Vorlesung 11

NETZWERK
TEILCHENWELT

Netzwerk Teilchenwelt

- aktuelle Forschung in der Teilchen- und Astroteilchenphysik hautnah erleben
- Zusammenarbeit mit zahlreichen Institutionen: z.B. das CERN

Das Fellow Programm

- Verbindung zwischen interessierten Schüler:innen/Studierenden und Forschenden schaffen
- Schüler:innen und Studierende erhalten frühzeitig die Chance, tiefere Einblicke in die aktuelle Forschung auf dem Gebiet der Physik der kleinsten Teilchen zu gewinnen
- Gleichzeitig haben Gruppenleiter:innen die Möglichkeit „Forschungsnachwuchs“ zu gewinnen oder tatkräftige Unterstützung für Outreach-Aktivitäten

NETZWERK
TEILCHENWELT

Anmeldung
Fellow Programm

Aufnahme nach Netzwerk Teilchenwelt Stufenprogramm (*oder*-Kriterien):

- nach dem CERN-Workshop/CERN-Projektwochen/Teilchenphysik-Akademie [→jeweils entsprechend verlinken]
- nach einer Besonderen Lernleistung/eigener Forschungsarbeit/Facharbeit/JuFo
- Physik-Studierende nach einer Fellow-Schule

Aufnahme als Quereinsteiger:in (*und*-Kriterien):

- Physikstudium
- kurzes Motivationsschreiben über bisherige Aktivitäten in der (Astro-)Teilchenphysik; ggf. Empfehlung durch Standort
- Teilnahme an einer Masterclass
- Unterstützung bei Outreach-Aktivitäten (z.B. Lange Nacht der Wissenschaft oder Unterstützung bei Masterclasses/Experimenten mit kosmischen Teilchen)

Bei Fragen Mail an:
bonn@teilchenwelt.de

NETZWERK
TEILCHENWELT

Teilchencafé für Fellows

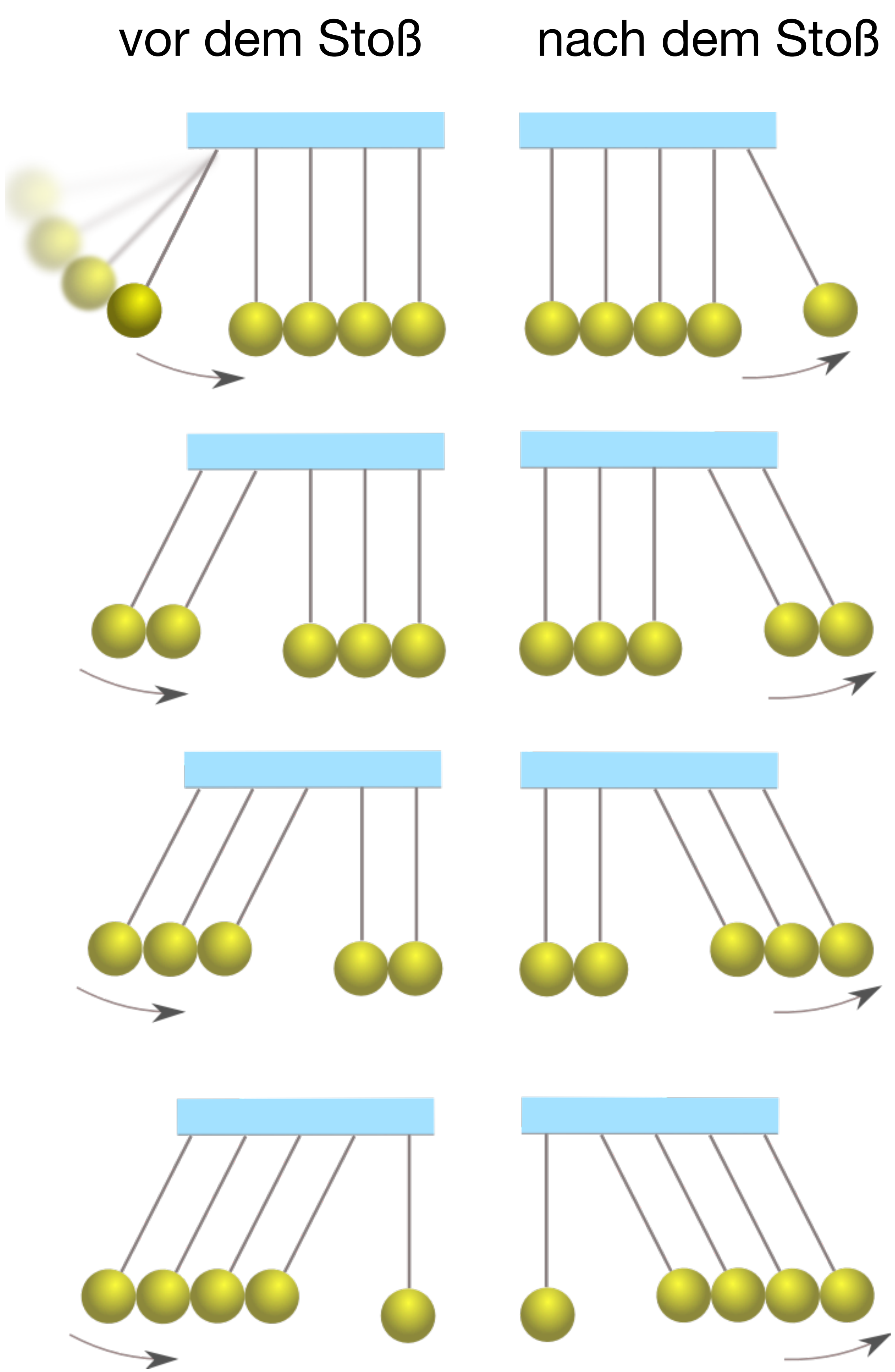
Wann?: Donnerstag, 24. November 2022 von 16:30 Uhr bis 18:00 Uhr

Wo?: Konferenz Raum 2 im Physikalischen Institut der Universität Bonn (PI 1.049)

Was?: Austausch in gemütlicher Atmosphäre mit Prof. Dr. Bernlochner

Wer?: Prof. Dr. Florian Bernlochner forscht im Bereich der Hochenergie Teilchenphysik am Belle II Experiment

Anmeldung Teilchencafé



Die erste ruhende Kugel
nimmt den Impuls der
zuerst eintreffenden aufprallenden
Kugel auf und gibt ihn elastisch weiter.

Dann nimmt die sich nun in Ruhe
befindenden Stoßkugel den Impuls der
zweiten eintreffenden Kugel auf und
gibt ihn weiter.

Es entstehen **zwei** entkoppelte
Impulsübergänge!

Dies ist nicht der Fall, wenn man die
eintreffende Kugeln mit einer Kugel
mit größerer Masse ersetzt.

$\overrightarrow{R}$: **Schwerpunkt** (SP)

(od. “Massenmittelpunkt” / “Massenschwerpunkt”)

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

Beispiel: Zwei MP: $$\overrightarrow{R} = \frac{m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2}{m_1 + m_2}$$

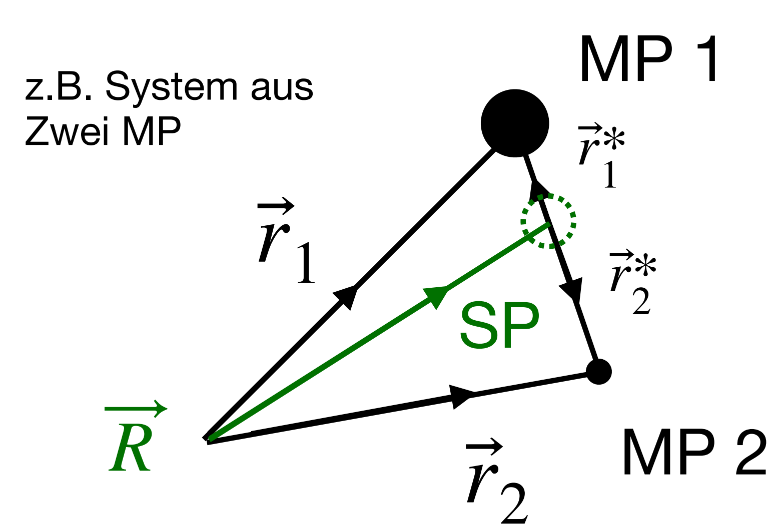
★ Transformation in System in dem der SP der Nullpunkt ist : $\overrightarrow{R}^* := 0$

$\downarrow$

Bewegt sich dann mit Geschw. $\overrightarrow{V}$ gegen das ortsfeste Laborsystem

Zusammenhang zw. Ortsvektoren im Laborsystem $(\vec{r}_i)$ und Schwerpunktsystem $(\vec{r}_i^*)$

$$\vec{r}_i = \vec{r}_i^* + \overrightarrow{R}$$



Durch Einsetzen in unseren Ausdruck für den Schwerpunkt erhalten wir:

$$\vec{R}^* = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i^*}{\sum_i m_i} = \frac{1}{M} \sum_i m_i (\vec{r}_i - \vec{R}) = \frac{1}{M} \left(\underbrace{\sum_i m_i \vec{r}_i}_{= \vec{R} M} - \vec{R} \underbrace{\sum_i m_i}_{= M} \right) = 0$$

Zwei MP:

$$\Rightarrow \quad m_1 \vec{r}_1^* = -m_2 \vec{r}_2^* \quad \rightarrow \quad \frac{|\vec{r}_1^*|}{|\vec{r}_2^*|} = \frac{m_2}{m_1}$$

$$m_1 \vec{r}_1^* = -m_2 (\vec{r}_{12}^* + \vec{r}_1^*)$$

mit $\vec{r}_{12}^* = \vec{r}_2^* - \vec{r}_1^*$

oder

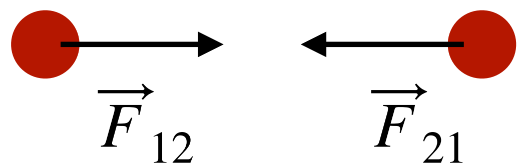
$$m_1 (\vec{r}_2^* - \vec{r}_{12}^*) = -m_2 \vec{r}_2^*$$

$$\Rightarrow \quad \vec{r}_1^* = -\frac{m_2}{m_1 + m_2} \vec{r}_{12}^* \qquad \vec{r}_2^* = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \vec{r}_{12}^*$$

Nur noch **Ortsvektoren relevant** (reduziert auf 1-Körper-Problem)

Betrachten z.B. Kraftwirkung im Schwerpunktsystem durch Gravitation

Falls $\vec{F}_{\text{ext}} = 0$:



$$\vec{F}_{12} = m_1 \vec{a}_1^{\,*} \qquad \vec{F}_{21} = m_2 \vec{a}_2^{\,*}$$

$$\rightarrow \; \vec{a}_2^{\,*} - \vec{a}_1^{\,*} = \frac{\vec{F}_{21}}{m_2} - \frac{\vec{F}_{12}}{m_1} = \underbrace{\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right)}_{\frac{1}{\mu}} \vec{F}_{21}$$

reduzierte Masse

$$\boxed{\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}}$$

Bewegungsgleichung für die Relativbewegung:

$$\vec{F}_{21} = \mu \frac{\mathrm{d}\vec{v}_{21}}{\mathrm{d}t}$$

$$\vec{v}_{21} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$$

$$\dot{\vec{v}}_{21} = \vec{a}_{21} = \vec{a}_2 - \vec{a}_1$$

Spezialfälle:

$$m_1 = m_2 = m \rightarrow \mu = \frac{m}{2}$$

$$m_2 \gg m_1 \rightarrow \mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \approx m_1$$

klein

(Satellit - Erde, Elektron - Atomkern, …)

★ Stöße im CMS

Galilei-Transformation: (Labor in CMS)

$$\vec{r}_i^{\,*} = \vec{r}_i - \vec{R} = \vec{r}_i - \vec{v}\,t$$

$$\vec{v}_i^{\,*} = \vec{v}_i - \vec{v}$$

$$\vec{a}_i^{\,*} = \vec{a}_i$$

SP-Geschwindigkeit (keine externen Kräfte)

$$\vec{v} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\vec{R} = \frac{\sum_i m_i \dot{\vec{r}}_i}{\sum_i m_i} = \frac{\sum_i m_i \vec{v}_i}{\sum_i m_i}$$

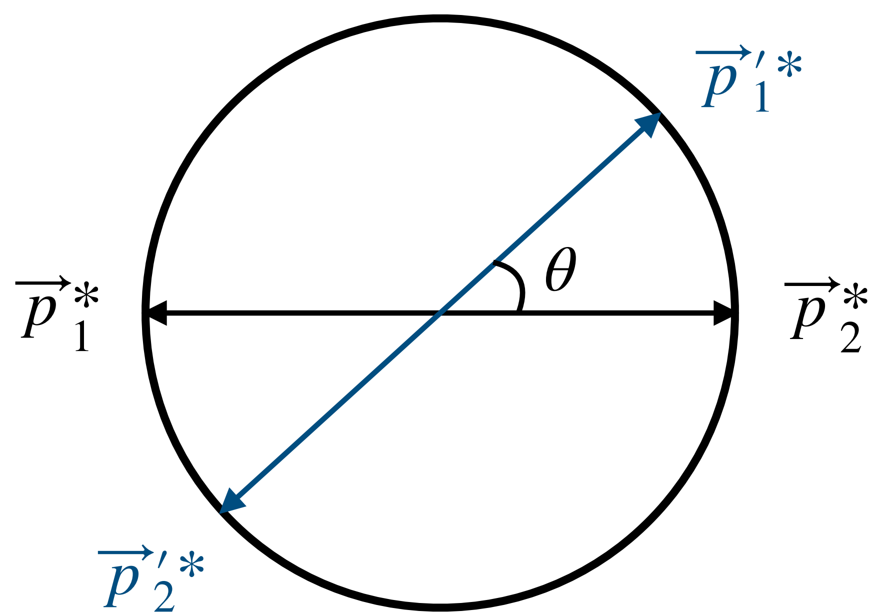
2-Körper-Stoß im CMS:

$$\vec{v} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\vec{R} = \frac{\sum_i m_i \dot{\vec{r}}_i}{\sum_i m_i} = \frac{\sum_i m_i \vec{v}_i}{\sum_i m_i}$$

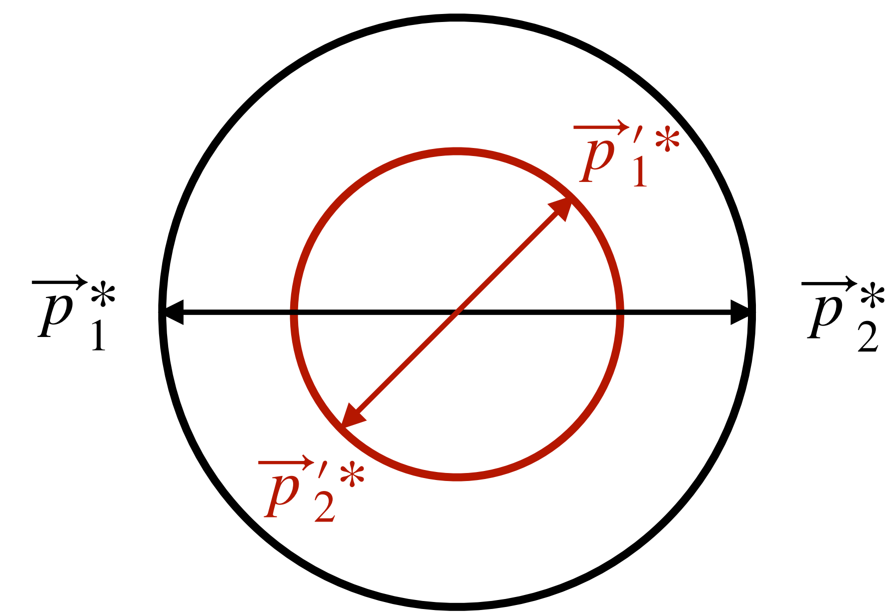
$$\downarrow$$

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

elastisch



inelastisch



rechnerisch:

$$\vec{v}^{\,*}_1 = \vec{v}_1 - \vec{v} = \vec{v}_1 - \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2} = \frac{\cancel{m_1} \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_1}{m_1 + m_2} - \frac{\cancel{m_1} \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2}$$

$$= \frac{m_2}{m_1 + m_2}\left(\vec{v}_1 - \vec{v}_2\right)$$

$$\rightarrow \vec{p}^{\,*}_1 = m_1 \vec{v}^{\,*}_1 = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}\left(\vec{v}_1 - \vec{v}_2\right) = \mu \vec{v}_{12}$$

analog: $\vec{p}^{\,*}_2 = \mu\left(\vec{v}_2 - \vec{v}_1\right) = \mu \vec{v}_{21}$

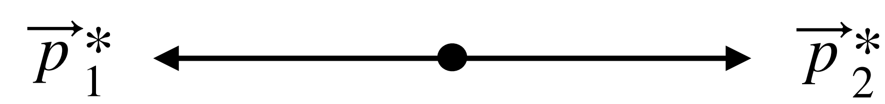
$$\Rightarrow \vec{p}_1^{\,*} + \vec{p}_2^{\,*} = 0 = \vec{p}_1^{\,*\prime} + p_2^{*\prime}$$

vorher

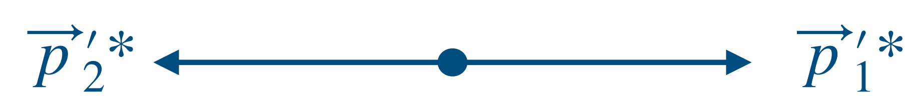
nachher

Im CMS ist der Gesamtimpuls immer 0 (!)

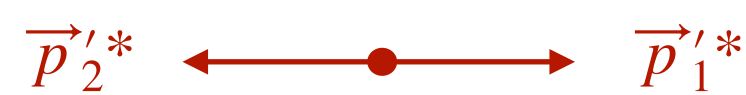
Beispiel: $\theta_{\text{Streu}} = 180^{\text{o}}$ zentraler Stoß



$|\vec{p}_1^{\,*\prime}| = |\vec{p}_1^{\,*}|$: elastisch



$|\vec{p}_1^{\,*\prime}| < |\vec{p}_1^{\,*}|$: inelastisch



3.2.3 1-dim Stoßgesetze

a) elastisch:

Impulssatz	$m_1(v_1 - v_1') = m_2(v_2' - v_2)$	(1)
Energiesatz	$m_1(v_1^2 - v_1'^2) = m_2(v_2'^2 - v_2^2)$	(2)

⇒ liefert **eindeutige Lösung**

(2) : (1) ⇒ $$(v_1 + v_1') = (v_2 + v_2')$$

$(x^2 - y^2) = (x+y)(x-y)$

$$\boxed{\rightarrow v_1 - v_2 = v_2' - v_1'} \quad (3)$$

Annäherungsgeschw. Separationsgeschw.

(klar, wenn man ins CMS geht…)

$v_2' = v_1 - v_2 + v_1'$

(3) in (1) $\Rightarrow$ $$m_1 v_1 - m_1 v_1' = m_2(v_1 - v_2 + v_1' - v_2)$$ $v_2' = v_1 - v_2 + v_1'$

$$-v_1'(m_1 + m_2) = v_1(m_2 - m_1) - 2m_2 v_2$$

$$\boxed{v_1' = \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_2 + \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1}$$

Analog:

$$\boxed{v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_2}$$

Spezialfälle: $v_2 = 0$

$m_1 = m_2$: $\quad v_1' = v_2 = 0, \quad v_2' = v_1$ ✔

$m_2 = 2m_1 = 2m$: $\quad v_1' = \frac{4m}{2m} \underbrace{v_2}_{=0} + \frac{-m}{3m} v_1 = -\frac{1}{3} v_1$

$$v_2' = \frac{2m}{3m} v_1 + 0 = +\frac{2}{3} v_1$$ ✔

$\rightarrow \Delta v = v_2' - v_1' = \text{const}$

$$m_1 = 2m_2 = 2m \ : \ v_1' = 0 + \frac{m}{3m}v_1 = +\frac{1}{3}v_1$$

$$v_2' = 0 + \frac{4m}{3m}v_1 = +\frac{4}{3}v_1$$

$\rightarrow \Delta v = v_2' - v_1' = \text{const}$

$$\lim_{m_2 \to \infty} \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} = -1$$

$$\lim_{m_2 \to \infty} \frac{2m_1}{m_1 + m_2} = 0$$

Wand $m_2 \gg m_1$: $\quad v_1' = 0 - v_1 = -v_1$

$$v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}v_1 \approx 0$$

b) inelastisch: kin. Energie nicht erhalten $\Rightarrow$ hängt ab von **Inelastizität** Q

Wenn vollständig inelastisch : (vgl. Versuch Luftschiene, inelastisch mit Knete)

$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)\,v' \quad \Rightarrow v' = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2} = \frac{1}{2}v_1 \quad \text{falls } m_1 = m_2, v_2 = 0$$

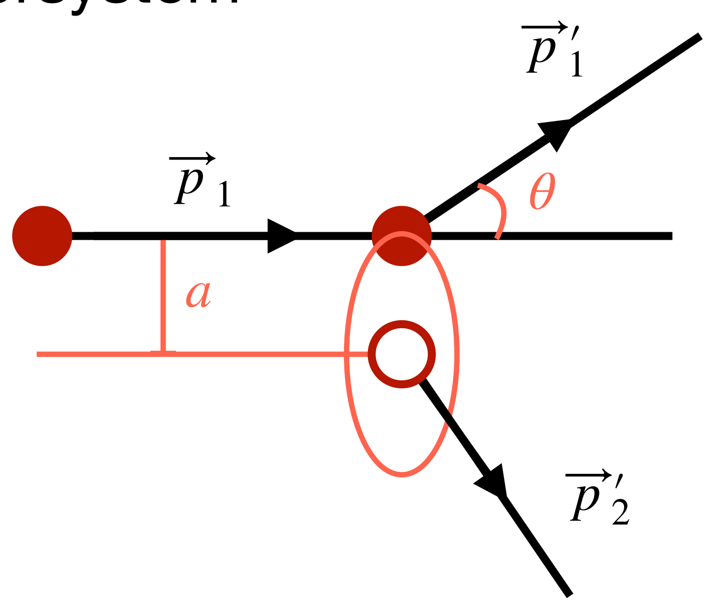
$$E_{\text{kin}}' = \frac{1}{2}(2m)v'^2 = \frac{1}{4}mv_1^2 = \frac{1}{2}E_{\text{kin}}$$ $\Rightarrow$ **50%** der kin. Energie in **Verformungsenergie (!)**

3.2.3 2/3-dim Stöße

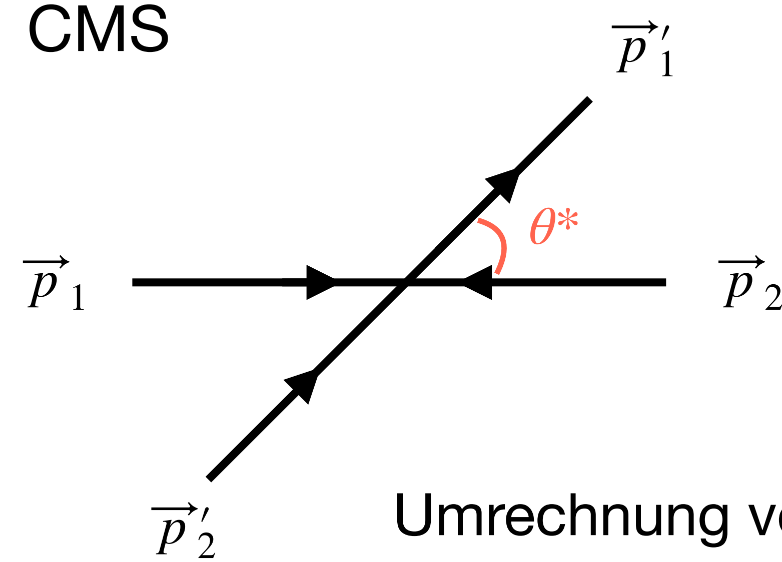
Im CMS :

- ★ nur 1 (2) unbekannte Streuwinkel in 2 (3) Dimensionen
- ★ bei Kugelsymmetrie der Kraftwirkung, nur 1 Streuwinkel auch in 3D

Laborsystem



CMS



Umrechnung von $\theta^* \leftrightarrow \theta$ via Galilei-Trf.

Spezialfall: $\vec{v}_2 = 0,\ m_1 = m_2$ $\quad \frac{1}{2}m{v'_1}^2 + \frac{1}{2}m{v'_2}^2 = \frac{1}{2}m{v_1}^2 \rightarrow \frac{p_1'^2}{2m} + \frac{p_2'^2}{2m} = \frac{p_1^2}{2m}$

$\vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 = \vec{p}_1$ und $p_1'^2 + p_2'^2 = p_1^2$ (Pythagoras)

$\Rightarrow \vec{p}'_1 \perp \vec{p}'_2$

Versuch: Lufttisch