# Übungen zu Physik I (MNF-phys-101), WS 20/21

Dr. J. Stettner / Prof. Dr. R. Wimmer-Schweingruber / Prof. Dr. O. Magnussen

## Blatt 4

zu bearbeiten bis: 30.11.2020

1. *Ballspiele:*

   Ein Kind schießt zum Zeitpunkt $t = 0$ von einem Balkon der Höhe $y_1(0) = 20$ m einen Ball '1' horizontal mit einer Geschwindigkeit $v_{x1}(0) = 10$ m/s. Ein anderes Kind, das auf dem Erdboden in einer horizontalen Entfernung von $x_2(0)$ =5 m steht, wirft zum gleichen Zeitpunkt einen weiteren Ball '2' senkrecht in die Höhe, so dass beide Bälle sich in der Luft treffen.

   a) Fertigen Sie eine Zeichnung an, die das durch die Aufgabenstellung vorgegebene kartesische Koordinatensystem $(x, y)$, die Bahnkurven der Bälle sowie alle im Aufgabentext genannten oder bei der Berechnung verwendeten Größen zeigt.

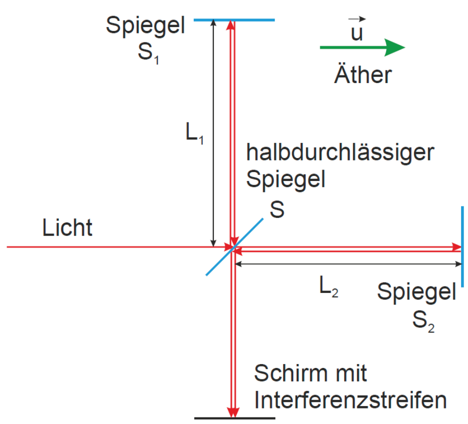
   b) Berechnen Sie den Zeitpunkt $t_c$, an dem sich die Bälle treffen.

   c) Bestimmen Sie die Anfangsgeschwindigkeit $v_{y2}(0)$ des Balles '2', so dass sich die Bälle treffen.

   d) Ermitteln Sie ...
      (i) die Beträge $v_1(t_c)$ und $v_2(t_c)$ der Geschwindigkeiten der beiden Bälle,
      (ii) den Winkel $\alpha$, den die Geschwindigkeitsvektoren der beiden Bälle einschließen, wenn sie aufeinander treffen.

2. *Michelson-Morley Experiment:*

   Bis Anfang des 20. Jahrhunderts glaubte man, dass Licht zur Ausbreitung ein Medium benötigt, den Äther. Im Äther breitet sich Licht in alle Richtungen mit der Geschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^8$ m/s aus. Das Michelson-Morley Experiment versucht, den Einfluss der Bewegung der Erde durch den (relativ zur Sonne) ruhenden Äther auf die Ausbreitung des Lichts nachzuweisen. Dazu wird ein Interferometer verwendet, dass aus zwei senkrecht zueinander stehenden Armen besteht, wobei deren Längen $L_1$ und $L_2$ nicht genau gleich sein müssen. Einer der Arme wir dabei parallel zur Ausbreitungsrichtung des Äthers orientiert. Der Äther bewegt sich mit der Geschwindigkeit $\vec{u}$ relativ zum Interferometer.



Berechnen Sie:

a) die Zeiten $t_1$ und $t_2$, die das Licht in der oben gezeigten Anordnung für die Strecken S-$S_1$-S bzw. S-$S_2$-S benötigt, wenn man die Newton'sche Mechanik (Galilei-Transformation) zugrunde legt,

b) die Laufzeitdifferenz $\Delta t = t_2 - t_1$ der beiden Strahlenbündel,

c) die Laufzeitdifferenz $\Delta t' = t'_2 - t'_1$, die sich ergibt, wenn das gesamte Interferometer um 90 Grad gedreht wird, so dass der Arm mit der Länge $L_1$ parallel zu $\vec{u}$ ist,

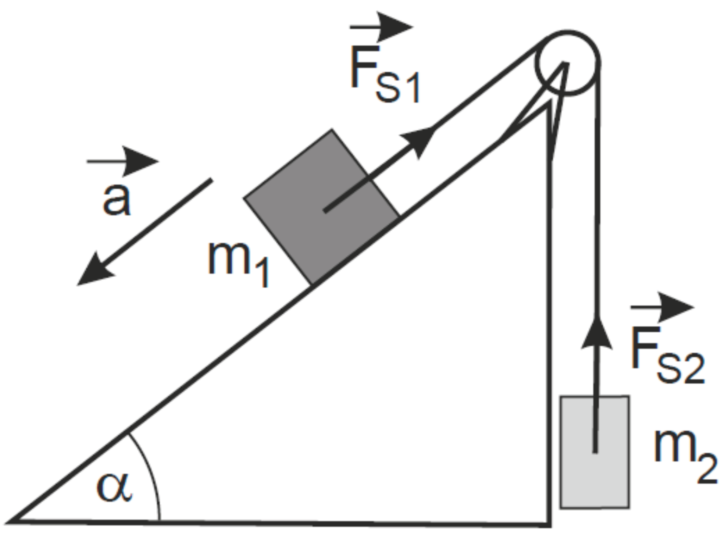
d) die Zeitdifferenz $\Delta t - \Delta t'$, die die Verschiebung der Streifen des Interferenzmusters durch die Drehung des Interferometers um 90 Grad bestimmt. Leiten Sie auch einen vereinfachten Ausdruck für $\beta = \frac{u}{c} \ll 1$ her. Hinweis: Aus $\beta \ll 1$ folgt $\gamma = (1 - \beta^2)^{-0.5} \approx 1 + \frac{1}{2}\beta^2$ sowie $\gamma^2 \approx 1 + \beta^2$.

e) Die (Bahn-)Geschwindigkeit der Erde auf ihrer Umlaufbahn um die Sonne beträgt $u = 30$ km/s. Berechnen Sie $\Delta t - \Delta t'$, wenn $L_1 = L_2 = 10$ m ist. Könnte die Existenz des Äthers bewiesen werden, wenn man mit dem Interferometer einen Wert von $\Delta t - \Delta t' \geq 2 \cdot 10^{-16}$ s nachweisen kann? Welche Armlänge $L$ wäre erforderlich, um den Äther nachzuweisen, wenn er im System des galaktischen Zentrums ruht? Die Umlaufgeschwindigkeit der Erde um das galaktische Zentrum beträgt 250 km/s.

f) Das Experiment ergibt, dass sich durch die Drehung des Interferometers um 90 Grad keine signifikante Änderung des Interferenzmusters ergibt. Erklären Sie das Ergebnis auf der Grundlage der speziellen Relativitätstheorie.

Hinweis: Sie können für a)-c) auf den Ergebnissen zu Aufgabe 2 von Blatt 3 aufbauen.

3. *Bewegungsgleichung, Addition von Kräften*:




Der Block '1' (Masse $m_1$) gleitet eine um den Winkel $\alpha$ geneigte Ebene hinab, so dass er über ein Seil und eine Umlenkrolle den frei hängenden Block '2' (Masse $m_2$) hochzieht. Es soll angenommen werden, dass das Seil und die Umlenkrolle masselos sind, das Seil nicht dehnbar ist und die Reibung zwischen dem Block und der geneigten Ebene vernachlässigbar ist.

a) Zeichnen Sie in die obige Abbildung jeweils schematisch (i) alle auf Block '1', (ii) alle auf Block '2' wirkenden Kräfte sowie für Block '1' die Komponenten parallel und senkrecht zur geneigten Ebene ein!
Hinweis: Die Seilkräfte $\vec{F}_{S1}$ und $\vec{F}_{S2}$, die auf die Blöcke wirken, sind bereits eingezeichnet.

b) Stellen Sie auf der Grundlage von a) die beiden Bewegungsgleichungen (2. Newtonsches Axiom) für die Bewegung entlang der Ebene jeweils für (i) Block '1', (ii) Block '2' auf!
Hinweis: Berücksichtigen Sie beim Aufstellen der Bewegungsgleichung 'i' ausschließlich diejenigen Kräfte, die auf den Block 'i' wirken.

c) Leiten Sie auf der Grundlage dieser beiden Bewegungsgleichungen den Ausdruck für das Verhältnis der Beschleunigung $a$ der Blöcke entlang der Ebene und der Erdbeschleunigung $g$ als Funktion der im einleitenden Text genannten Größen her!
Hinweis: Die Seilkräfte $\vec{F}_{S1}$ und $\vec{F}_{S2}$ sind dem Betrage nach gleich groß.

**Freiwillige Zusatzaufgabe**:

4. *Strahlungsbilanz von Planeten - Abschätzung des Treibhauseffekts*:

In der Physik I Vorlesung im Rahmen der 'Public climate school CAU' wurde gezeigt, dass sich aus der Strahlungsbilanz der von der Sonne zur Verfügung gestellten Strahlungsleistung $P_{in,e} = \pi r_e^2 S_e$ und der von der Erde emittierten Strahlungsleistung $P_{S,e} = 4\pi r_e^2 \sigma T_0^4$ eine Gleichgewichtstemperatur von $T_{0,e} = 278\ K = 5°\,\mathrm{C}$ ergibt. Es ist $r_e$ der Erdradius und $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{W\ m^{-2}} K^{-4}$ die Stefan-Boltzmann-Konstante. Die Solarkonstante $S_e = 1368\,\mathrm{W/m^2}$ ist die mittlere Strahlungsleistung der Sonne pro senkrecht stehendem Flächenelement (*Intensität*) in der Entfernung $d_e = 1\,\mathrm{AE}$. Hierbei wurde stark vereinfachend angenommen, dass die einfallende Sonnenstrahlung von der Erdoberfläche vollständig absorbiert wird, dass also keine Verluste durch Reflexion an der Erdatmosphäre auftreten. Tatsächlich ist die mittlere Durchschnittstemperatur $T_e$ der Erde mit 287 K = 14° C aber immer noch deutlich höher, was zum Großteil am natürlichen Treibhauseffekt liegt. In dieser Aufgabe soll das in der Vorlesung verwendete Modell erweitert werden, so dass Sie die Größenordnung des natürlichen Treibhauseffekts bei der Erde und der Venus abschätzen können. Bei beiden Planeten spielt hierbei ihre Atmosphäre ein wichtige Rolle.

a) Nehmen Sie an, dass die auf die Planetenoberfläche auftreffende Strahlungsleistung der Sonne gegeben ist durch $P_{in}$ abzüglich des reflektierten Anteils $P_R = \alpha\pi r^2 S$. Die Reflektivität (Albedo) $\alpha$ eines Planeten ist insbesondere von seiner Bewölkung abhängig ($0 \leq \alpha \leq 1$). Berechnen Sie unter Berücksichtigung von $P_R$ die sich ergebenden mittleren Oberflächentemperaturen $T_{1,e}$ der Erde und $T_{1,v}$ der Venus. Berücksichtigen Sie, dass für die Venus, die sich in einem Abstand von $d_v = 0,721\,\mathrm{AE}$ von der Sonne befindet, die 'Solarkonstante' $S_v$ größer als für die Erde ist. Für die teilweise bewölkte Erde ist $\alpha_e = 0,31$, für die vollständig bewölkte Venus $\alpha_v = 0,77$.

b) Näherungsweise soll der natürliche Treibhauseffekt beschrieben werden, indem keine Absorption der einfallenden (höherenergetischen) Sonnenstrahlung in der Atmosphäre auftritt, aber ein Teil der durch die Erde emittierten Wärmestrahlung durch die Atmosphäre absorbiert wird, bevor sie den Weltraum erreicht: $P_A = 4\pi r^2 \gamma\sigma T^4$. Die Strahlungsbilanz lautet dann: $P_{in} - P_R = P_S - P_A$. Schätzen Sie mit Hilfe der tatsächlichen Oberflächentemperaturen $T_e$ der Erde und $T_v = 760\,\mathrm{K} = 487°\ \mathrm{C}$ der Venus die Treibhausfaktoren $\gamma_e$ und $\gamma_v$ ab und diskutieren Sie das Ergebnis.