Download auf bigbang.oebv.at!

2 Die sieben Basiseinheiten

Vertiefung und Kompetenzüberprüfung

Martin Apolin (Stand November 2015)

In den Aufgaben 1 bis 4 sollst du das Abschätzen mit Zehnerpotenzen vertiefen, das du am Beispiel des Lichtjahres kennen gelernt hast (Band I, S. 11 unten).

A1 Schätze in Größenordnungen und ohne Taschenrechner ab, wie oft das **Herz** eines Menschen im Laufe seines Lebens schlägt.

A2 Du hast einen **Würfel** mit einer Seitenlänge von 1 m und füllst diesen mit kleinen Würfeln von je einem Millimeter Seitenlänge auf. Pro Sekunde schlichtest du einen dieser **winzigen Würfel** ein. Wie lange brauchst du dafür? Schätze in Größenordnungen und ohne Taschenrechner ab.

A3 Der Physiker **Enrico Fermi** wies darauf hin, dass die übliche Zeitdauer einer Vorlesung (50 min) etwa einem **Mikrojahrhundert** entspricht. Wie lange dauert ein Mikrojahrhundert genau in Minuten? Überprüfe mit Taschenrechner.

A4 Schätze die **Masse des sichtbaren Universums** ab. Nimm dazu folgendes an:
1) Die Sonne ist ein durchschnittlicher Stern und ihre Masse beträgt $2 \cdot 10^{30}$ kg.
2) Galaxien haben im Schnitt 10^{11} Sterne.
3) Man schätzt die Anzahl der Galaxien im sichtbaren Universum auf 10^{11}.
4) Der sichtbare Teil des Universums macht nur einen Bruchteil der Masse aus. Siehe dazu Abb. 1.

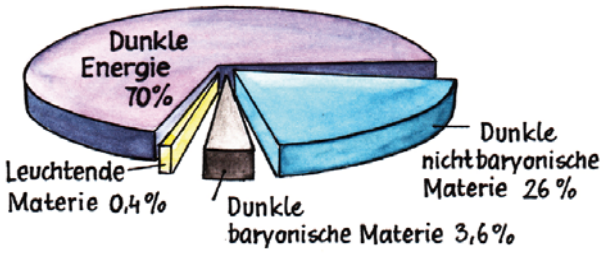

Abb. 1: Woraus aus heutiger Sicht das Universum besteht. Nur der mickrige Anteil von 0,4 % zeigt sich uns in Form von Sternen und Galaxien.

(Grafik: Janosch Slama)

A5 In der Folge „Kennen Sie die Tribbles?" (Erstausstrahlung USA 1967) aus der Serie „Star Trek" sagt Captain Kirk zu seiner Offizierin: „Was halten Sie eigentlich davon, Mrs. Uhura, wenn Sie einmal ein paar Lichtjahre dienstfrei machen?". Was ist dazu aus physikalischer Sicht zu sagen?

A6 Licht hat nach offiziellen Angaben eine Geschwindigkeit von 299.792.458 m/s. Du willst die Lichtgeschwindigkeit genauer messen, also sagen wir auch auf Zehntel oder Hundertstel genau. Du kaufst dazu das beste Equipment, das es am Markt gibt. Trotzdem wirst du scheitern. Warum?

A7 In Tabelle 1 siehst du die Entwicklung der Definition des Meters. Trage in der letzten Spalte die relativen Ungenauigkeiten ein.

Definition des Meters seit 1795			
Definition	Jahr	absolute Ungenauigkeit	relative Ungenauigkeit
der 1/10.000.000 Teil eines Viertels eines Meridians	1795	0,5–0,1 mm	
erster Urmeter aus Platin	1799	0,05–0,01 mm	
neuer Meter-Prototyp aus einer Platin-Iridiummischung bei 0 °C	1889	0,2–0,1 µm	
das 1.650.763,73fache der Wellenlänge der elektromagnetischen Welle, die bei Atomen des Nuklids Krypton-86 beim Übergang vom Zustand $5d^5$ zum Zustand $2p^{10}$ ausgesendet wird und sich im Vakuum ausbreitet	1960	0,01–0,005 µm	
Strecke, die das Licht im Vakuum in 1 / 299.792.458 Sekunden zurücklegt	1983	0,1 nm	

Tabelle 1: Definition des Meters seit 1795

A8 In Tabelle 2 siehst du Arbeitsfrequenz und Ungenauigkeit diverser Uhren.
a) Was versteht man unter Angaben wie Cs-133 oder Rb-87? Beschaffe dir Informationen!

© Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG, Wien 2015 | www.oebv.at | Big Bang NAWI HTL 1 | ISBN: 978-3-209-08535-1
Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet.
Die Kopiergebühren sind abgegolten. Für Veränderungen durch Dritte übernimmt der Verlag keine Verantwortung. Autor: DDr. Martin Apolin

Download auf bigbang.oebv.at!

b) Schätze ab, um wie viel schneller die Arbeitsfrequenz einer Atomuhr ist als die Frequenz der Trägerwelle eines UKW-Senders (siehe z. B. Band III).
c) Was versteht man unter einer optischen Atomuhr?
d) Wie lange können eine Quarzuhr bzw. eine optische Atomuhr laufen, bis die Abweichung 1 Sekunde beträgt?

Typ	Arbeitsfrequenz in MHz	relative Ungenauigkeit
Schwingquarz	0,032768 bis 4,194304	10^{-9}
Cs-133	9192,631770	10^{-13}
Rb-87	6384,6826128	10^{-12}
H-1	1420,40575177	10^{-15}
optische Atomuhr (Strontium-87)	429228004,229874	10^{-17}

Tabelle 2: Uhrentypen; Arbeitsfrequenzen und relative Ungenauigkeiten.

Hilfe zu A1: Die Herzfrequenz eines Erwachsenen Menschen in Ruhe hängt von den Rahmenbedingungen ab, liegt aber etwa bei 70 Schlägen pro Minute. Am Tag schlägt das Herz daher 70·60·24 = 100800 $\approx 10^5$ mal. Nehmen wir an, die Person wird 80 Jahre alt. Das Herz schlägt daher im Laufe eines Lebens $365{,}25.80 \cdot 10^5 = 3{,}65 \cdot 10^2 \cdot 8 \cdot 10^1 \cdot 10^5 = 29{,}2 \cdot 10^8 \approx 3 \cdot 10^9$ mal - also einige Milliarden mal.

Hilfe zu A2: 1 m^3 besteht aus 10^9 mm^3. Der Auffüllvorgang dauert daher 1 Milliarde Sekunden oder knapp 32 Jahre.

Hilfe zu A3: Ein Tag hat 1440 Minuten. Ein Jahr (365,25 Tage) hat somit 525.960 min oder $5{,}26.10^5$ min. Ein Jahrhundert hat 52.596.000 min oder $52{,}6 \cdot 10^6$ min. Ein Mikrojahrhundert hat daher $52{,}6 \cdot 10^6 / 10^6 = 52{,}6$ min.

Hilfe zu A4: Aus den Punkten 1) bis 3) kannst du die Masse des sichtbaren Universums errechnen: $2.10^{30} \cdot 10^{11} \cdot 10^{11}$ kg = 2.10^{52} kg. Der sichtbare Teil macht aber nur etwa 0,4 % aus. Der tatsächliche Wert ist also 250-mal größer, nämlich $5 \cdot 10^{54}$.

Hilfe zu A5: Ein Lichtjahr ist eine Strecken- und keine Zeitangabe. Es ist also so, als würde Captain Kirk fragen: „Was halten Sie eigentlich davon, Mrs. Uhura, wenn Sie einmal ein paar Billiarden Meter dienstfrei machen?"

Hilfe zu A6: Durch die Definition ist *c* untrennbar mit dem Meter verbunden. Du kannst *c* daher nicht genauer messen, weil es genau so definiert wurde.

Hilfe zu A7: Die relative Ungenauigkeit ist dimensionslos und gibt das Verhältnis zur gemessenen Größe an. Wenn ein Meter mit der Genauigkeit 0,1 mm (= 10^{-4} m) gemessen werden kann (erste Definition von 1795), dann beträgt die relative Ungenauigkeit 10^{-4} m/1 m = 10^{-4}. Die weiteren relativen Ungenauigkeiten betragen daher 10^{-5}, 10^{-7}, 5.10^{-9} und 10^{-10}.

Hilfe zu A8a: Die Zahl hinter dem Element gibt an, wie viele Nukleonen (Kernbausteine) das Element hat. Cs-133 besitzt also 133 Nukleonen.
Hilfe zu A8b: Die Trägerfrequenz von FM-Sendern liegt im Bereich von 88 bis 108 MHz. Nehmen wir 92 MHz an, also $92 \cdot 10^6$ Hz. Die Frequenz einer Cs-133- Atomuhr ist etwa $9193 \cdot 10^6$ Hz, also etwa 100-mal so hoch. Die Frequenz einer Strontium-87-Atomuhr liegt bei $4{,}3 \cdot 10^{14}$ Hz und ist somit etwa $4{,}7 \cdot 10^6$ so hoch.
Hilfe zu A8c: Die elektromagnetischen Wellen von herkömmlichen Atomuhren sind Mikrowellen (siehe Band III). Die neuesten Atomuhren arbeiten mit elektromagnetischen Wellen im sichtbaren Bereich – daher ihr Name.
Hilfe zu A8d: Die relative Ungenauigkeit der besten Atomuhren liegt momentan bei 10^{-17}. Anders gesagt: In 10^{17} Sekunden gehen diese Uhren 1 Sekunde falsch. 10^{17} Sekunden oder rund $3 \cdot 10^9$ Jahre. Optische Atomuhren gehen also in einigen Milliarden Jahren um eine Sekunde falsch.

© Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG, Wien 2015 | www.oebv.at | Big Bang NAWI HTL 1 | ISBN: 978-3-209-08535-1
Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet.
Die Kopiergebühren sind abgegolten. Für Veränderungen durch Dritte übernimmt der Verlag keine Verantwortung. Autor: DDr. Martin Apolin