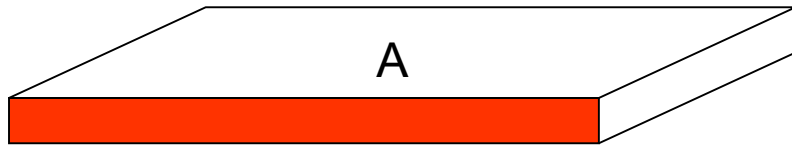


40) Auf einem kleinen Teich befindet sich eine 1 cm dicke Eisschicht. Die Luft darüber hat die Temperatur = - 10 °C. Wie lange dauert es, bis die Eisschicht auf eine Dicke von 20 cm angewachsen ist?

Schmelzwärme von Wasser:  $Q_S = 334 \text{ J / g}$ , Dichte von Eis:  $\rho = 917 \text{ kg / m}^3$ ,  
Wärmeleitfähigkeit von Eis:  $\lambda = 2,21 \text{ W / m} \cdot \text{K}$

Durch Eisdecke wird pro Zeiteinheit  $dt$  die Wärmemenge  $dQ = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{x} dt$  transportiert.

Beim Entzug dieser Wärmemenge wird die Masse  $dm = \frac{dQ}{Q_S}$  neu gebildet.



$$dm = \rho \cdot dV = \rho \cdot A \cdot dx :$$

$$\rho \cdot A \cdot dx \cdot Q_S = dQ = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{x} dt \quad \text{bzw.}$$

$$dt = \frac{\rho \cdot Q_S}{\lambda \cdot \Delta T} \cdot x dx \quad \text{und}$$

$$t = \frac{1}{2} \frac{\rho \cdot Q_S}{\lambda \cdot \Delta T} \cdot x^2 = \frac{0,914 \text{ g / cm}^3 \cdot 334 \text{ J / g} \cdot 400 \text{ cm}^2}{2 \cdot 2,21 \text{ J / (s} \cdot 10^2 \text{ cm} \cdot \text{K)} \cdot 10 \text{ K}} = 276268 \text{ s} = 76,74 \text{ h} = 3,2 \text{ Tage.}$$

41) Die G-Saite einer Violine hat eine Länge  $\ell = 30$  cm. Wenn sie ohne Griff gespielt wird, schwingt sie mit einer Frequenz  $\nu_g = 196$  Hz. Als nächst höhere Schwingungsmoden folgen die Violinnoten a ( $\nu_a = 220$  Hz), h ( $\nu_h = 247$  Hz), c ( $\nu_c = 262$  Hz) und d ( $\nu_d = 294$  Hz). Wie weit vom Saitenende entfernt muß jeweils der Finger gesetzt werden, um diese Töne zu spielen?

Wellenlänge der Grundschwingung einer Saite der Länge  $\ell$  :  $\lambda_G = 2 \ell$

(es bildet sich stehende Welle mit je einem Bewegungsknoten an den Saitenenden aus, d.h. auf Saite findet eine halbe Wellenlänge Platz ).

Dazu gehört Frequenz  $\nu_0 = \frac{v}{\lambda_G} = \frac{v}{2 \ell}$

Die höheren Töne entsprechen Grundschwingungen der verkürzten Saite (Finger bewirkt Bewegungsknoten!), die der gleichen Beziehung gehorchen, also ist

$$\frac{\nu_0(g)}{\nu_0(a)} = \frac{\ell(a)}{\ell(g)} \quad \text{bzw.} \quad \ell(a) = \ell(g) \cdot \frac{\nu_0(g)}{\nu_0(a)}$$

Notwendiger Abstand vom Saitenende  $\Delta a = \ell(g) - \ell(a) = \ell(g) \cdot \left(1 - \frac{\nu_0(g)}{\nu_0(a)}\right)$

$$\Delta a = 30 \text{ cm} \cdot \left(1 - \frac{196 \text{ Hz}}{220 \text{ Hz}}\right) = 30 \text{ cm} \cdot (1 - 0,891) = \underline{\underline{3,27 \text{ cm}}}$$

Analog  $\Delta h = 6,19$  cm,  $\Delta c = 7,56$  cm und  $\Delta d = 10$  cm.

42) Von der Decke eines Saales schwingt eine Schallquelle ( $m = 100 \text{ g}$ ) an einer Feder der Richtgröße  $D = 3,6 \text{ N/m}$  mit einer Amplitude  $x_0 = 1 \text{ m}$  auf und ab. Sie strahlt dabei kontinuierlich einen Ton der Frequenz  $\nu = 5000 \text{ Hz}$  auf eine senkrecht darunter befindliche Person. Zeichnen Sie über zwei Schwingungsperioden der Feder den Frequenzverlauf des Tones, den dieser Beobachter wahrnimmt!

$$c_{\text{Schall}} = 340 \text{ m/s}$$

Feder schwingt mit Amplitude  $x = x_0 \cos \omega t$ , dabei Geschwindigkeit  $v (= dx/dt) = x_0 \omega \sin \omega t$ . Deshalb Änderung der registrierten Frequenz infolge Doppler-Effekt.

Bei bewegter Quelle gilt  $\nu = \frac{\nu_0}{1 \pm \frac{v}{c}}$  (Pluszeichen, wenn sich Quelle vom Beobachter entfernt).

Reihenentwicklung:  $\frac{1}{1 \pm x} = 1 \mp x (+ x^2 + \dots)$ .

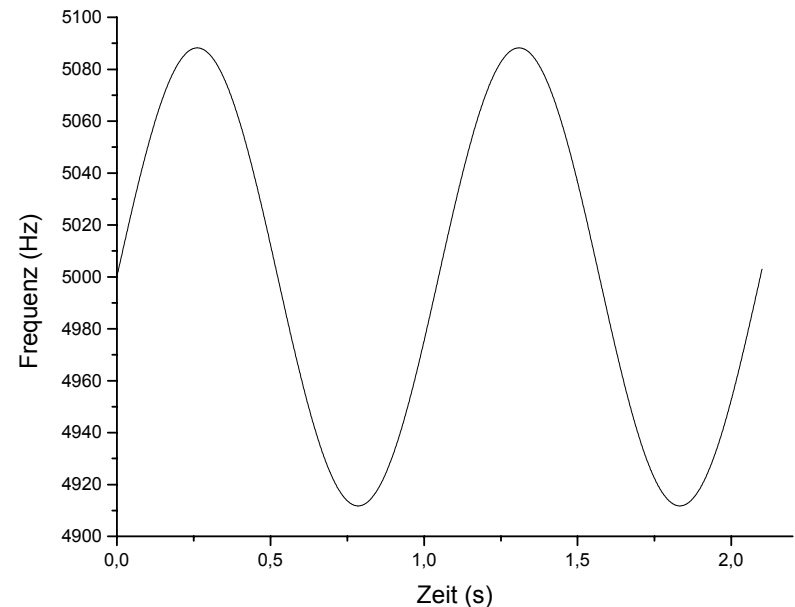
Höhere Glieder können weggelassen werden, da klein (Fehler  $< 2\%$ )

$$\Rightarrow \nu = \nu_0 \left(1 \mp \frac{v}{c}\right) = \nu_0 \left(1 + \frac{x_0 \omega \sin \omega t}{c}\right)$$

(Vorzeichen in Sinusfunktion enthalten)

$$\text{Mit } \omega = \sqrt{\frac{D}{m}} = 6 \text{ Hz und } T = \frac{2\pi}{\omega} = 1,047 \text{ s:}$$

$$\Rightarrow \frac{x_0 \omega}{c} = \frac{6 \text{ m/s}}{340 \text{ m/s}} = 0,01765$$



Registrierter Ton variiert periodisch mit maximal  $1,8\% = 90 \text{ Hz}$  um abgestrahlten Wert.

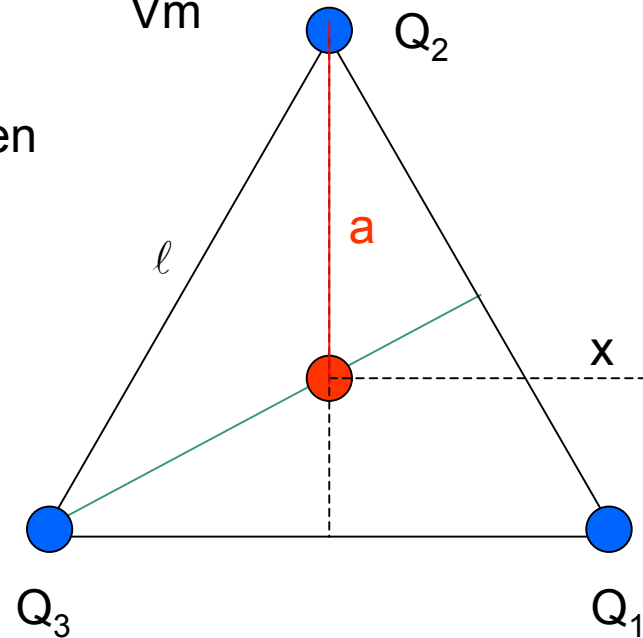
43) Drei gleich große positive Ladungen  $Q = 10^{-7}$  As befinden sich an den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks von 10 cm Kantenlänge. Wie groß müsste eine negative Ladung im Mittelpunkt des Dreiecks sein, damit Gleichgewicht der Kräfte besteht? Wäre dieses Gebilde nach außen hin elektrisch neutral?

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$$

Negative Ladung (im Mittelpunkt des gleichseitigen Dreiecks) ist symmetrisch von den drei positiven Ladungen umgeben  $\rightarrow$  Kräfte auf  $-Q$  heben sich auf

(x-Komponenten der Kräfte von  $Q_1$  und  $Q_3$  auf  $-Q$  heben sich auf, ihre y-Komponenten sind jeweils halb so groß wie die entgegengesetzt gerichtete Kraft durch  $Q_2$ ).

Für die äußeren Ladungen genügt (ebenfalls aus Symmetriegründen) die Diskussion eines Falles (z.B. Summe der Kräfte auf  $Q_2$ ):



x-Komponenten der von  $Q_1$  und  $Q_3$  bewirkten Kräfte heben sich wieder gegenseitig auf.

Summe der y-Komponenten: 
$$F_y = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} Q_2 \left( \frac{Q_1}{\ell^2} \cos 30^\circ + \frac{Q_3}{\ell^2} \cos 30^\circ - \frac{Q}{a^2} \right)$$

0, wenn die Klammer 0 wird bzw., da  $Q_1 = Q_3$ , wenn 
$$2 \frac{Q_1}{\ell^2} \cos 30^\circ = \frac{Q}{a^2}$$

$$\frac{\ell}{2} = a \cdot \cos 30^\circ, \ell^2 = 4 a^2 \cos^2 30^\circ: Q = 2 \cdot \frac{Q_1 a^2 \cos 30^\circ}{4 a^2 \cos^2 30^\circ} = \frac{Q_1}{2 \cos 30^\circ} = \frac{Q_1}{\sqrt{3}} = 5,77 \cdot 10^{-8} \text{ As.}$$

Ladungssumme:  $3 Q_1 - Q = 2,42 \cdot 10^{-7} \text{ As}$  : Nicht neutral.

44) Eine Kupfer- und eine Aluminiumleitung haben gleiche elektrische Widerstände und gleiche Massen. In welchem Verhältnis stehen ihre Längen und Radien?

Spezifische Widerstände:  $\rho_{\text{Al}} = 2,8 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ ,  $\rho_{\text{Cu}} = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$

Gleicher Widerstand heißt  $\rho_{\text{Al}} \cdot \frac{\ell_{\text{Al}}}{\pi \cdot r_{\text{Al}}^2} = \rho_{\text{Cu}} \cdot \frac{\ell_{\text{Cu}}}{\pi \cdot r_{\text{Cu}}^2}$  bzw.  $\frac{\ell_{\text{Al}}}{\ell_{\text{Cu}}} = \frac{\rho_{\text{Cu}}}{\rho_{\text{Al}}} \cdot \frac{r_{\text{Al}}^2}{r_{\text{Cu}}^2}$

gleiche Masse  $d_{\text{Al}} \cdot \ell_{\text{Al}} \cdot \pi \cdot r_{\text{Al}}^2 = d_{\text{Cu}} \cdot \ell_{\text{Cu}} \cdot \pi \cdot r_{\text{Cu}}^2$  bzw.  $\frac{\ell_{\text{Al}}}{\ell_{\text{Cu}}} = \frac{d_{\text{Cu}}}{d_{\text{Al}}} \cdot \frac{r_{\text{Cu}}^2}{r_{\text{Al}}^2}$

Damit  $\frac{r_{\text{Cu}}^4}{r_{\text{Al}}^4} = \frac{\rho_{\text{Cu}} \cdot d_{\text{Al}}}{\rho_{\text{Al}} \cdot d_{\text{Cu}}} = \frac{1,7 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m} \cdot 2700 \text{kg/m}^3}{2,8 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m} \cdot 8920 \text{kg/m}^3} = 0,1838$ .  $\frac{r_{\text{Cu}}}{r_{\text{Al}}} = \sqrt[4]{0,1838} = 0,65$ .

$$\frac{\ell_{\text{Cu}}}{\ell_{\text{Al}}} = \frac{\rho_{\text{Al}}}{\rho_{\text{Cu}}} \cdot \frac{r_{\text{Cu}}^2}{r_{\text{Al}}^2} = \frac{2,8}{1,7} \cdot \sqrt{0,1838} = 0,71$$

45) Die gesamte (Wärme-)Strahlung eines schwarzen Körpers ist proportional zu

- (A)  $T^0$
- (B)  $T^1$
- (C)  $T^2$
- (D)  $T^3$
- (E) Keine Antwort ist richtig

$T^4$  !



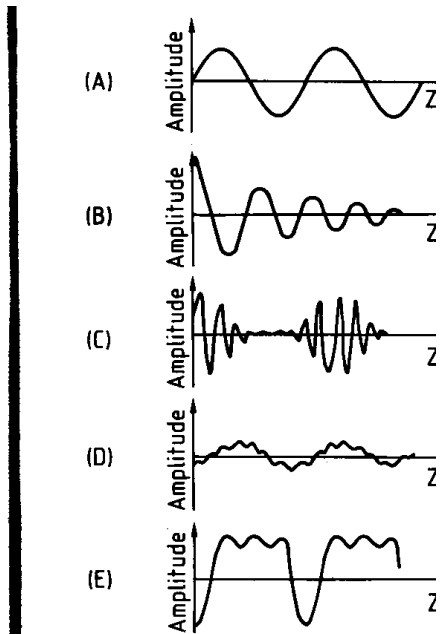
46) Bei einem Probanden werden 36 Puls-  
schläge in einer Viertelminute gezählt.  
Seine Pulsfrequenz beträgt dann

- (A) 2,4 Hz
- (B) 9 Hz
- (C) 24 Hz
- (D) 36 Hz
- (E) 144 Hz



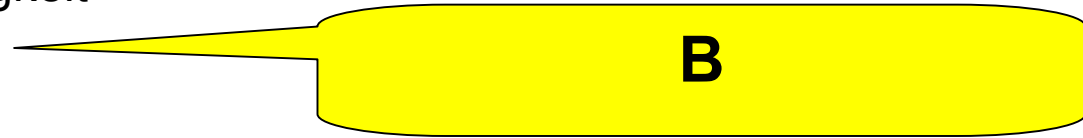
$$36 / 15 \text{ s}$$

47) Die Amplitudenfunktion einer  
gedämpften harmonischen  
Schwingung zeigt Bild



48) Ultraschall unterscheidet sich von hörbarem Schall wesentlich durch eine größere

- (A) Ausbreitungsgeschwindigkeit
- (B) Frequenz
- (C) Schalldruckamplitude
- (D) Schwingungsdauer
- (E) Wellenlänge



49) Die Größenordnung der Elementarladung (Ladung eines Elektrons) ist

- (A)  $10^{-23}$  C
- (B)  $10^{-19}$  C
- (C)  $10^{-6}$  C
- (D)  $10^6$  C
- (E)  $10^{19}$  C



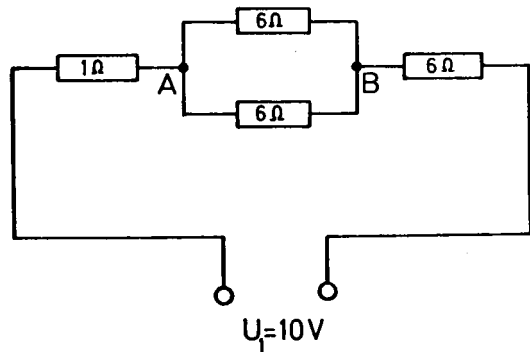
50) Ein elektrisches Gerät nimmt eine Leistung  $P = 100$  W auf, wenn man es an eine Spannung  $U = 200$  V anschließt. Dann beträgt der elektrische Widerstand  $R$  des Geräts

- (A)  $R = 1/2 \Omega$
- (B)  $R = 2 \Omega$
- (C)  $R = 200 \Omega$
- (D)  $R = 400 \Omega$
- (E)  $R = 20 \text{ k} \Omega$

$$P = U \cdot I = U \cdot \frac{U}{R} \Rightarrow R = \frac{U^2}{P}$$



51) Der Spannungsabfall zwischen den Punkten A und B beträgt



- (A) 1 V
- (B) 3 V
- (C) 6 V
- (D) 10 V
- (E) 12 V

$$R_p = 3 \Omega$$

**B**

52) Ein Kondensator mit der Kapazität  $C = 100 \mu\text{F}$  wird auf die Spannung  $U = 8 \text{ V}$  aufgeladen. Nach Beendigung des Ladevorgangs enthält der Kondensator die Ladung  $Q =$

- (A) 8 mC
- (B) 0,8 C
- (C) 800 C
- (D) 0,8 mC
- (E) 0,08 C

$$Q = C \cdot U$$

**D**