

## Prüfung

Zeit: 3 Stunden

Hilfsmittel: Formeln und Tafel (handschriftlich ergänzt, keine Zusatzblätter)  
Taschenrechner  
Geodreieck

**Regeln:** Die Blätter sind nicht zu trennen. Es darf nicht mit Bleistift oder Rotstift geschrieben oder gezeichnet werden. Falls der Platz unter einer Aufgabenstellung nicht ausreicht, kann auf der Rückseite des vorhergehenden Blattes weiter geschrieben werden. Es gibt höchstens dann volle Punktzahl zu einer Aufgabe, wenn der Lösungsweg klar ersichtlich ist.

- 1.1. Ein Strassenwalze wird in Bewegung gesetzt: Eine Strassenwalze (Länge 5m, Breite 2m, Höhe 2.5m) mit einer Gesamtmasse von 17t wird nach einem Motorschaden von einem LKW abgeschleppt. Es wird ein Abschleppseil mit Federdämpfern verwendet, das dafür sorgt, dass dieser Vorgang mit konstanter Kraft (20kN) stattfindet. Die Walzen sind so breit wie das gesamte Fahrzeug und können als stählerne (Dichte von Eisen) Hohlzylinder mit einem Durchmesser von 1m und einem Innenradius von 0.35m angesehen werden.



1.1.1. [6 Punkte] Welche Masse hat jede der beiden Walzen?

1.1.2. [4 Punkte] Welches Trägheitsmoment hat eine Walze?

1.1.3. [3 Punkte] Welche Arbeit verrichtet der LKW auf 10m Abschleppstrecke an der Walze?

1.1.4. [6 Punkte] Welche Geschwindigkeit erreicht das Fahrzeug nach 10 Metern?

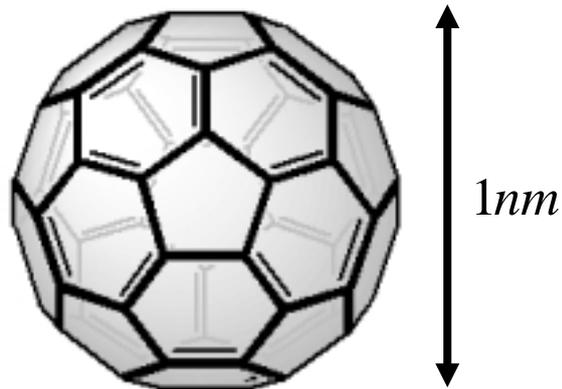
1.1.5. [3 Punkte] Wie gross ist dann die kinetische Energie des gesamten Fahrzeugs?

1.1.6. [3 Punkte] Wie gross ist dann die Winkelgeschwindigkeit der Walzen?

1.1.7. [3 Punkte] Wie viel Rotationsenergie steckt dann in den beiden Walzen?

1.1.8. [3 Punkte] Welchen Drehimpuls hat dann eine Walze?

1.2. Beugung des Fulleren  $C_{60}$  (Durchmesser  $d \approx 1nm$ ) am Spalt.



1.2.1. [4 Punkte] Wie gross ist die Masse eines  $C_{60}$ -Moleküls?

1.2.2. [1 Punkt] Wieso kann man  $C_{60}$ -Moleküle nicht mit einer Spannung beschleunigen wie bei der Elektronenbeugung?

1.2.3. [4 Punkte] Um einen Strahl von  $C_{60}$ -Molekülen zu erzeugen, heizt man das Fulleren in einem Ofen auf 900K auf und lässt Moleküle der entsprechenden thermischen Geschwindigkeit durch einen Spalt austreten. Wie schnell sind die Moleküle also?

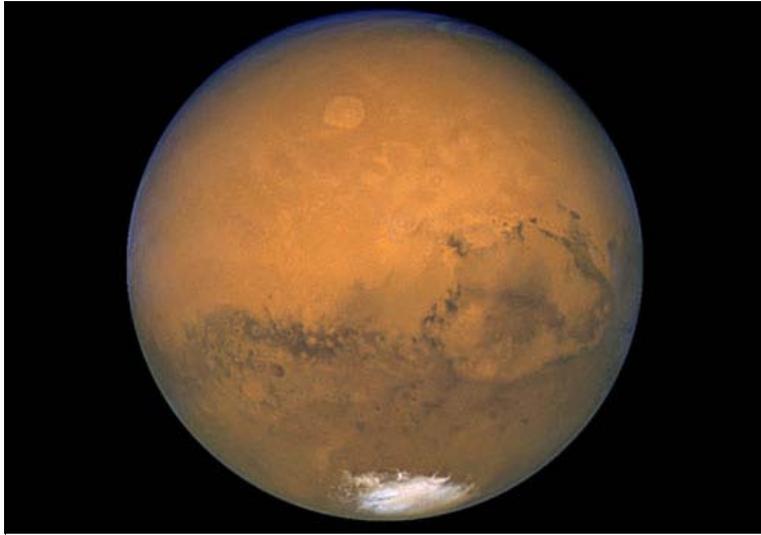
1.2.4. [4 Punkte] Welche Wellenlänge hat nun ein solches  $C_{60}$ -Molekül?

1.2.5. [1 Punkt] Etwa welche Breite  $b$  müsste ein Spalt haben, an dem man Beugungserscheinungen „einfach“ nachweisen könnte?

1.2.6. [1 Punkt] Selbst wenn man einen solchen Spalt hätte: Wo läge das noch grundlegendere Problem?

1.2.7. [6 Punkte] Zum Nachweis der Beugung sendet man die  $C_{60}$ -Moleküle daher durch einen Spalt von  $b=10^{-7} m$  Breite. In 1.25m Entfernung vom Spalt befindet sich ein Teilchendetektor, der die Position der auftreffenden Moleküle sehr genau misst. In welchem Abstand zum zentralen Maximum sieht man das Maximum erster Ordnung? (Der Beugungswinkel darf bei der Berechnung als sehr klein angenommen werden.)

- 1.3. Ein Ausflug zum Mars: Es ist Freitag, die Schule ist aus und Sie brechen kurz entschlossen mit Ihrem Raumschiff ( $m=10^6 \text{ kg}$ ) zu einem Wochenendausflug Richtung Mars auf, der zur Zeit  $2 \cdot 10^{11} \text{ m}$  von der Erde entfernt ist.



1.3.1. [3 Punkte] Nach einer vernachlässigbar kurzen Beschleunigungsphase erreichen Sie eine Geschwindigkeit von  $v=0.5c$ . Wie lange dauert Ihr Flug zum roten Planeten von der Erde aus betrachtet?

1.3.2. [3 Punkte] Wie lange dauert der Flug vom Raumschiff aus betrachtet, also aus Ihrer Sicht?

1.3.3. [4 Punkte] Die Zeit reicht aus, um nach dem Verlassen der Erdatmosphäre ein schweizer Fähnli an der Aussenbordantenne zu befestigen. Sie überlegen sich: Wenn ihre Grosi nun mit dem Fernrohr ihr Raumschiff anvisiert, in welcher Farbe würde sie das rot ( $\lambda=640\text{nm}$ ) des Fähnchens sehen? Berechnen Sie die Wellenlänge  $\lambda$ , in der das rote Licht des Fähnchens auf der Erde ankommt. Könnte Ihre Grossmutter es überhaupt wahrnehmen?

1.3.4. [5 Punkte] Und dann sind Sie auch schon da, bremsen ab und schwenken in eine kreisförmige Umlaufbahn ein. Sie messen einen Abstand zur Oberfläche des Mars von 1000km. Wie gross ist Ihr Abstand zum Marsmittelpunkt? Welche Geschwindigkeit haben Sie?

1.3.5. [7 Punkte] Wie gross sind die potentielle, die kinetische und die Gesamtenergie Ihres Raumschiffs?

1.3.6. [2 Punkte] Sie ärgern sich: 100m vor Ihnen (auf exakt derselben Umlaufbahn) fliegt ein anderer Weltraumtourist und nimmt Ihnen die Sicht auf den Horizont. Sie beschliessen, ihn zu überholen und zünden die Bremsdüsen! Wieso beschleunigen Sie nicht?

1.3.7. [6 Punkte] Sie bremsen so, dass Sie  $5 \cdot 10^{10} J$  der Gesamtenergie verlieren (Achtung: da E negativ ist, nimmt der Betrag von E hierbei zu!), aber wieder eine Kreisbahn fliegen (Andere Bahnen sind aus Gründen der Verkehrssicherheit verboten!). Welchen Abstand zum Marsmittelpunkt haben Sie nun? Wie viel tiefer als Ihr Vordermann fliegen Sie nun?

1.3.8. [3 Punkte] Welche Geschwindigkeit haben Sie nun?

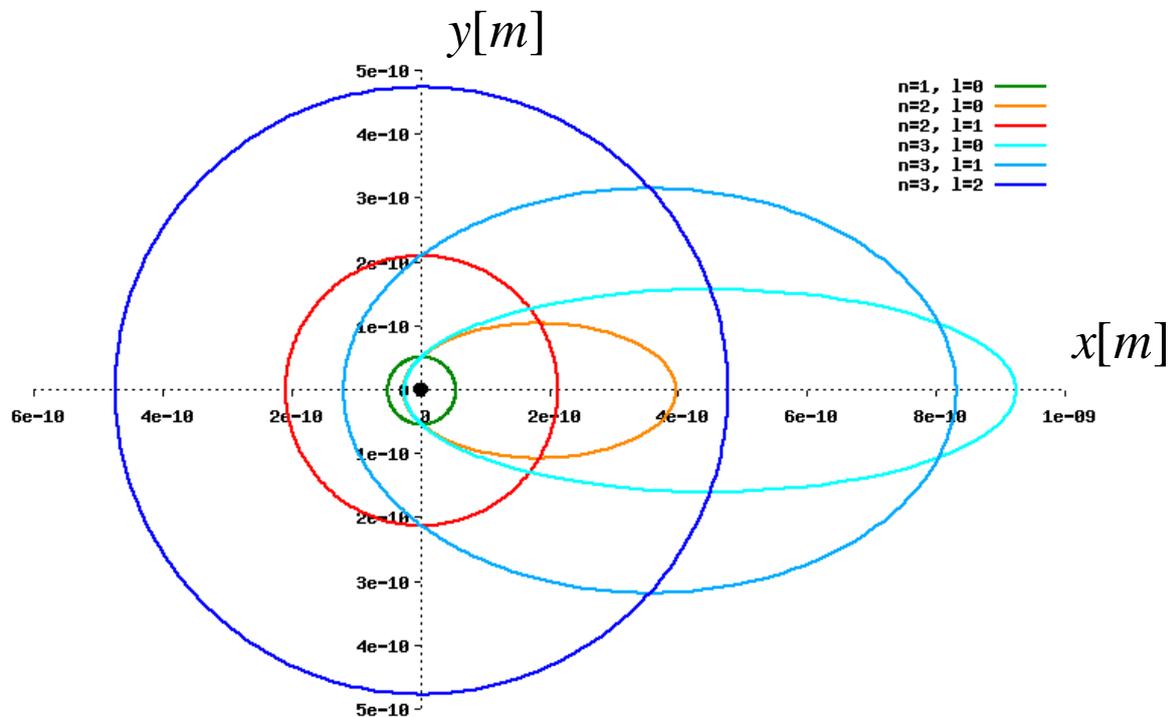
1.3.9. [7 Punkte] Wie lange dauert es, bis Sie ihn überholt haben, also 100m vor ihm sind? (Sie können annehmen, dass Sie und ihr Vordermann geradlinig fliegen, denn das ganze geht sehr schnell!)

1.3.10. [3 Punkte] Nun, da die Sicht frei ist, erkennen Sie am Boden den Olympus Mons, den höchsten Berg des Mars, einen heute erloschenen Vulkan. Sie erinnern sich: Könnte der Mars-Meteorit, der vor einigen Jahren auf der Erde gefunden wurde, bei einem Ausbruch dieses Vulkans vor langer Zeit so heftig hoch geschleudert worden sein, dass er dann auf der Erde gelandet ist? Welche Geschwindigkeit müsste er dabei mindestens erhalten haben, dass er das Gravitationsfeld des Mars verlassen konnte?



1.3.11. [4 Punkte] Nach vielen aufregenden Erlebnissen auf dem roten Planeten beschleunigen Sie sonntags abends auf  $v=0.99c$  in Richtung Erde. Sie schicken noch schnell eine Funkmitteilung (10 Sekunden Dauer) an Ihre Grosi, dass Sie pünktlich zum Essen daheim sind. Wie lange dauert diese Mitteilung, wenn sie von Ihrer Grossmutter empfangen wird?

- 1.4. Bohr-Sommerfeld-Modell des Wasserstoffatoms: In diesem Modell, das eine Erweiterung des Bohrschen Atommodells darstellt, kreist das Elektron auf Ellipsenbahnen um den Atomkern:



In diesem Modell bestimmt die Hauptquantenzahl  $n$  die Gesamtenergie des Elektrons nach derselben Formel wie im Bohrschen Atommodell:

$$E_n = \frac{-m_e \cdot e^4}{8 \cdot \epsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \frac{1}{n^2} = -13.6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2}; \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Der Drehimpuls des Elektrons wird hingegen durch eine weitere Quantenzahl bestimmt, die Drehimpulsquantenzahl  $\ell$ . Es ist hierbei

$$L = (\ell + 1) \cdot \frac{h}{2 \cdot \pi}; \quad \ell = 0, 1, 2, 3, \dots, (n - 1)$$

Hat ein Elektron die Hauptquantenzahl  $n$ , so kann die Drehimpulsquantenzahl  $\ell$  alle Werte annehmen zwischen Null und  $n - 1$ .

1.4.1. [2 Punkte] Die Bahnen mit  $\ell = n - 1$  entsprechen exakt den Bahnen des Bohrschen Atommodells. Wie erkennt man dies quantitativ an der Formel für den Drehimpuls? Und wie erkennt man dies qualitativ an der Abbildung oben?

Bei der Ellipse für  $n=2$  und  $\ell = 0$  erreicht das Elektron einen maximalen Kernabstand von  $4 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ .

1.4.2. [3 Punkte] Wie gross ist dann seine Gesamtenergie?

1.4.3. [3 Punkte] Wie gross ist dann sein Drehimpuls?

1.4.4. [4 Punkte] Welche Geschwindigkeit hat es dann?

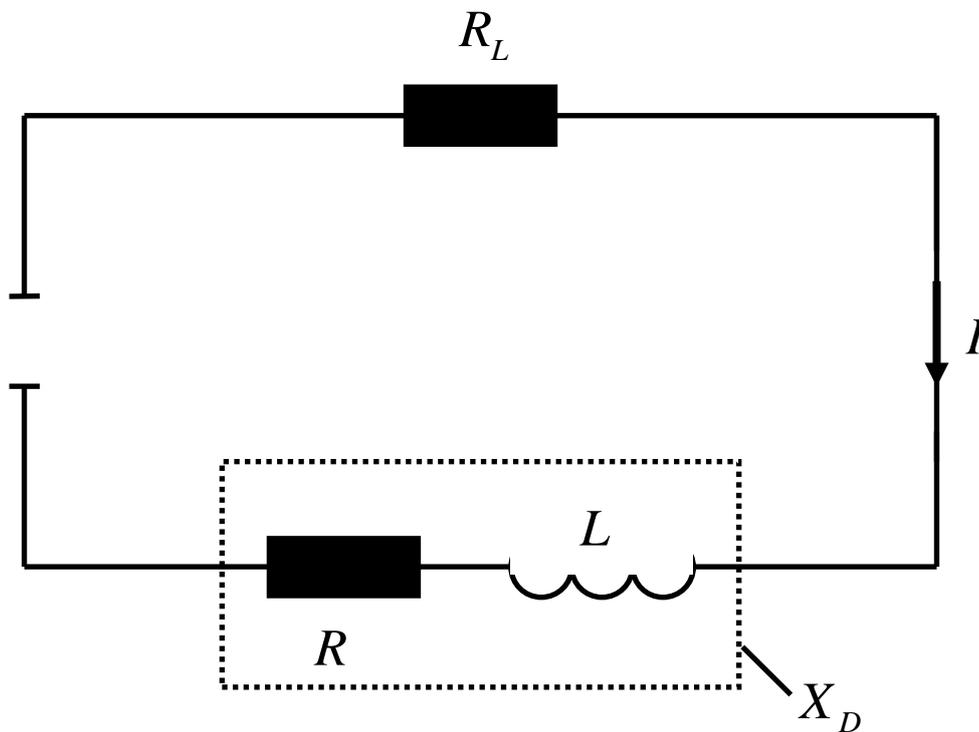
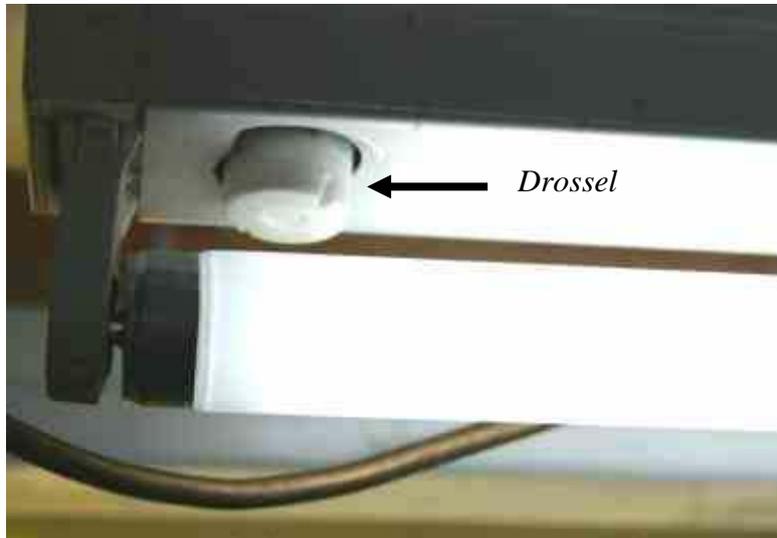
1.4.5. [3 Punkte] Wie gross ist dann seine kinetische Energie?

Der minimale Kernabstand auf dieser Bahn beträgt  $r' = 2.7 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ .

1.4.6. [3 Punkte] Wie gross ist dann seine potenzielle Energie?

1.4.7. [6 Punkte] Welche Geschwindigkeit  $v'$  erreicht das Elektron auf dieser Bahn maximal?

- 1.5. Leuchtstoffröhre und Drosselspule: Bei Leuchtstofflampen wird zur Strombegrenzung die Lampe zusammen (d. h. in Reihe) mit einer „Drossel“ (Reihenschaltung eines Ohmschen Widerstands  $R$  und einer Spule mit Induktivität  $L$ ) an das Stromnetz (220V, 50Hz) angeschlossen. Es fließt nun (in unserem Fall) ein Strom von 0.38A, wobei an der Drossel 215V abfallen, an der Lampe selbst lediglich 60V.



1.5.1. [3 Punkte] Die Lampe hat näherungsweise einen rein ohmschen Widerstand  $R_L$ . Wie gross ist dieser?

1.5.2. [3 Punkte] Wie gross wäre der Strom ohne die Drossel?

1.5.3. [3 Punkte] Wie gross ist die Impedanz  $X_D$  der Drossel?

1.5.4. [4 Punkte] Wie gross ist L, wenn der Ohmsche Widerstand in der Drossel den Wert  $R=6.8\Omega$  hat?

1.5.5. [1 Punkt] Wie gross ist formal die komplexe Impedanz  $Z$  der gesamten Schaltung?

1.5.6. [3 Punkte] Wie gross die Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und der Netzspannung?

1.5.7. [6 Punkte] Wie gross sind Schein-, Wirk- und Blindleistung der gesamten Schaltung?

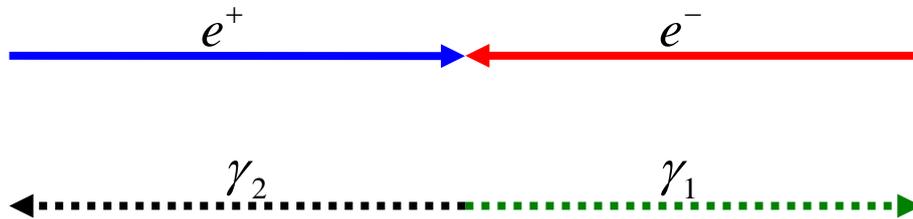
1.5.8. [2 Punkte] Wieso mag das Elektrizitätswerk diese Blindleistung nicht?

1.5.9. [1 Punkt] Um das Auftreten von Blindleistung zu vermeiden, ist in vielen Aufhängungen für Leuchtstoffröhren ein Kondensator eingebaut, der mit Lampe und Drossel in Reihe geschaltet ist. Zeichnen Sie den entstehenden Schaltkreis.

1.5.10. [1 Punkt] Wie gross ist formal die komplexe Impedanz  $Z$  dieser Schaltung?

1.5.11. [4 Punkte] Wie muss die Kapazität  $C$  dieses Kondensators gewählt werden, damit keine Blindleistung entsteht?

- 1.6. Mittelenergetische Paarvernichtung: Ein Elektron und ein Positron mit 1.51MeV bzw. 2.51MeV Gesamtenergie stossen frontal aufeinander, annihilieren und erzeugen zwei Photonen, deren Impulse (in diesem Spezialfall) parallel zu denen von Elektron bzw. Positron verlaufen.



1.6.1. [4 Punkte] Wie gross ist die Ruheenergie von Elektron und Positron?

1.6.2. [4 Punkte] Wie gross ist die kinetische Energie von Elektron und Positron?

1.6.3. [4 Punkte] Durch welche Spannung sind Elektron und Positron beschleunigt worden?

1.6.4. [4 Punkte] Wie gross ist das  $\gamma$  von Elektron und Positron?

1.6.5. [5 Punkte] Wie gross ist jeweils  $\beta$ ?

1.6.6. [6 Punkte] Wie gross sind die Impulse von Elektron und Positron?

1.6.7. [4 Punkte] Was besagt der Energieerhaltungssatz in dieser Situation?

1.6.8. [4 Punkte] Was besagt der Impulserhaltungssatz bei dieser Reaktion?

1.6.9. [11 Punkte] Berechnen Sie nun die Frequenzen der erzeugten Photonen.