

Vorlesung 10

Wir hatten $E_{\text{pot}} = - \int \vec{F} \cdot d\vec{r}$ $\mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}$

und jetzt $\vec{F} = - \vec{\nabla} E_{\text{pot}}$ $\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^3$

Informationsverlust? nein! Wegen Zusatzbedingung: \vec{F} ist **konservativ**

(offensichtlich für Zentralfeld, $\vec{F} = f(r) \cdot \vec{e}_r$)

Zusammenfassung Energie :



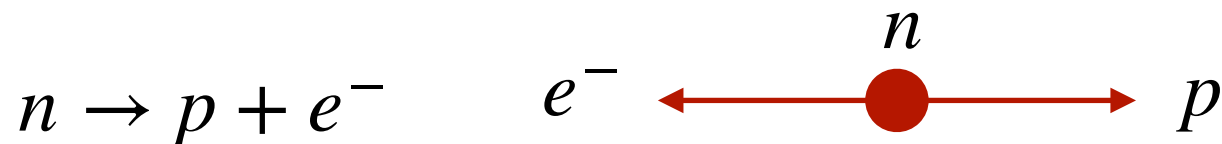
Mechanik : $E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} = \text{const}$



Energiesatz “heilig” — keinerlei Verletzung bisher



Bsp.: β -Zerfall, scheinbar Energiesatzverletzung



Am 4. Dezember 1930 schrieb Pauli seinen berühmten Brief an die "lieben Radioaktiven Damen und Herren", die sich in Tübingen versammelt hatten. Darin skizzierte er seine Idee und fragte an, wie es um den experimentellen Nachweis stünde. Er hielt seine Idee aber für zu unausgegoren, um darüber etwas zu publizieren.

Original - Photocopy of PLC 0393
Abschrift/15.12.56 FM

Offener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der Gauvereins-Tagung zu Tübingen.

Abschrift

Physikalisches Institut
der Eidg. Technischen Hochschule
Zürich

Neutron war Paulis
Name für das Neutrino

Zürich, 4. Dez. 1930
Cloriastrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

Wie der Ueberbringer dieser Zeilen, den ich huldvollst anhören bitte, Ihnen des näheren auseinandersetzen wird, bin ich angesichts der "falschen" Statistik der N - und $Li-6$ Kerne, sowie des kontinuierlichen beta-Spektrums auf einen verweifelten Ausweg verfallen um den "Wechselsatz" (1) der Statistik und den Energiesatz zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kernen existieren, welche den Spin $1/2$ haben und das Ausschlussprinzip befolgen und sich von Lichtquanten ausserdem noch dadurch unterscheiden, dass sie nicht mit Lichtgeschwindigkeit laufen. Die Masse der Neutronen müsste von derselben Grössenordnung wie die Elektronenmasse sein und jedenfalls nicht grösser als $0,01$ Protonenmasse. Das kontinuierliche beta-Spektrum wäre dann verständlich unter der Annahme, dass beim beta-Zerfall mit dem Elektron jeweils noch ein Neutron emittiert wird, derart, dass die Summe der Energien von Neutron und Elektron konstant ist.

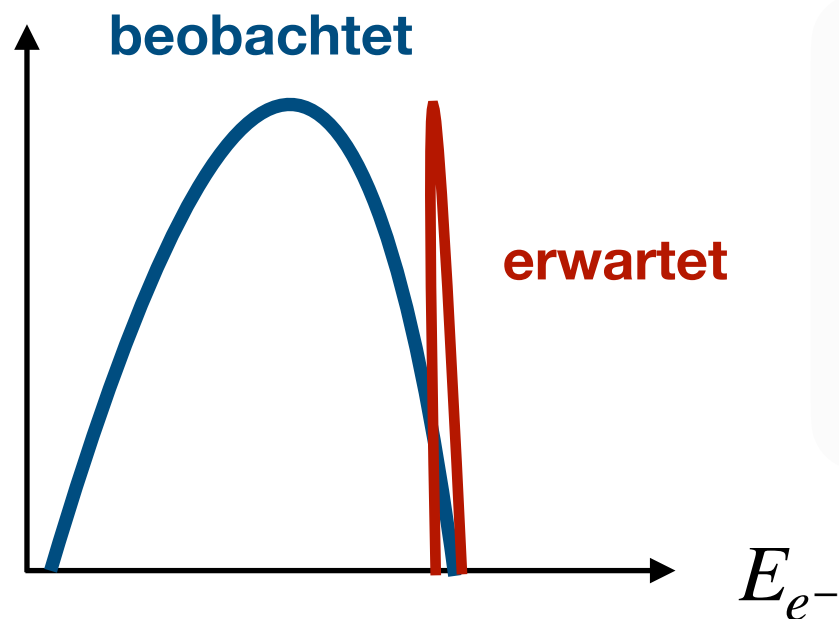
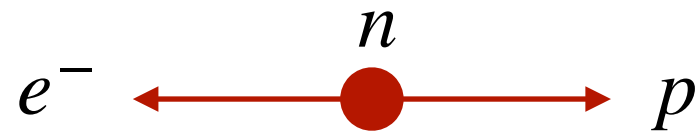
Nun handelt es sich weiter darum, welche Kräfte auf die Neutronen wirken. Das wahrscheinlichste Modell für das Neutron scheint mir aus wellenmechanischen Gründen (näheres weiss der Ueberbringer dieser Zeilen) dieses zu sein, dass das ruhende Neutron ein magnetischer Dipol von einem gewissen Moment M ist. Die Experimente verlangen wohl, dass die ionisierende Wirkung eines solchen Neutrons nicht grösser sein kann, als die eines gamma-Strahls und darf dann M wohl nicht grösser sein als $e \cdot (10^{-15} \text{ cm})$.

Ich traue mich vorläufig aber nicht, etwas über diese Idee zu publizieren und wende mich erst vertrauensvoll an Euch, liebe Radioaktive, mit der Frage, wie es um den experimentellen Nachweis eines solchen Neutrons stünde, wenn dieses ein ebensolches oder etwa lokal grösseres Durchdringungsvermögen besitzen würde, wie ein gamma-Strahl.

Ich gebe zu, dass mein Ausweg vielleicht von vornherein wenig wahrscheinlich erscheinen wird, weil man die Neutronen, wenn sie existieren, wohl schon längst gesehen hätte. Aber nur wer wagt, gewagt und der Ernst der Situation beim kontinuierlichen beta-Spektrum wird durch einen Ausspruch meines verehrten Vorgängers im Amt, Herrn Debye, beleuchtet, der mir kürzlich in Brüssel gesagt hat: "O, daran soll man am besten gar nicht denken, sowie an die neuen Steuern." Darum soll man jeden Weg zur Rettung ernstlich diskutieren. Also, liebe Radioaktive, prüfet, und richtet. Leider kann ich nicht persönlich in Tübingen erscheinen, da ich infolge eines in der Nacht vom 6. zum 7. Dez. in Zürich stattfindenden Balles hier unabhkömmlich bin. Mit vielen Grüssen an Euch, sowie an Herrn Back, Euer untertänigster Diener

ges. W. Pauli

Hintergrund: β -Zerfall, scheinbar Energiesatzverletzung

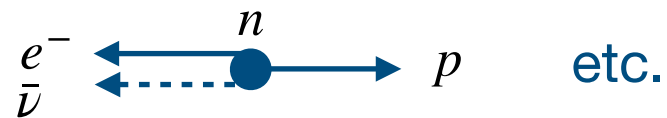
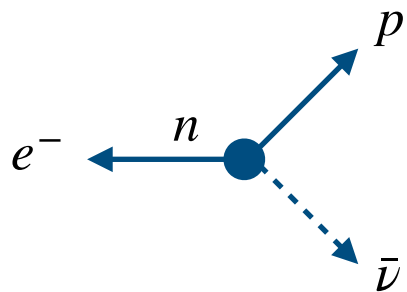


Pauli (1931) : Postulat eines neuen Teilchens (Neutrino) zur Rettung der Energieerhaltung

1957: Neutrinos experimentell nachgewiesen (Cowan, Reines)

2 Körperzerfall erlaubt nur eine **einzige Energiekonfiguration**

3 Körperzerfall erlaubt **viele Konfigurationen**



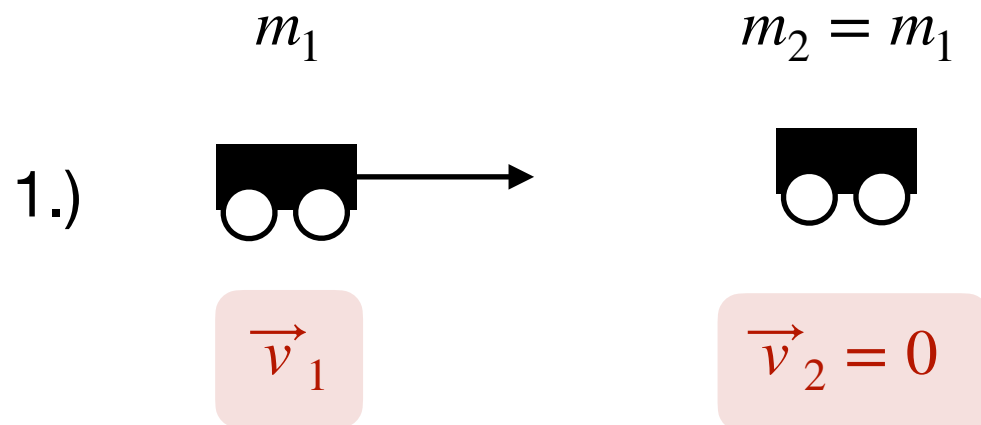
3.2 Impulserhaltung

#240

3. NG: $\dot{\vec{p}}_{\text{ges}} = 0$ im abgeschl. System
(keine äußere Kraft)

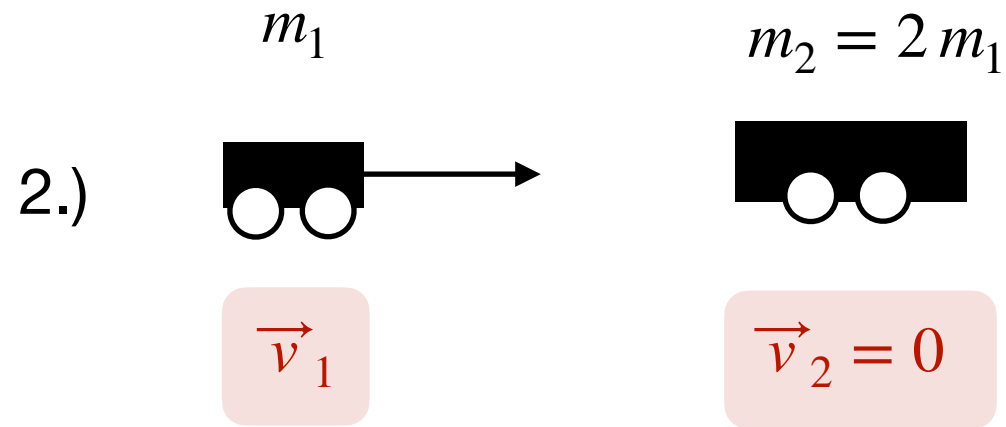
$\rightarrow \sum \vec{p}_i = \text{const}$ **Impuls ist erhalten !**

Versuche: Stoßversuche



vorher: $\vec{p}_1 = m_1 \vec{v}_1$ $\vec{p}_2 = 0$ $\rightarrow \vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_1$

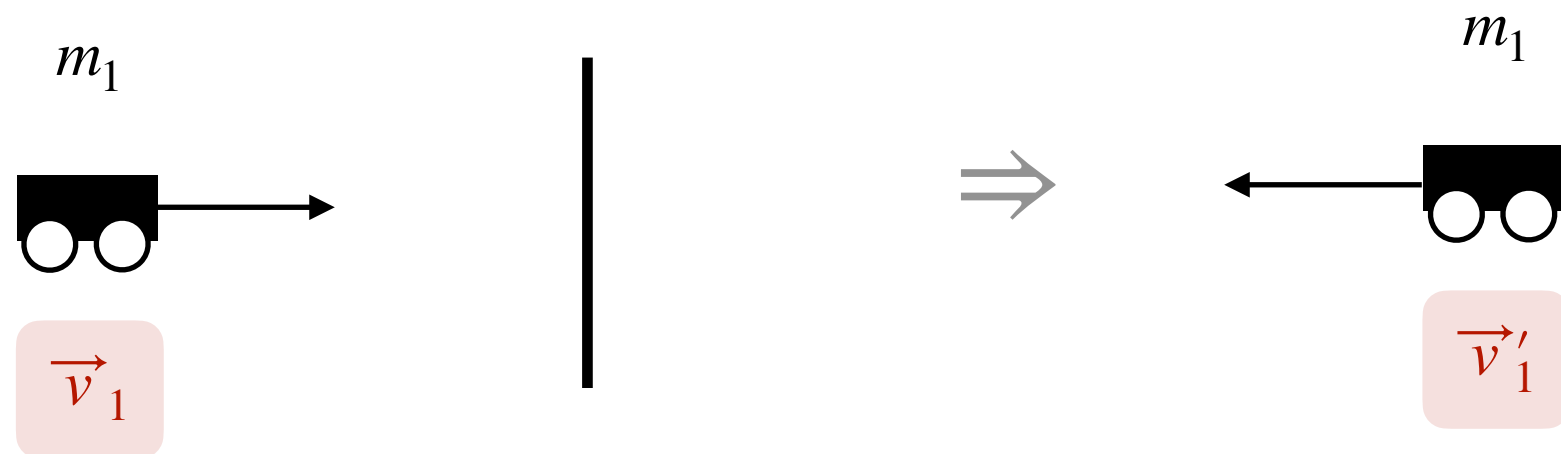
nachher: $\vec{p}'_1 = 0$ $\vec{p}'_2 \neq 0$ $\rightarrow \vec{p} = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 = \vec{p}'_2 \Rightarrow \vec{p}'_2 = \vec{p}_1$



vorher: $\vec{p}_1 = m_1 \vec{v}_1$ $\vec{p}_2 = 0$ $\rightarrow \vec{p} = \vec{p}_1$

nachher: $\vec{p}'_1 < 0$ $\vec{p}'_2 > 0$ $\rightarrow \vec{p} = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 = \vec{p}_1$

3.) Stoß gegen eine Wand



vorher: $\vec{p}_1 = m_1 \vec{v}_1$ $\vec{p}_W = 0$ $\rightarrow \vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_W = \vec{p}_1$

nachher: $\vec{p}'_1 = -\vec{p}_1$ $\vec{p}'_W = ?$ $\rightarrow \vec{p} = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_W = -\vec{p}_1 + \vec{p}'_W \Rightarrow \vec{p}'_W = 2\vec{p}_1$

Impulsübertrag Impulsänderung vor und nach der Kollision

Wagen

$$\Delta \vec{p}_{1 \rightarrow W} := \vec{p}_1 - \vec{p}'_1 = \Delta \vec{p}_1$$

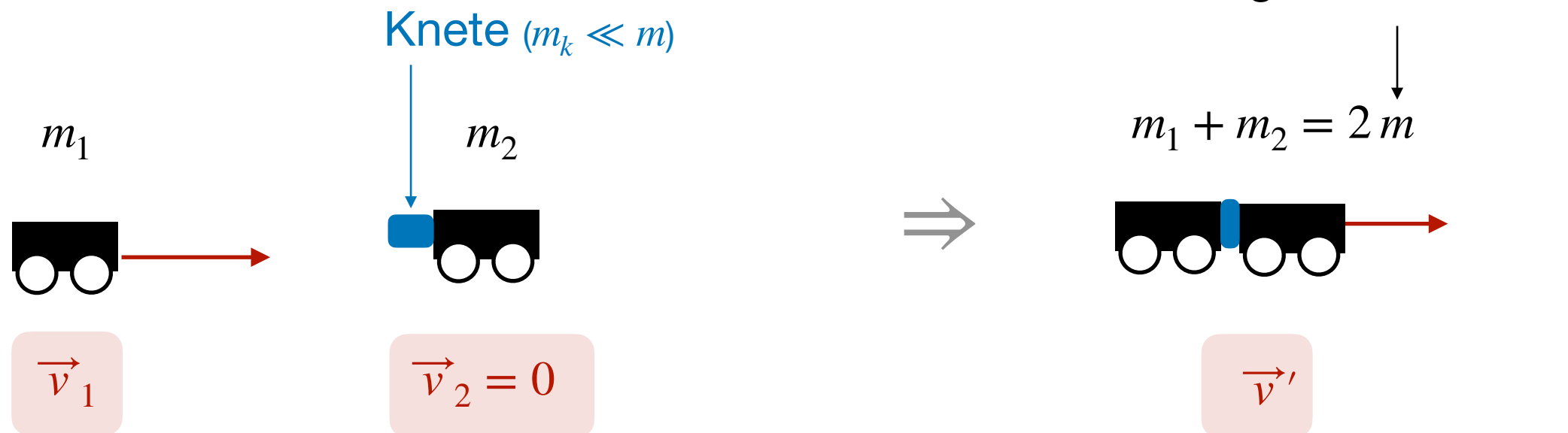
$$\Rightarrow \Delta \vec{p}_1 + \Delta \vec{p}_W = 0$$

Wand

$$\Delta \vec{p}_{W \rightarrow 1} := \vec{p}_W - \vec{p}'_W = \Delta \vec{p}_W$$

$$\Rightarrow \Delta \vec{p}_{1 \rightarrow W} = - \Delta \vec{p}_{W \rightarrow 1}$$

4.) Inelastischer Stoß



Bei 1.) -3.) kin. Energie erhalten \Rightarrow Hier nur Impuls erhalten, ein Teil der kin. Energie wird verbraucht um die Knete zu verformen

Impulserhaltung : $m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v' \rightarrow v' = \frac{1}{2} v \quad m_1 = m_2$

E_{kin} :

vorher $\frac{m_1 v^2}{2} = \frac{m v^2}{2}$

nachher $\frac{(m_1 + m_2) v'^2}{2} = \frac{2m}{2} \frac{1}{4} v^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{m v^2}{2} \right)$

Klassifikation von Stößen : Abhängig von der Veränderung der kin. Energie

Impuls: $\vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$

Energie: $\frac{m_1}{2} \vec{v}'_1{}^2 + \frac{m_2}{2} \vec{v}'_2{}^2 = \frac{m_1}{2} \vec{v}_1{}^2 + \frac{m_2}{2} \vec{v}_2{}^2 + Q$

bzw. $\frac{\vec{p}'_1{}^2}{2m_1} + \frac{\vec{p}'_2{}^2}{2m_2} = \frac{\vec{p}_1{}^2}{2m_1} + \frac{\vec{p}_2{}^2}{2m_2} + Q$

$Q = 0$: elastischer Stoß

$Q < 0$: **inelastischer Stoß**

$Q > 0$: **superelastischer Stoß**



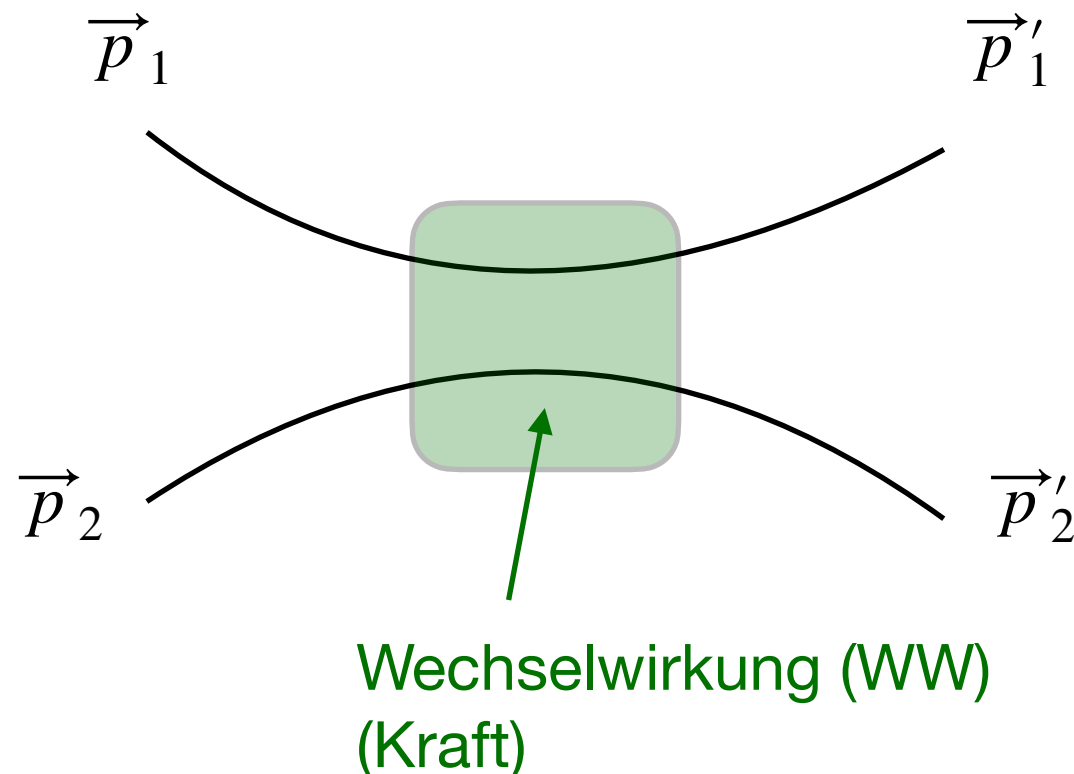
Umwandlung von E_{kin} in
“innere Energie”



Stoßpartner gibt
“innere Energie” ab

Was passiert bei einem Stoß?

Skizze:



Hängt von der Form d. Kraft
im WW-Gebiet ab

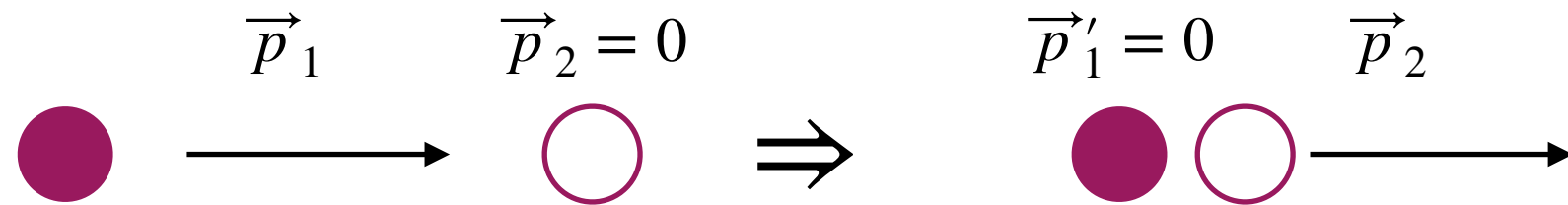


Beobachtung von \vec{p}'_1, \vec{p}'_2
bei bekanntem \vec{p}_1, \vec{p}_2
erlaubt Rückschlüsse über
Kraft!

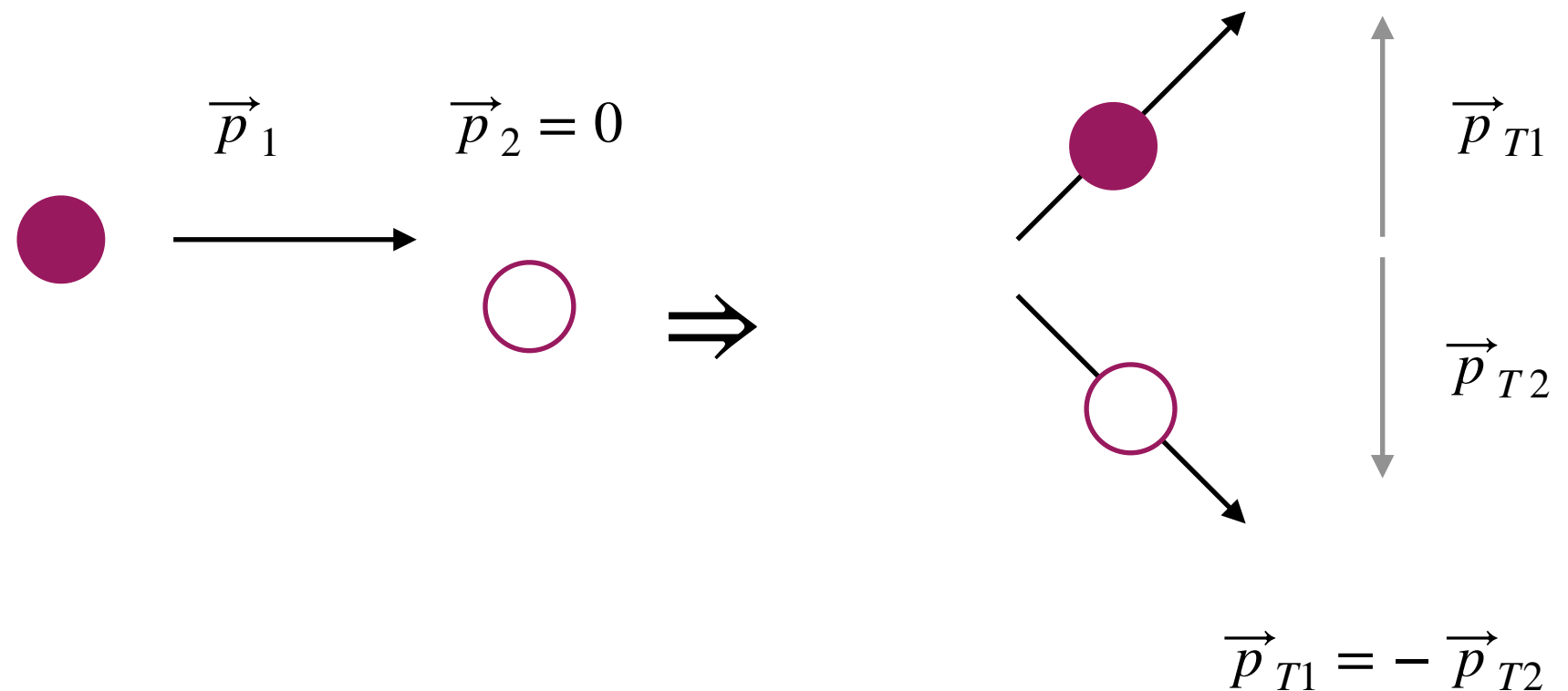
→ zentrale Rolle von Stoßprozessen in der Atom-, Kern-, Teilchenphysik

Versuche: 2-dim Stöße am Lufttisch

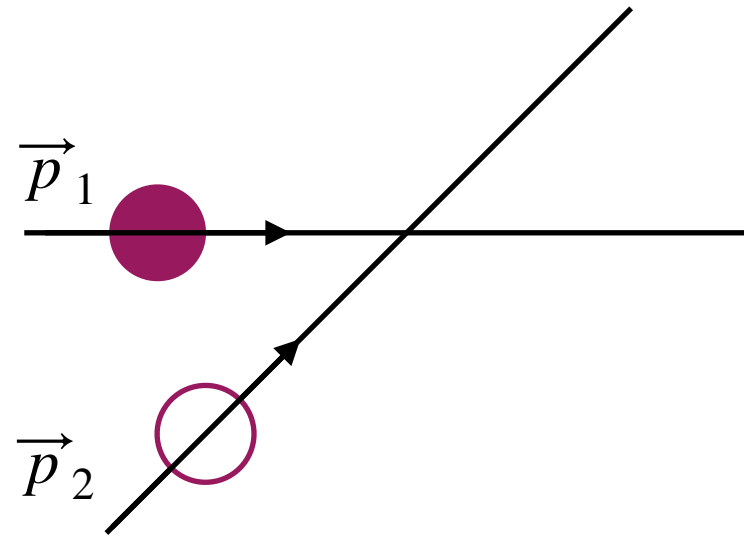
1.) zentraler Stoß



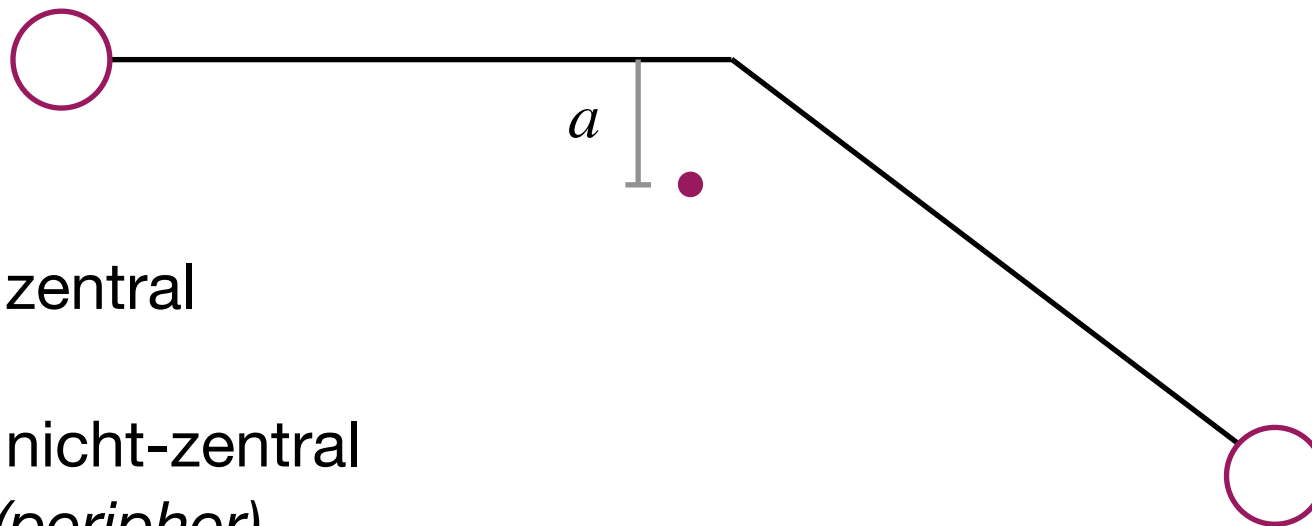
2.) nicht zentraler Stoß, m_2 ruht



3.) nicht zentraler Stoß, $v_1, v_2 \neq 0$



Stoßparameter a :



$a = 0$: zentral

$a \neq 0$: nicht-zentral
(*peripher*)

3.2.2 Labor- und Schwerpunktsystem

#247

- ★ Wechsel zw. gleichförmig bewegten Bezugssystemen (Galilei-Trf) ändert die “Physik” **nicht**

→ gleiche Kräfte wirken

m, \vec{a} **G-invariant!**

- ★ 2. NG für Systeme aus n **Massenpunkten**

$$\sum_{i=1}^n \dot{\vec{p}}_i = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}$

$$\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \vec{F}_{\text{extern}}$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}$

Gesamtimpuls

→ Das System verhält sich gegenüber externen Kräften wie ein MP mit

$$\vec{P} = M \vec{V}$$

mit $M = \sum_i m_i$ $\sum_i = \sum_{i=1}^n$

$$\vec{R} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i} \quad \vec{V} = \frac{d}{dt} \vec{R} = \frac{\sum_i m_i \dot{\vec{r}}_i}{\sum_i m_i} = \frac{\sum_i m_i \vec{v}_i}{\sum_i m_i}$$

\vec{R} : **Schwerpunkt** (SP)

(od. “Massenmittelpunkt” / “Massenschwerpunkt”)

English: *center-of-mass* (c.m. or cm)

Beispiel:

Zwei MP:

$$\vec{R} = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2}{m_1 + m_2}$$

Versuch:

Schwerpunkt eines Besens, Flaschenhalter