

# Physik

**Hilfsmittel:** - gelbe DMK-Formelsammlung oder die hauseigene „kleine Grüne“  
- Taschenrechner mit leerem Speicher

**Arbeitszeit:** 4 Stunden

**Hinweise:** - Jede Aufgabe geht mit gleichem Gewicht in die Bewertung ein  
- Für eine 6 ist nicht die volle Punktzahl notwendig

## 1. Elektroauto Tesla Roadster

a) Zeigen Sie, dass die Leistung der Drehbewegung des Motors das Produkt aus Drehmoment und Winkelgeschwindigkeit ist:

$$P = M \cdot \omega$$

b) Berechnen Sie anhand der Drehmomentangaben im Diagramm die maximale Leistung des Elektromotors bei 5000 U/min in PS. (1PS = 735W)

c) Bei Höchstgeschwindigkeit wird die Motorleistung hauptsächlich dazu benötigt, den Luftwiderstand zu kompensieren, daher können die anderen Reibkräfte für eine Abschätzung der maximalen Geschwindigkeit vernachlässigt werden.

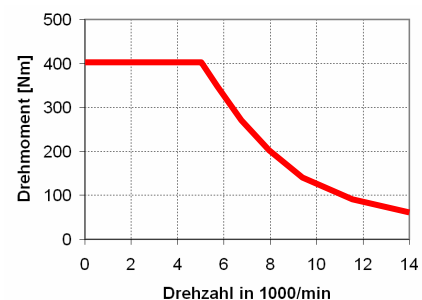
Wie man aus dem Diagramm ersehen kann, sinkt das Motordrehmoment und damit die Motorleistung infolge von Ummagnetisierungsverlusten im Motor bei hohen Drehzahlen auf 136 PS ab.

Berechnen Sie aus dieser reduzierten Motorleistung und der Luftwiderstandsleistung die Höchstgeschwindigkeit des Tesla Roadster.

**Daten Tesla:** Luftwiderstandsbeiwert: 0.37    Breite: 1.73m    Höhe: 1.13m

d) Die Batterie des Tesla Roadster hat eine Gesamtspannung von 377.4V. Sie besteht aus handelsüblichen Lithiumzellen, die z.B. für Laptopakkus gebraucht werden. Die einzelnen Zellen haben eine Spannung von 3.7 Volt und können für längere Zeit einen Strom von maximal 8.6A liefern, ohne heiss zu werden.

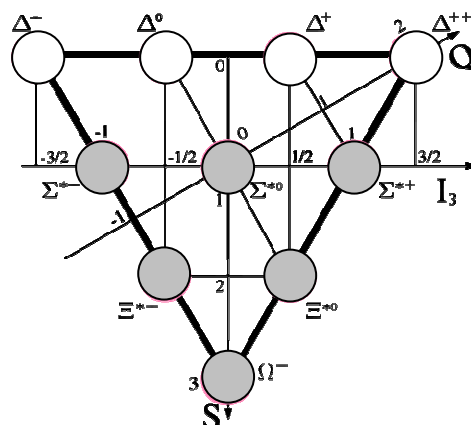
Berechnen Sie den Strom, der bei maximaler Leistung des Tesla Roadster von der Gesamtbatterie geliefert werden muss und ermitteln Sie daraus die Gesamtzahl der benötigten Zellen. (Zeichnen Sie ein Schaltbild, aus dem ersichtlich ist, wie die Batterien zusammenschaltet werden müssen.)



## 2. Large-Hadron-Collider (LHC), CERN

a) Der LHC ist ein Protonenbeschleuniger. Das Proton besteht bekanntlich aus Quarks der ersten Quarkfamilie (u/d-Quarks). Im Baryonen-Dekuplett gibt es vier verwandte  $\Delta$ -Teilchen, die ebenfalls aus Quarks der ersten Quarkfamilie zusammengesetzt sind. Ermitteln Sie deren „Quarkinhalt“.

Worin unterscheidet sich das Proton vom  $\Delta^+$ -Teilchen?



b) Der LHC kann die Protonen auf eine kinetische Energie von 7TeV beschleunigen.

Wie viel Prozent der Lichtgeschwindigkeit erreichen die Protonen demnach? (Rechnen Sie relativistisch!)

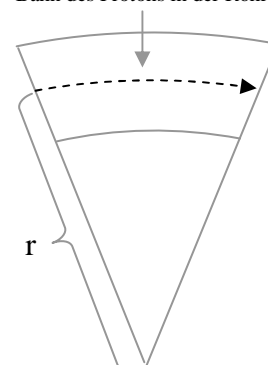
[Zur Kontrolle:  $v = 0.999999991c$ ]



c) Um die Protonen auf eine angenäherte Kreisbahn zu bringen, durchlaufen sie über 1000 Ablenksektoren, in denen sehr starke Magnetfelder die Protonen jeweils auf Kreisbögen mit dem Radius  $r = 2.8$  km zwingen. (Dazwischen bewegen sich die Protonen geradlinig.) Wir nehmen für die folgenden Überlegungen an, dass die Magnetfelder homogen sind.

Erläutern Sie kurz, weshalb die Protonen innerhalb des Magnetfelds Kreisbögen durchlaufen und geben Sie in einer Skizze an, wie das Magnetfeld im angegebenen Fall gerichtet ist.

Bahn des Protons in der Röhre

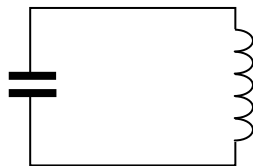
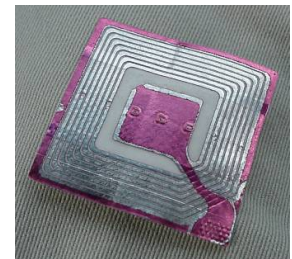


d) Berechnen Sie die Stärke der Magnetfelder, die nötig sind, um die Protonen auf den Kreisbahnen zu halten. Rechnen Sie relativistisch.

e) Die Magnetfelder werden durch supraleitende Spulen erzeugt, die mit flüssigem Helium sehr nahe an den absoluten Nullpunkt abgekühlt werden müssen. Warum betreibt man einen solchen Aufwand?

### 3. Elektronische Warensicherung

Warenhäuser sichern ihre Ware oft mit einer elektronischen Warensicherung, die man RF-Tag nennt. Dieser Tag wird in Plastikkapseln versteckt an der Ware befestigt oder direkt auf die Ware aufgeklebt und besteht aus einer Spule und einem Kondensator (der sehr geringe Widerstand der Leitungen wird für die Aufgaben a) - c) vernachlässigt):

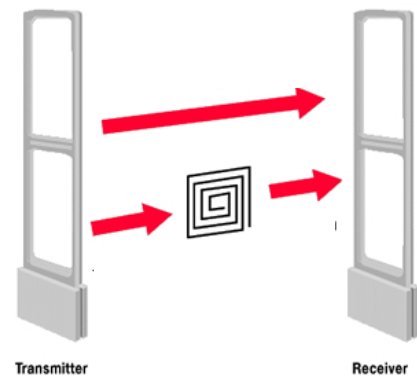


a) Wir nehmen einmal an, dass der Kondensator zum Zeitpunkt  $t_0$  geladen ist. Erläutern Sie, warum sich der Strom in diesem Stromkreis sinusförmig ändert, indem Sie anhand von kleinen Skizzen die Vorgänge im Kondensator und in der Spule im weiteren zeitlichen Verlauf darstellen.

b) Stellen Sie eine Differentialgleichung für den Strom im Stromkreis auf, und zeigen Sie mit dem Ansatz aus a), dass für die Frequenz der Stromschwingungen im Stromkreis gilt:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

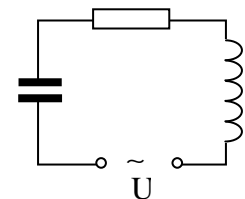
c) Um etwaige Diebstähle entdecken zu können, wird am Ladenausgang zwischen zwei Wänden ein hochfrequentes elektromagnetisches Feld erzeugt, wobei die eine Wand der Sender ist und die andere der Empfänger. Die Frequenz des Feldes durchläuft einen grösseren Frequenzbereich während die Ware mit dem RF-Tag die beiden Wände passiert.



Erläutern Sie das Prinzip, mit dem dieses Gerät einen Diebstahl detektieren kann.

In welchen Fällen könnte die Methode versagen?

d) Nun berücksichtigen wir den Widerstand der Leitungen (s. Abb). Die eingezeichnete Spannungsquelle  $U$  berücksichtigt ausserdem die Anregung durch das äussere Feld. Leiten Sie mit Hilfe eines Zeigerdiagramms formal den Strom im RF-Tag in Abhängigkeit von der Frequenz des äusseren Feldes her und skizzieren Sie diese Abhängigkeit in einem Diagramm, indem Sie sich das Verhalten der Funktion für kleine und grosse Frequenzen überlegen.



Erläutern Sie ausserdem das Verhalten der skizzierten Funktion bei der in b) berechneten Frequenz und nennen Sie ein analoges Beispiel aus der Mechanik.

#### 4. Das schönste Physikexperiment aller Zeiten

Im Jahr 2002 veranstaltete die Zeitschrift "Physics World" der englischen physikalischen Gesellschaft eine Umfrage zum schönsten Physikexperiment aller Zeiten. Dabei kam der Versuch des Physikers Claus Jönsson auf den ersten Platz: Er konnte 1961 erstmals die Interferenz von Elektronen am Doppelspalt experimentell nachweisen (s. Abb.). Die Geschwindigkeit der Elektronen betrug 41% der Lichtgeschwindigkeit.



- a) Berechnen Sie die Wellenlänge  $\lambda$  der verwendeten Elektronen. (Beachten Sie, dass bei der hohen Geschwindigkeit der Elektronen relativistische Effekte auftreten.) [zur Kontrolle:  $\lambda = 5,4 \text{ pm}$ ]
- b) Beim Jönsson-Versuch war es extrem schwierig, einen geeigneten Doppelspalt zu realisieren. Berechnen Sie den Spaltabstand, wenn das nullte Maximum und das erste Minimum einen Winkel von  $0.000083^\circ$  einschließen.
- c) Erläutern Sie die Heisenberg'sche Unschärferelation anhand dieses Versuchs.

- d) Albert Einstein schreibt 1926 an Max Born:

*"Die Quantenmechanik ist sehr Achtung gebietend. Aber eine innere Stimme sagt mir, dass das noch nicht der wahre Jakob ist. Die Theorie liefert viel, aber dem Geheimnis des Alten bringt sie uns kaum näher. Jedenfalls bin ich überzeugt, dass der Alte nicht würfelt."*

Erläutern Sie anhand des Doppelspaltexperiments, was Einstein mit den letzten zwei Sätzen gemeint hat.

#### 5. Vermischtes

- a) Wenn Sie Wasser in eine Flasche füllen, dann hören Sie ein Geräusch, dessen Frequenz mit steigendem Wasserspiegel ansteigt. Erklären Sie dieses Phänomen.
- b) Erklären Sie anhand von Skizzen die Farbreihenfolge beim Hauptregenbogen.
- c) Energie aus dem Nichts?

Ein mit Helium gefüllter Ballon steigt nach oben. Wo kommt die Energie dafür her?

- d) In Wetterberichten hört man manchmal die Formulierung: „Die Lufttemperatur beträgt  $30^\circ\text{C}$  im Schatten“. Welche Bedeutung hat die Temperatur, die ein Thermometer anzeigt, das man statt in den Schatten in die Sonne hängt?