

- Bemerkungen:
- Die Prüfungsdauer beträgt 4 Stunden.
 - Beginnen Sie jede Aufgabe mit einem neuen Blatt.
 - Hilfsmittel: Taschenrechner mit Handbuch und Formelsammlung

Ich wünsche Ihnen viel Erfolg!

Dr. Raphael Ugolini

Aufgabe 1: Bremsender Zug mit Pendel (12P)

Ein aufwärts fahrender Zug mit der anfänglich konstanten Geschwindigkeit $v_0 = 100 \text{ km/h}$ bremst mit blockierten Rädern auf einer schrägen Strecke mit einer Steigung von 7.5% bis zum Stillstand. Der Reibungskoeffizient f zwischen Schiene und Rädern beträgt 0.12.

- Beschreiben Sie, was mit der anfänglichen kinetischen Energie des Zugs geschieht? (1P)
- Wie lang ist der Bremsweg s_B ? (3P)
- Wie gross ist die Bremsbeschleunigung? Wie lange dauert der Bremsvorgang? (2P)

Hinweis: Sollten Sie den Bremsweg nicht berechnen können, nehmen Sie $s_B = 200 \text{ m}$



Im Passagierwagen hängt bei konstanter Geschwindigkeit des Zugs eine kleine, 1.2 kg schwere Kugel an einem dünnen Faden 1.5 m senkrecht unter dem Befestigungshaken. Die Masse des Fadens und die Abmessungen der Kugel sind zu vernachlässigen.

- Während des gleichmässigen Bremsvorgangs wird die Kugel am Faden maximal ausgelenkt. In welche Richtung? Skizzieren Sie das Kräfteparallelogramm der drei Kräfte. Berechnen Sie die Seilkraft in dieser Position und den maximalen Auslenkungswinkel bezüglich der Vertikalen. (3P)

Hinweis: Beachten Sie, dass die Bremskraft parallel zur schiefen Ebene liegt.

Im Folgenden steht der Zug still.

- Mit welcher Frequenz schwingt die Kugel? (1P)
- Der Faden reisst bei einer Kraft von 30.0 N im untersten Punkt. Wie gross darf die Geschwindigkeit der Kugel im untersten Punkt maximal sein und wie weit darf das Pendel also ausgelenkt werden? (2P)

Aufgabe 2: Rotierender Kreiszyylinder (5P)

Ein gerader, homogener, horizontal orientierter Aluminiumkreiszyylinder der Dichte ρ , mit der Körperhöhe h und dem Grundkreisradius r rotiert reibungsfrei um die horizontale Körperachse. Um den Zylinder ist ein dünner Faden gewickelt, an dem eine Masse m hängt. Aus der Ruhe beginnt der Zylinder zu rotieren. Rechnen Sie streng formal.

- Geben Sie das Drehmoment an und berechnen Sie die Winkelbeschleunigung α . (3P)
- Wie viele Umdrehungen hat der Zylinder in der Zeit t gemacht? Wie weit hat sich die Masse m in dieser Zeit bewegt? (2P)

Aufgabe 3: Fliegender Motorradfahrer (6P)

Ein 1.73 m grosser Motorradfahrer fliegt nach einem Aufprall auf ebener Strecke aus dem Sattel seiner Maschine. Durch das Aufbäumen des Hinterrads erhält er zusätzlich eine vertikale Anfangsgeschwindigkeit. In der Abbildung unten sehen sie seine missliche Lage nach 18.3 Hundertstelsekunden. Wir treffen folgende vereinfachende Annahmen:

- Der Schwerpunkt des Motorradfahrers befindet sich im Bauchnabel (Mittelpunkt der gelben Quadrate).
- Das linke gelbe Quadrat bezeichnet die Lage zum Zeitpunkt $t = 0$ im Ursprung.
- Der Motorradfahrer landet bäuchlings horizontal auf dem Boden

Vernachlässigen Sie die Rotation der Fahrers, den Luftwiderstand und sonstige Reibungswiderstände wie z.B. zwischen Fahrer und Sattel oder Hand und Lenker, usw.

- Schätzen Sie aus den Daten und dem Bild durch Abmessen die momentanen Koordinaten *des Schwerpunkts* und dessen Höhe über dem Boden jeweils in m ab. (2P)
- Mit welcher Geschwindigkeit ist der Motorradfahrer in die Pneuwand gerast? (1P)
- Wie gross war die vertikale Geschwindigkeitskomponente zum Zeitpunkt $t = 0$? (1P)
- In welcher Horizontaldistanz vom Koordinatenursprung landet er auf dem Boden? (2P)



Aufgabe 4: Treibhauseffekt (8P)

- a) Ohne Berücksichtigung der Atmosphäre empfängt eine zur Sonne ausgerichtete Fläche der Erde eine Strahlungsintensität von $I_E = 1367 \text{ W/m}^2$. Berechnen Sie die Temperatur T_S der Sonnenoberfläche unter der Annahme, dass die Sonne in hinreichender Näherung ein schwarzer Körper ist. Der Sonnenradius r_S beträgt $6.96 \cdot 10^8 \text{ m}$ und der Abstand Sonne-Erde r_{SE} ist $1.496 \cdot 10^{11} \text{ m}$. (3P) *Hinweis: Der Erdradius wird vernachlässigt.*
- b) Während die Erde von der Sonne Energie aufnimmt, gibt sie aber über die Oberfläche auch Strahlungsenergie an den Weltraum ab und zwar so, dass die Erde eine konstante Gleichgewichtstemperatur T_E besitzt. Messungen zeigen jedoch, dass ca. $\alpha = 30\%$ der einfallenden Sonnenstrahlung I_E von der Erde zurück ins Weltall reflektiert wird. Berechnen Sie die Gleichgewichtstemperatur der Erdoberfläche in $^\circ\text{C}$, wenn die Erde keine Atmosphäre hätte. (2P) *Hinweis: Die Strahlungsenergie wird von der Querschnittsfläche der Erde aufgenommen, aber von der ganzen Oberfläche abgestrahlt.*
- c) In einem neuen Modell sollen nun die Atmosphäre mit seiner Absorptionsfähigkeit f und die tatsächlich gemessene mittlere Oberflächentemperatur der Erde $T_O = 288 \text{ K}$ einbezogen werden. Das Modell hat zwei Lagen, nämlich die Atmosphärenoberfläche und die Erdoberfläche (s. Abbildung unten), weshalb das Modell auch „two layer model“ genannt wird. Beide sollen wie schwarze Körper strahlen. Die Atmosphären- und auch die Erdoberfläche empfangen in diesem Modell von der Sonne je die Intensität $I_{EO} = 239 \text{ W/m}^2$ (sich beziehend auf die Oberfläche wie die ins All gerichtete Strahlung); diese Strahlung gelangt also ohne Abschwächung durch die Atmosphäre! Die Atmosphäre strahlt in das All und zur Erde mit der Intensität I_A . Die Erdoberfläche mit der Temperatur T_O strahlt mit der Intensität $I_E = \sigma T_O^4$; die Atmosphäre absorbiert davon aber den Bruchteil $f < 1$. Die Strahlung, die insgesamt die Atmosphärenoberfläche verlässt, setzt sich aus zwei Teilen zusammen, nämlich I_A und dem Bruchteil der Erdstrahlung, den wir mit I_E' bezeichnen. Nun soll auf beiden Lagen (Atmosphären- und Erdoberfläche) ein Strahlungsgleichgewicht herrschen. Finden Sie die beiden Gleichungen und berechnen Sie daraus die Absorptionsfähigkeit f in %. Zeigen Sie „von Hand“, dass $f = 2 - \frac{2 \cdot I_{EO}}{\sigma T_O^4}$ ist. (3P)

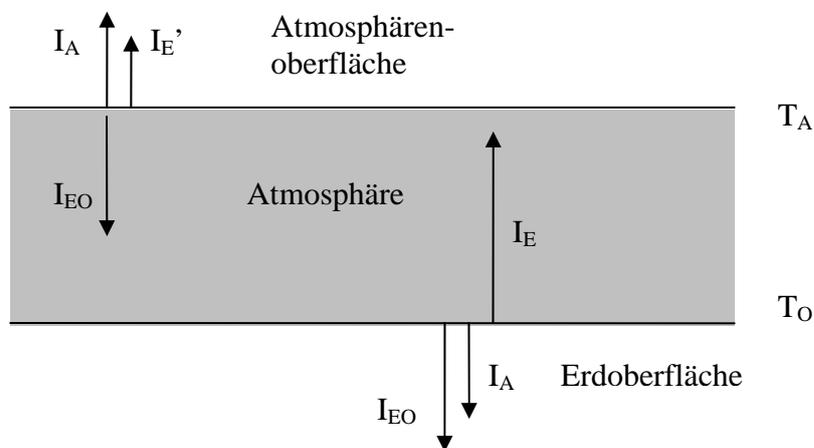
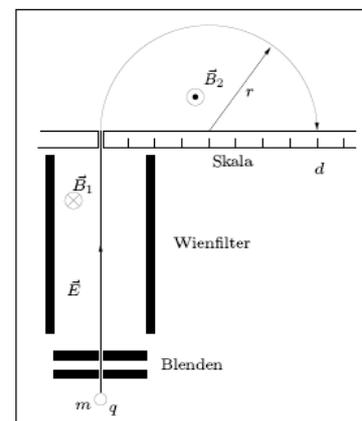


Abbildung zur Aufgabe c: Zweilagigenmodell, „two layer model“

Aufgabe 7: Massenspektrograph nach Bainbrigde (9P)

Mit einer Beschleunigungsspannung U_0 werden Teilchen mit der Masse m und der elektrischen Ladung q auf die Geschwindigkeit v beschleunigt. Danach durchfliegen sie geradlinig das senkrecht zur Geschwindigkeit liegende elektrische Feld E eines quadratischen Plattenkondensators mit der Seitenlänge $l = 53.4$ cm, dem Plattenabstand $s = 8.00$ cm und der Spannung $U_P = 5.3$ kV. Das elektrische Feld wird von einem magnetischen Feld mit der Flussdichte $B_1 = 195$ mT durchsetzt, das senkrecht auf dem elektrischen Feld steht. Schiesst das Teilchen parallel zu den Kondensatorplatten aus dem elektrischen Feld heraus, durchdringt es ein zweites magnetisches Feld mit der Flussdichte $B_2 = 35.5$ mT, das dem ersten entgegen gerichtet ist. Nach einer halbkreisförmigen Bahn mit dem Radius $r = 10$ cm wird es von einem Detektor im Abstand $d = 2r$ registriert. Die Schwerkraft und das Erdmagnetfeld werden vernachlässigt.

- Zeichnen Sie in der Abbildung die auf ein positives geladenes Teilchen wirkenden Kräfte in verschiedenen Positionen der Bahn ein? Zeichnen Sie auch die elektrischen Feldlinien mit Richtung ein. (1P)
- Mit welcher Geschwindigkeit v müssen die Teilchen ins Feldgebiet B_1 und E zwischen den Kondensatorplatten eintreten, damit sie sich zwischen den Platten auf geradliniger Bahn bewegen? (1P)
- Berechnen Sie die *spezifische Ladung* q/m der Teilchen, wenn sie nach einem Halbkreis im Abstand d aufschlagen. Drücken Sie dabei die formale Lösung nur mit den gegebenen Grössen aus. (2P)
- Welche spezifische Ladung q/m besitzen ${}^4_2\text{He}^{++}$ -Ionen? Berechnen Sie mit der formalen Lösung aus c) die Distanz d , bei welcher diese Ionen auftreffen? (2P)
- Durch einen Defekt fallen beide Magnetfelder B_1 und B_2 aus. Die Beschleunigungsspannung U_0 wird geändert. Welche Bahnkurve beschreiben die Teilchen? Wie gross muss die Geschwindigkeit eines ${}^4_2\text{He}^{++}$ -Ions und somit U_0 sein, damit es gerade noch den Plattenkondensator verlassen kann? (3P)



Aufgabe 8: Radioaktives Technetium Tc-99 in der medizinischen Diagnostik (8P)

Das radioaktive Isotop ${}^{99}_{43}\text{Tc}$ ist ein γ -Strahler mit einer Halbwertszeit von 6.0 h. In der Medizin wird Technetium zur Bestimmung der Blutmenge von Patienten verwendet. Dazu wird ihm Blut entnommen, dieses mit $7.7 \cdot 10^{-11}$ g ${}^{99}_{43}\text{Tc}$ versetzt und dann wieder in den Blutkreislauf gespritzt.

- Wie viele ${}^{99}_{43}\text{Tc}$ -Kerne werden anfangs ins Blut gegeben? (1P)

Nach einiger Zeit hat sich das Technetium gleichmässig im Blut verteilt. Nach 1.5 Stunden wird das Blut wieder untersucht.

- Wie viele der ursprünglich vorhandenen Kerne sind bis dann zerfallen? (2P)
- Wie gross ist dann die Aktivität? (2P)
- Dem Patienten werden 20.0 cm³ Blut entnommen. Die Aktivität der Probe beträgt 43.5 kBq. Welches Blutvolumen in Liter hat der Patient? (1P)
- Die Gammastrahlung mit einem Qualitätsfaktor von 1 hat eine maximale Energie von 0.143 MeV; der Mittelwert pro γ ist etwa ein Drittel davon. Welche Strahlenbelastung in Sv hat der 72 kg schwere Patient bis dann aufgenommen? (2P)