

Newton'sche Mechanik

Dynamik: untersucht Gründe einer Bewegungsänderung

- Ursachen: Kräfte
 - Kräfte sind Vektoren, \vec{F}
 - es gilt das Superpositionsprinzip

$$F = \sum F_i$$

- Kräfte hängen i. Allg. vom Ort ab

$$\vec{F} = \vec{F}(\vec{r}) = \vec{F}(x, y, z) \quad \underline{\text{Kraftfeld}}$$

Die Newton'schen Axiome

1. Newton'sches Axiom (Trägheitsprinzip)

Jeder Körper verbleibt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen, geradlinigen Bewegung, solange keine Kraft auf ihn wirkt.

Maß für Bewegungszustand $\boxed{\vec{p} = m \cdot \vec{v}}$ Impuls

1. Axiom: $\vec{p} = \text{const}$

[oder $\vec{v} = \text{const}$, oder $\vec{a} = 0$]

2. Newtonsches Axiom (Aktionsprinzip)

Ursache für eine Änderung des Bewegungszustands ist eine Kraft. Sie wird definiert als

$$\vec{F} = \frac{d}{dt} \vec{p}$$

für $m = \text{const}$ folgt: $F = \frac{d}{dt}(m \cdot v) = \frac{dm}{dt} v + m \frac{dv}{dt}$

$$\boxed{F = m \cdot a}$$

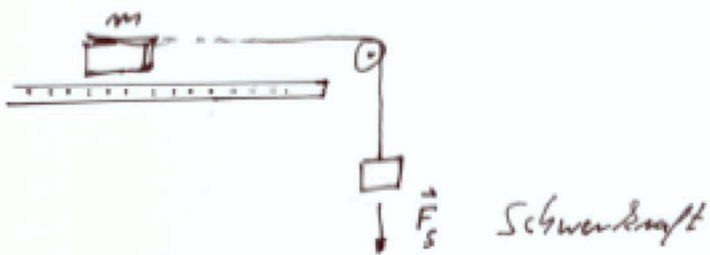
3. Newtonsches Axiom (Reaktionsprinzip)

Die Kraftwirkung zweier Körper aufeinander sind stets gleich groß und von entgegengesetzter Richtung. (actio = reactio)

$$\boxed{\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}} \quad \text{oder} \quad \boxed{F_{12} + F_{21} = 0}$$

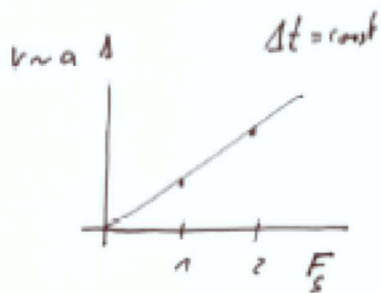
$F_{12} = -F_{21}$ impliziert Gleichzeitigkeit. Dies gilt nur wenn Relativgeschwindigkeit der Wechselwirkenden Körper klein ist gegen die Lichtgeschwindigkeit ("Retardierung")

VERSUCH: Luftkissenbahn

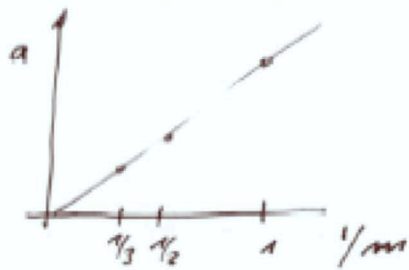


$$v = a \cdot t$$

$a = v/t$ nach jeder Zeit t und v messen.



$$a \sim F$$



$$a \sim \frac{1}{m}$$

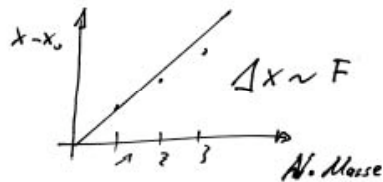
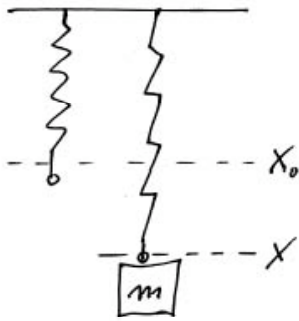
F_s	1p	2p	3p
Δt			
v			

m	1	2	3
Δt			
v			

Statische Messung der Kraft

Verformung eines Festkörpers $\hat{=}$ abstr. Kraft
zw. Atomen

Dehnung der Feder ist Maß für Kraft

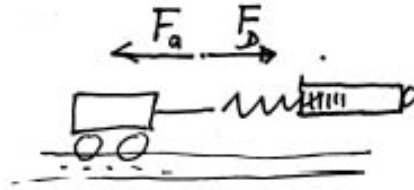
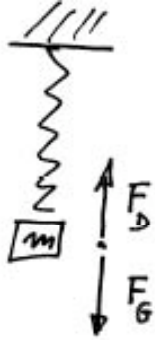


$$F = -D(x - x_0)$$

D : Federkonstante

F : Rückstellkraft

Schwere und träge Masse



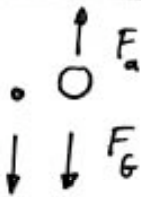
$$F_g = m_s \cdot g$$

↑
schwere Masse

$$F_a = m_T \cdot a$$

↑
träge Masse

Freier Fall



klass. Mechanik:

träge Masse = schwere Masse

exp. Befund $\pm 10^{-10} \%$

Versuch

Fallrohr

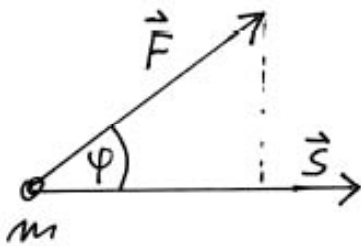
allg. Relativitätstheorie

→ träge Masse \equiv schwere Masse

Äquivalenzprinzip

Erhaltungssätze

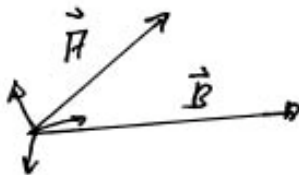
Definition: Arbeit (phys.) W : angl. work



$$A \equiv W \equiv |\vec{F}| \cdot |\vec{s}| \cdot \cos \psi$$
$$= \vec{F} \cdot \vec{s} \quad \text{Skalarprodukt}$$

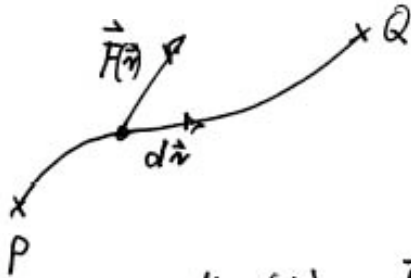
Arbeit, die Kraft F am Teilchen der Masse m verrichtet, wenn dieses um den Weg \vec{s} verschoben wird.

Skalarprodukt



$$\vec{A} \cdot \vec{B} =$$
$$(a_1 \vec{e}_1 + a_2 \vec{e}_2 + a_3 \vec{e}_3) \cdot (b_1 \vec{e}_1 + b_2 \vec{e}_2 + b_3 \vec{e}_3)$$
$$= a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3$$

Wegintegral



$$dW(\vec{r}) = \vec{F}(\vec{r}) d\vec{r} \quad \text{Skalarprodukt}$$

\hookrightarrow

$$W(P, Q) = \int_P^Q \vec{F}(\vec{r}) d\vec{r}$$

"Wegintegral der Kraft"

Einheit $[W] = [F] \cdot [s] = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = 1 \text{ J}$

(cgs-System $[W] = 1 \text{ dyn} \cdot \text{cm} = 1 \text{ erg}$) (10^{-7} J) Joule

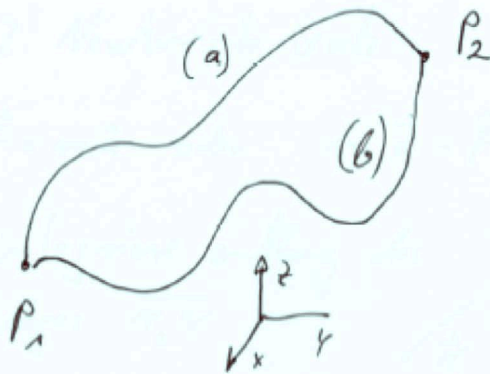
im Mikrokosmos $1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Leistung

$$P \equiv \frac{dW}{dt}$$

$$[P] = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = \frac{1 \text{ J}}{\text{s}} = 1 \text{ W (Watt)}$$

Potentielle Energie



$$\begin{aligned}W_a - W_b &= \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} d\vec{r}_a - \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} d\vec{r}_b \\&= \int_{P_1}^{P_2} F dr + \int_{P_2}^{P_1} F dr = \oint \vec{F} d\vec{r} \\&= 0 \quad \text{wenn Kraftfeld konservativ}\end{aligned}$$

$$W = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} d\vec{r} \equiv E_{\text{pot}}(P_1) - E_{\text{pot}}(P_2)$$

$$\Delta E_{\text{pot}}(P_1, P_2) = - \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}(\vec{r}) d\vec{r} \quad \text{potentielle Energie}$$

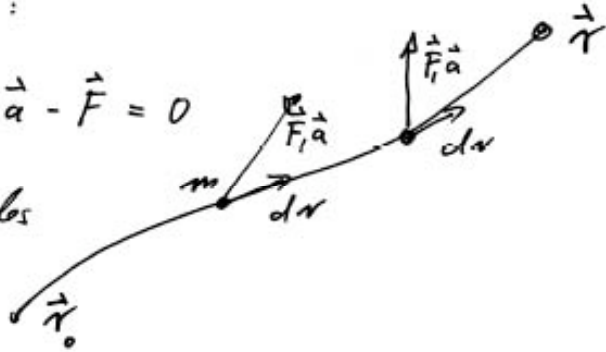
potentielle Energiedifferenz = "negative Arbeit"

Potentielle und kinetische Energie

2. Newton'sche Gesetz:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad \text{oder} \quad m \cdot \vec{a} - \vec{F} = 0$$

integriere entlang des
Weges $\vec{r}_0 \rightarrow \vec{r}$



$$\int_{\vec{r}_0}^{\vec{r}} m \vec{a} \, d\vec{r} - \int_{\vec{r}_0}^{\vec{r}} \vec{F}(\vec{r}) \, d\vec{r} = 0$$

$$\int_{\vec{r}_0}^{\vec{r}} m \frac{d\vec{v}}{dt} \, d\vec{r} + E_{\text{pot}}(\vec{r}) - E_{\text{pot}}(\vec{r}_0) = 0$$

Substitution $\int_{v_0}^v m \vec{v} \, d\vec{v} = \frac{1}{2} m (v^2 - v_0^2)$

$$\frac{1}{2} m v^2 + E_{\text{pot}}(\vec{r}) = \frac{1}{2} m v_0^2 + E_{\text{pot}}(\vec{r}_0) = \text{const}$$

$$\boxed{E_{\text{pot}}(\vec{r}) + E_{\text{kin}}(\vec{r}) = \text{const}}$$

Erhaltungssatz der klass. Mechanik

Summe von potentieller und kinetischer Energie ist an jedem Punkt \vec{r} und zu jeder Zeit, t erhalten.

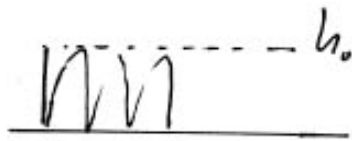
Erhaltungssatz
der klass. Mechanik

$$E_{\text{pot}}(\vec{r}) + E_{\text{kin}}(\vec{v}) = \text{const}$$

Voraussetzung: konservative Kräfte

Versuch

Superball



Fadenpendel

Nasenpendel