Engaging Physics Tutoring

Lektion 10

Schwingungen
Wellen

Konzepte + Tricks

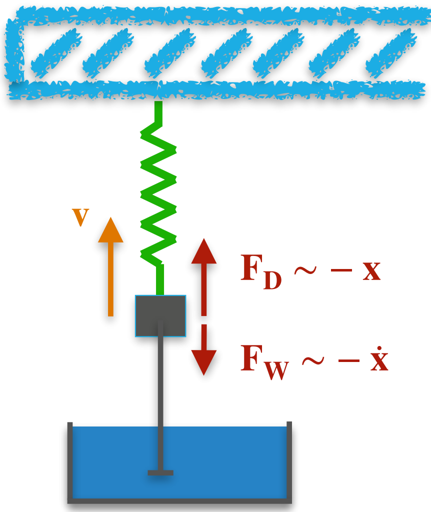
ENGAGING PHYSICS TUTORING EPT

Gedämpfte Schwingungen

Durch Widerstandskräfte werden Schwingungen gedämpft

Bew-Gl. gedämpfte harmonische Schwingung:

$$\ddot{\mathbf{x}} + 2\delta\dot{\mathbf{x}} + \omega_0^2\mathbf{x} = 0 \qquad \delta : \quad \textit{Stärke der Dämpfung}$$

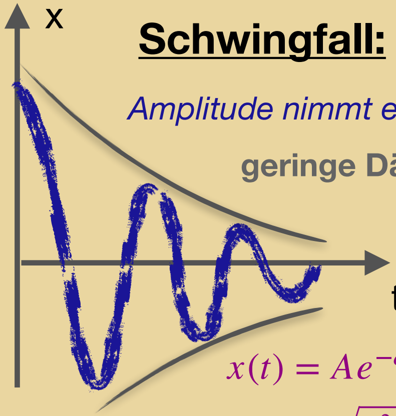


Gedämpfte Schwingungen

Durch Widerstandskräfte werden Schwingungen gedämpft

Bew-Gl. gedämpfte harmonische Schwingung:

$$\ddot{\mathbf{x}} + 2\delta\dot{\mathbf{x}} + \omega_0^2\mathbf{x} = 0 \qquad \delta: \quad \textit{Stärke der Dämpfung}$$



Schwingfall:

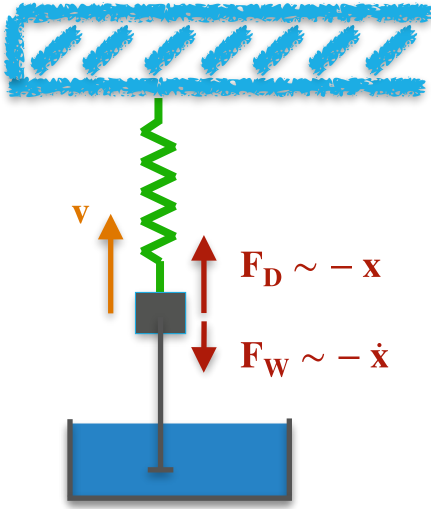
Amplitude nimmt exponentiell ab

geringe Dämpfung

$$\delta^2 < \omega_0^2$$

$$x(t) = Ae^{-\delta t}\cos\left(\omega t + \phi_0\right)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$$



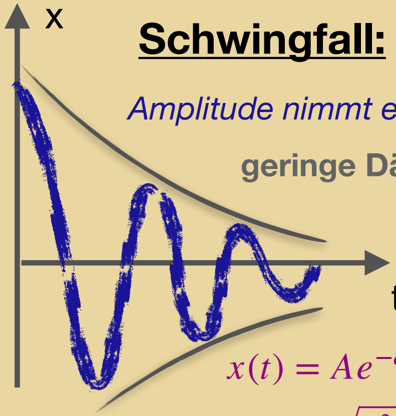
Gedämpfte Schwingungen

Durch Widerstandskräfte werden Schwingungen gedämpft

Bew-Gl. gedämpfte harmonische Schwingung:

$$\ddot{\mathbf{x}} + 2\delta\dot{\mathbf{x}} + \omega_0^2\mathbf{x} = 0 \qquad \delta : \quad \textit{Stärke der Dämpfung}$$

Schwingfall:



Amplitude nimmt exponentiell ab

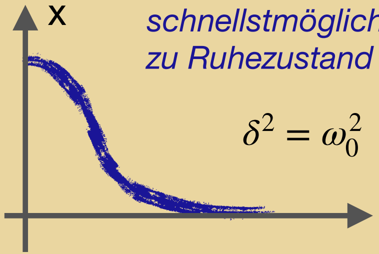
geringe Dämpfung

$\delta^2 < \omega_0^2$

$$x(t) = Ae^{-\delta t}\cos\left(\omega t + \phi_0\right)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$$

Aperiodischer Grenzfall

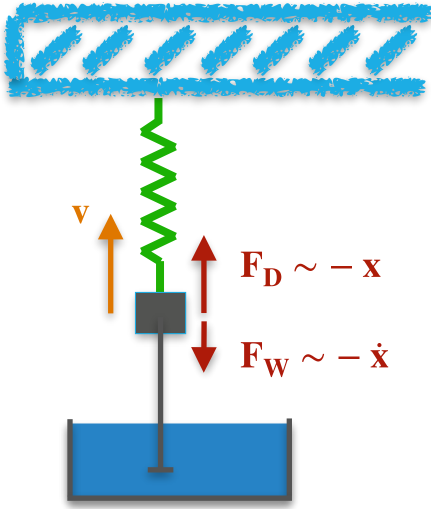


schnellstmögliche Rückkehr zu Ruhezustand

$\delta^2 = \omega_0^2$

"optimale Dämpfung"

$$x(t) = (A + Bt)\,e^{-\delta t}$$



Gedämpfte Schwingungen

Durch Widerstandskräfte werden Schwingungen gedämpft

Bew-Gl. gedämpfte harmonische Schwingung:

$$\ddot{\mathbf{x}} + 2\delta\dot{\mathbf{x}} + \omega_0^2\mathbf{x} = \mathbf{0} \qquad \delta: \quad \textit{Stärke der Dämpfung}$$

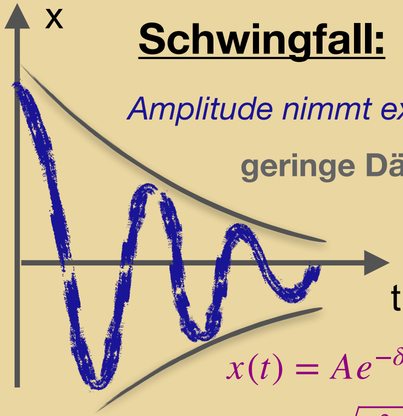
Kriechfall

langsame Rückkehr zu Ruhezustand

starke Dämpfung

$$\delta^2 > \omega_0^2$$

Schwingfall:



Amplitude nimmt exponentiell ab

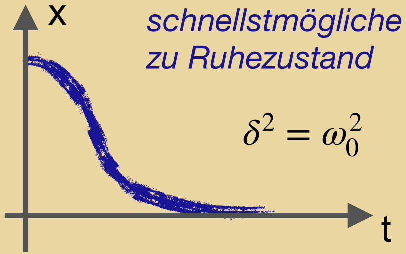
geringe Dämpfung

$$\delta^2 < \omega_0^2$$

$$x(t) = Ae^{-\delta t}\cos\left(\omega t + \phi_0\right)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$$

Aperiodischer Grenzfall

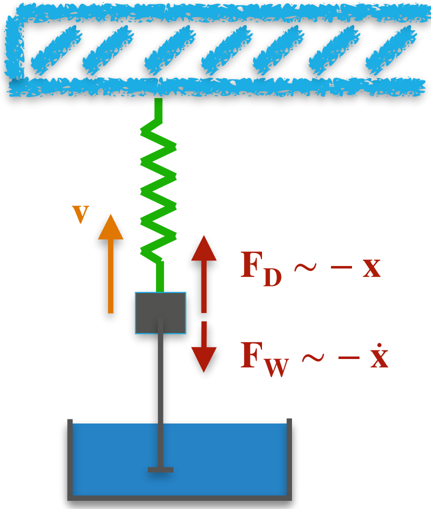


schnellstmögliche Rückkehr zu Ruhezustand

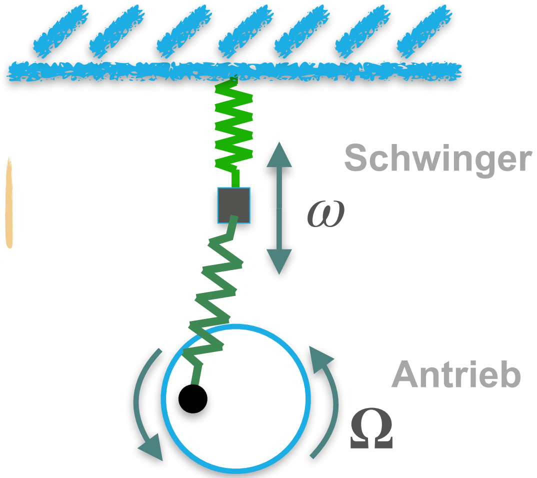
$$\delta^2 = \omega_0^2$$

“optimale Dämpfung”

$$x(t) = (A + Bt)\,e^{-\delta t}$$



Erzwungene Schwingungen



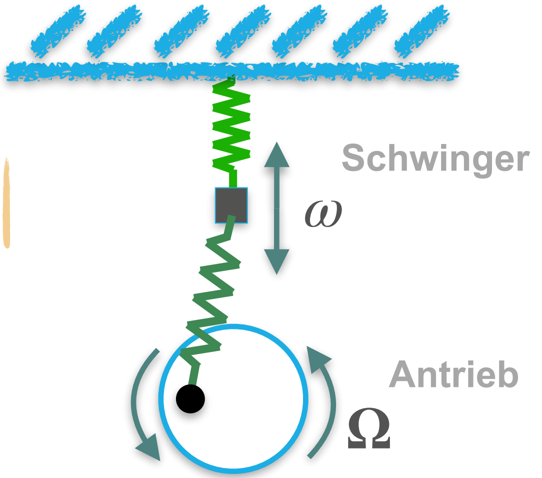
Pendel lassen sich durch äussere Kräfte antreiben.

Zusätzlicher Term in Bewegungsgleichung

z.B. $\ddot{x} + 2\,\delta\dot{x} + \omega_0^2\, x = \underline{A_0 \cos(\Omega t)}$

Periodischer Antrieb

Erzwungene Schwingungen



Pendel lassen sich durch äussere Kräfte antreiben.

Zusätzlicher Term in Bewegungsgleichung

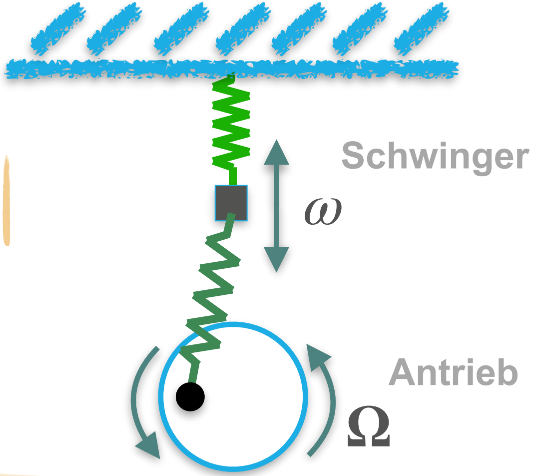
z.B. $\ddot{\mathbf{x}} + 2\,\delta\dot{\mathbf{x}} + \omega_0^2\,\mathbf{x} = \underline{\mathbf{A}_0 \cos\left(\boldsymbol{\Omega}\mathbf{t}\right)}$

Periodischer Antrieb

Nach Einschwingvorgang:

Schwingung hat gleiche Frequenz wie Antrieb $x_\infty(t) = A(\Omega) \cdot \cos\left(\Omega t - \varphi\right)$

Erzwungene Schwingungen



Pendel lassen sich durch äussere Kräfte antreiben.

Zusätzlicher Term in Bewegungsgleichung

z.B. $\ddot{\mathbf{x}} + 2\,\delta\dot{\mathbf{x}} + \omega_0^2\ \mathbf{x} = \underline{\mathbf{A}_0 \cos\left(\boldsymbol{\Omega}\mathbf{t}\right)}$

Periodischer Antrieb

Nach Einschwingvorgang:

Schwingung hat gleiche Frequenz wie Antrieb

$$x_\infty(t) = A(\Omega)\cdot\cos\left(\Omega t - \varphi\right)$$

Beispiele aus dem Alltag:

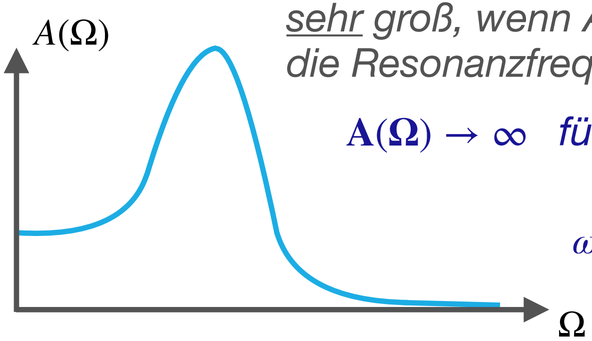
- Antrieb auf der Schaukel
- Schwingung von elastischem Lineal

Resonanz

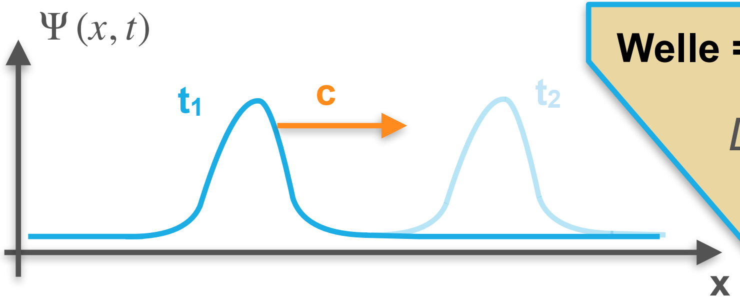
Amplitude $A(\Omega)$ wird *<u>sehr</u> groß, wenn Antrieb die Resonanzfrequenz trifft*

$\mathbf{A}(\boldsymbol{\Omega}) \rightarrow \infty$ *für* $\boldsymbol{\Omega} \rightarrow \omega_\mathbf{r}$

$$\omega_\mathbf{r} = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$$



Wellen

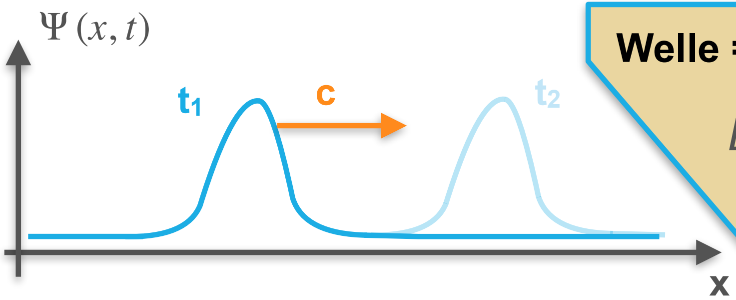


Welle = Räumliche Ausbreitung einer Störung

Darstellung: “Foto” zu Zeitpunkt t

Wellenfunktion $\Psi(x,t)$

Wellen



Welle = Räumliche Ausbreitung einer Störung

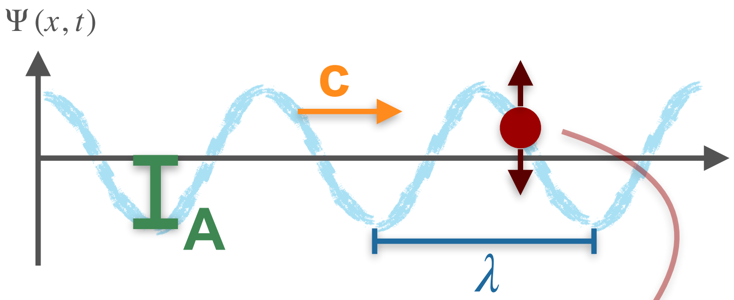
Darstellung: “Foto” zu Zeitpunkt t

Wellenfunktion $\Psi(x,t)$

Harmonische Wellen

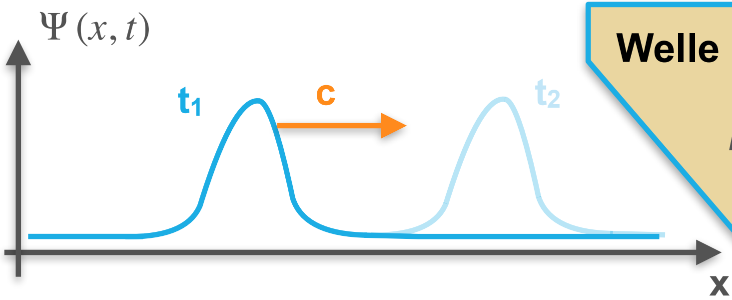
lassen sich durch sin oder cos beschreiben

$$\Psi(x,t) = A\cos\left(kx - \omega t - \phi_0\right)$$



Einzelne Punkte auf Welle schwingen harmonisch auf und ab, mit Kreisfrequenz ω

Wellen



Welle = Räumliche Ausbreitung einer Störung

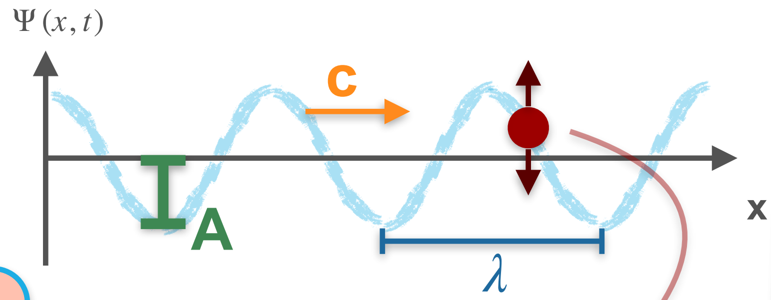
Darstellung: “Foto” zu Zeitpunkt t

Wellenfunktion $\Psi(x,t)$

Harmonische Wellen

lassen sich durch sin oder cos beschreiben

$$\Psi(x,t) = A\cos\left(kx - \omega t - \phi_0\right)$$



Kreisfrequenz

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

beschreibt Schwingung

$$c = \frac{\omega}{k}$$

$$c = \lambda f$$

Wellenzahl

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

beschreibt Ausbreitung

Einzelne Punkte auf Welle schwingen harmonisch auf und ab, mit Kreisfrequenz ω