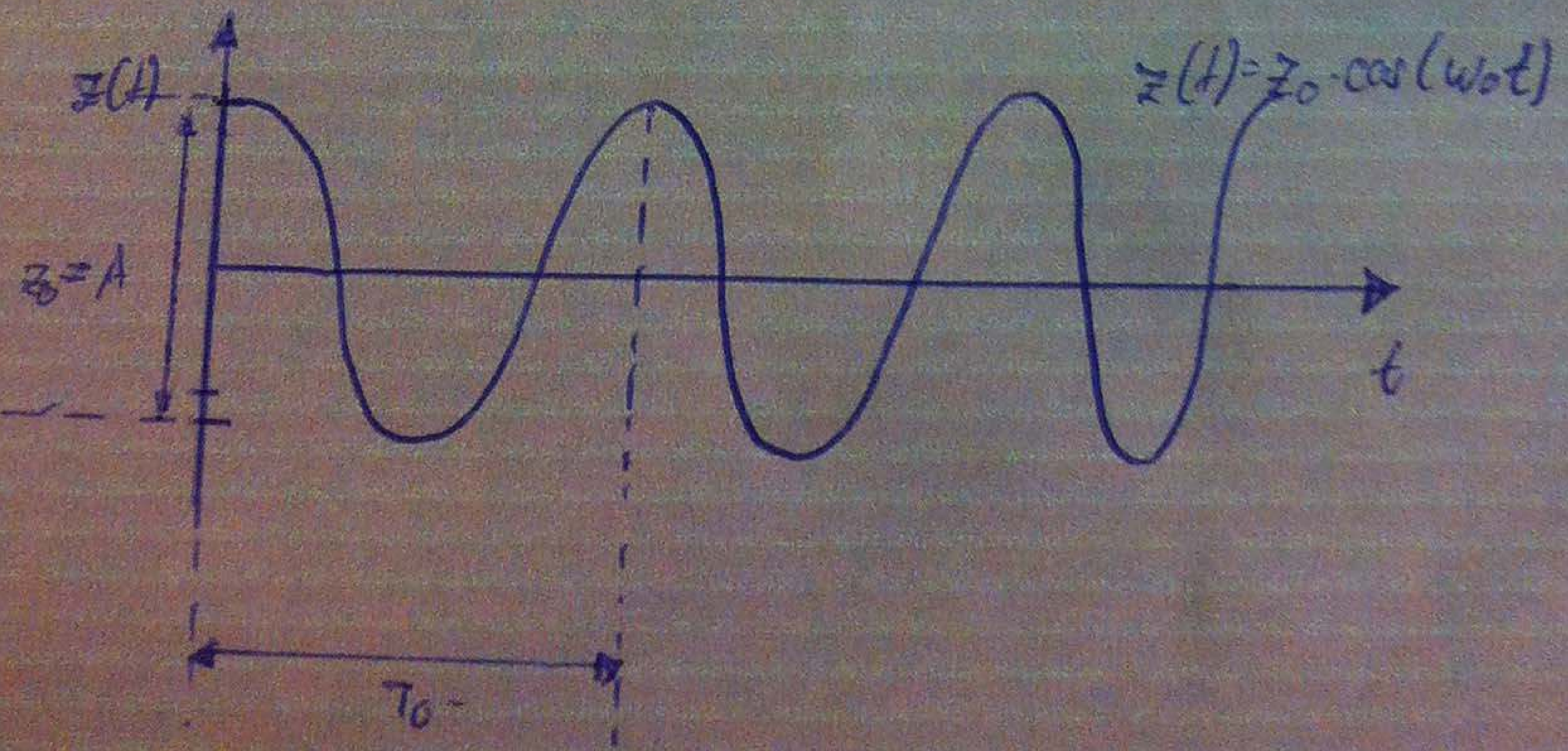
5e) Zeigen Sie, dass die Funktion $z(t) = z_0 \cos(\omega_0 t)$ mit Amplitude z_0 Lösung der Differentialgleichung für das Federpendel ist. (3P)

Ansatz: $\ddot{z} + \frac{D}{m} \cdot z \stackrel{!}{=} 0 \quad \Rightarrow -\omega_0^2 A\cos(\omega t) + \frac{D}{m} A\cos(\omega t) \stackrel{!}{=} 0$

$\Rightarrow \underbrace{\left(-\omega_0^2 + \frac{D}{m}\right)}_{\stackrel{!}{=}0} \cdot \underbrace{A\cos(\omega t)}_{\rightarrow \neq 0 \,\forall t} \stackrel{!}{=} 0 \quad \Rightarrow \quad -\omega_0^2 + \frac{D}{m} \stackrel{!}{=} 0 \quad \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{D}{m}}$

$\Rightarrow z(t) = A\cos(\omega_0 \cdot t)$ mit

5f) Skizzieren Sie die Funktion $z(t) = z_0 \cos(\omega_0 t)$ in einem $z(t)$ Diagramm und tragen Amplitude z_0 und Periodendauer T_0 ein. (2P)



Aufgabe 6: Rasterelektronenmikroskop (9P)

In einem Rasterelektronenmikroskop (SEM) werden Elektronen mittels eines elektrostatischen Beschleunigers mit Beschleunigungsspannung U auf die Geschwindigkeit v_0 beschleunigt. Relativistische Effekte sollen zunächst vernachlässigt werden.

Gegebene Größe:
Beschleunigungsspannung: $U = 30\,kV$

6a) Berechnen Sie die kinetische Energie E_{kin} der beschleunigten Elektronen und geben Sie das Ergebnis in Elektronenvolt an! (2P)

$$E_{el} = e \cdot U = \frac{1}{2} m_e v^2 = E_{kin}$$

$$E_{el} = e \cdot U = 4{,}806\ eV$$

6b) Wie hoch ist die Geschwindigkeit v_0? (3P)

Energie, die dem e^- zugeführt wird (= Energie d. E-Feldes)

$$E = e \cdot U = \frac{1}{2} m_e v^2 = \frac{p^2}{2 m_e} = E_{kin} \qquad / EES$$

$$\Longrightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2eU}{m_E}} = 102\,718\,269{,}1$$

6c) Bestimmen Sie die de Broglie-Wellenlänge λ! (2P)

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \qquad p = \sqrt{2 m_e e U}$$

$$\longrightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{2 m_e e U}} = 2{,}8341 \cdot 10^{-21}\ m$$

6d) In einem anderen Elektronenmikroskop soll die Geschwindigkeit v_1 der Elektronen 80% der Lichtgeschwindigkeit c betragen, d.h. $v_1 = 0{,}8\,c$. Um wie viel Prozent nimmt die träge Masse aufgrund relativistischer Effekte im Vergleich zur klassischen Betrachtung zu? (2P)

Aufgabe 7: Atomphysik (7P)

7a) Welche Quantenzahlen beschreiben den Zustand eines Elektrons im Atom vollständig und welche Werte können diese annehmen? (4P)

- Hauptquantenzahl: $n = 1, 2, 3, \ldots, \infty$
  welche Schale ? $K=1$; $L=2$; $M=3$; $N=4$; …; usw
- Drehimpulsquantenzahl: $l = 0, 1, 2, 3, \ldots, (n-1)$
  Form des Orbitals
- magn. Richtungsquantenzahl: $m_l = -l, -l+1, \ldots, 0, \ldots, l-1, l$
  welche Richtung bewegt sich e^-
- Spin $m_s = \pm \frac{1}{2}$
  up/down

7b) Skizzieren Sie die Beträge der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten des Elektrons im Wasserstoffatom, welche Sie aus der Chemie als s-, p- und d-Orbitale kennen (3 Skizzen)! (3P)

Aufgabe 8: Wasserstoff (11P)

Das atomare Wasserstoffatom bestehend aus einem Proton und einem Elektronen ist das einfachste quantenmechanische System.

8a) Wie lautet im Rahmen des Bohrschen Atommodells der physikalische Zusammenhang zwischen diskreten Energien E_n und der Hauptquantenzahl n im atomaren Wasserstoff? Berechnen Sie die Energien E_n für die drei niedrigsten Energieniveaus! (2P)

Im Rahmen des Bohr'schen Atommodells heißt es, dass der Drehimpuls eines Elektrons nur diskrete Werte annimmt: $L = m_e \cdot r \cdot v = n\hbar \;; n \in \mathbb{N}$

→ Das bedeutet f. das Energieniveau im H-Atom $\Rightarrow E_{ges} = \underbrace{-\frac{1}{2} m_e \left(\frac{e^4}{4\pi\varepsilon_0 \cdot \hbar^2}\right)}_{=-13{,}6\,eV} \cdot \frac{1}{n^2}$ ...... Hauptquantenzahl

$\Rightarrow E_1 = -13{,}6\,eV \;;\; E_2 = -3{,}4\,eV \;;\; E_3 = -1{,}51\,eV$

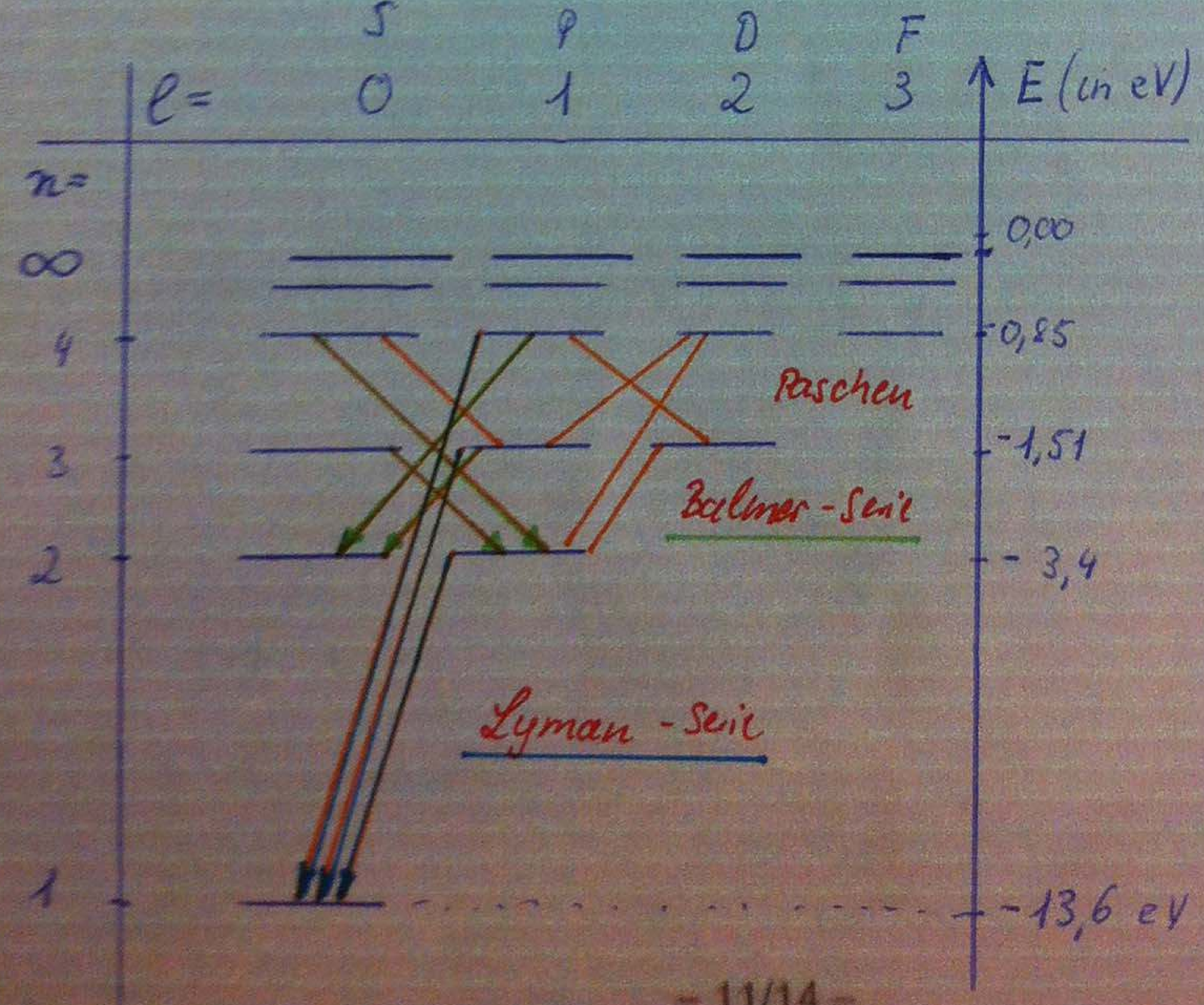
8b) Bestimmen Sie die Wellenlänge λ des emittierten Photons beim Übergang eines Elektrons von der L- auf die K-Schale! In welchem spektralen Bereich liegt die emittierte Wellenlänge? (4P) Übergang eines Elektrons von L auf K-Schale $(2 \to 1)$:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E_{n+1} - E_n}$$

$$\Rightarrow \lambda_{2\to 1} = 122\,nm \text{ (Ultraviolett)}$$

$E_1 = -13{,}6\,eV$
$E_2 = -3{,}4\,eV$

8c) Skizzieren Sie das Termschema des atomaren Wasserstoffs für die drei niedrigsten Energien E_n und die Drehimpulsquantenzahlen $l = 0$ bis $l = 2$! Welche Auswahlregel gilt für optische Übergänge? Zeichnen Sie alle erlaubten Übergänge der Lyman-, und Balmer-Serie ein! (5P)



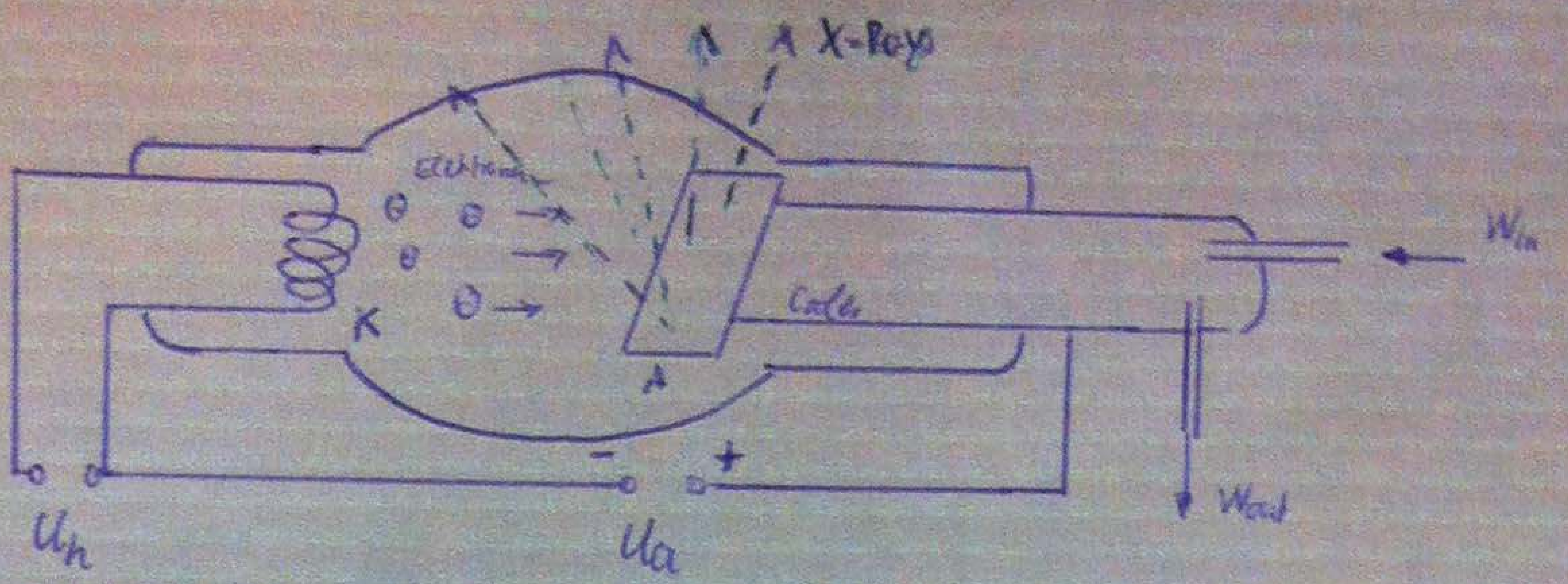
Auswahlregel für opt. Über[gänge]

$\Delta l \stackrel{!}{=} \pm 1$

Aufgabe 9: Röntgenstrahlung (9P)

Röntgenstrahlung ist kurzwelliges Licht und kann beispielsweise mittels Röntgenröhren erzeugt werden.

9a) Skizzieren Sie den Aufbau einer Röntgenröhre! (4P)



U_h: Hochspannung   K: Kathode W_{in} = Wasser in   θ = e^-

U_a: Anodenspannung   A: Anode W_{out} = Wasser out

9b) Welche beiden Arten von Röntgenstrahlung werden unterschieden, wenn Röntgenlicht in der Röntgenröhre erzeugt wird? Beschreiben Sie es in Ihren eigenen Worten. (4P)

Man unterscheidet hierbei zwischen:

Bremsstrahlung: Die Elektronen, die von der Kathode aus mit U beschleunigt werden, werden durch viele unelastische Stöße in der Anode abgebremst. Dabei entsteht das kontinuierliche Spektrum d. Bremss

und der charakteristischen Strahlung:

Sie entsteht durch Übergänge der Hüllenelektronen insbesondere niedrigen Schalen. Daher ist es ein diskretes Spektrum.

9c) Was wird mit K_α-Strahlung bezeichnet? (1P)

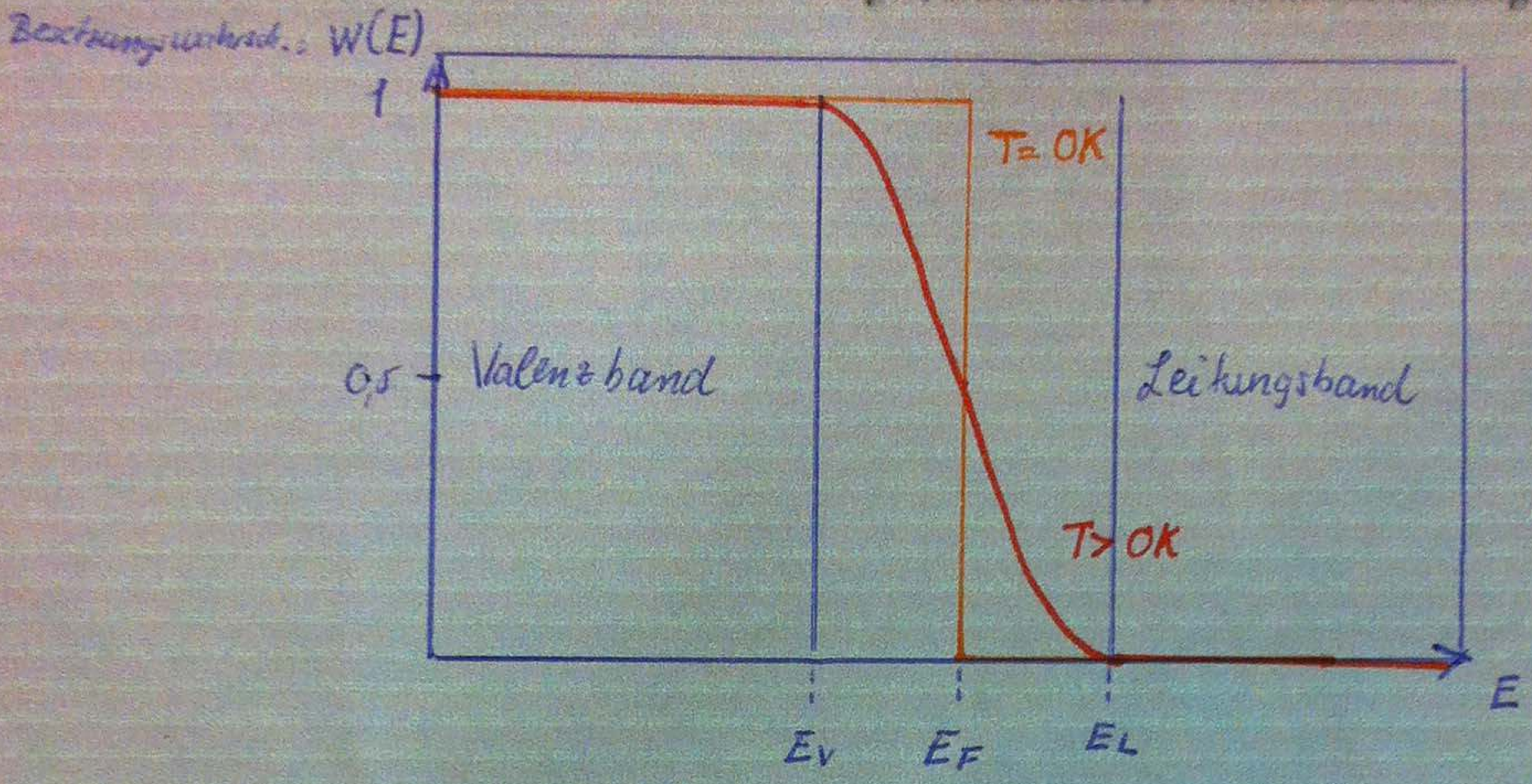
Wenn Elektronen durch Strahlung (Licht, Röntgen, etc.) angeregt werden und auf eine energetisch höhere Schale springen und diese Lücke von anderen Elektronen aufgefüllt und Strahlung emittiert wird, springt das Elektron von der L-Schale in die K-Schale, was als K_α-Strahlung bezeichnet wird.

Übergang eines Elektrons durch thermische Anregung von L- auf K-Schale (2→1)

Aufgabe 10: Galliumarsenid (10P)

Gegeben sei ein intrinsischer (d.h. undotierter) Halbleiter wie beispielsweise Galliumarsenid mit einer Bandlücke von $E_G = 1.42$ eV.

10a) Zeichnen Sie für die Temperatur $T = 0$ K das Bändermodell des intrinsischen Halbleiters (Valenzband, Leitungsband, Fermi-Energie, Bandlücke, Achsenbezeichnungen)! (5P)



10b) Was ist der Unterschied des Halbleiters zu einem Isolator bzw. zu einem elektrischen Leiter und welche Auswirkungen hat dies auf die elektrische Leitfähigkeit? (3P) Bei Halbleitern be[...]

Valenz- u. Leitungs[...]

~~Ein Halbleiter unterscheidet sich von den echten Isolatoren durch den ge[...]~~

klaine Energie Lücke.

~~Energieabstand der Bandlücke.~~ (~~In Halbleitern können Elektronen durch the[...] Anregung ins Leitungs- oder Valenzband gelangen.~~) Diese Lücke ka[...] zunehmender Temperatur von immer mehr Elektronen überwunden werden [...] das Leitungsband bevölkern. Dieser Effekt überkompensiert die Zunahme [...] durch mehr Gitterstörungen. Somit nimmt die gesamte Leitfähigkeit [...] Isolatoren hingegen besitzen eine große ~~E~~Energie Lücke zwischen Val[...] band. Die Energien, die man dem Material zuführen muss, um ausreich[...] Elektronen i.d. Valenzband zu heben, führen zu einer Zerstörung d. Festkö[...]

10c) Welche Wellenlänge besitzt die Welle des emittierten Photons, wenn ein Elektron aus dem unteren Teil des Leistungsbandes in den oberen Teil des Valenzbandes fällt? (2P)

Wellenlänge d. emittierten Photonen:

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \iff \lambda = \frac{h \cdot c}{E_g} =$$

$$= \frac{h \cdot c}{1{,}42\,eV} = 873\ nm$$

Raum für Ergänzungen (Aufgabennummer nicht vergessen!):