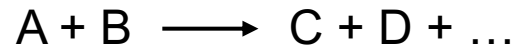


Σχετικιστικές σκεδάσεις

Γενικά μια σκέδαση, από τη φύση της, είναι ένα φαινόμενο το οποίο συμβαίνει τόσο γρήγορα που δεν υπάρχουν εξωτερικές επιρροές από δυνάμεις όπως η βαρύτητα, η τριβή κλπ



Κλασικές Σκεδάσεις:

- Ολική μάζα διατηρείται: $m_A + m_B = m_C + m_D$
- Ολική ορμή διατηρείται: $\vec{p}_A + \vec{p}_B = \vec{p}_C + \vec{p}_D$

Σύμφωνα με την μεταβολή της κινητικής ενέργειας μπορούμε να έχουμε:

- Πλαστική κρούση: $T_A + T_B > T_C + T_D$ Μείωση της κινητικής ενέργειας
- Εκρηκτική κρούση: $T_A + T_B < T_C + T_D$ Αύξηση της κινητικής ενέργειας
- Ελαστική κρούση: $T_A + T_B = T_C + T_D$ Διατήρηση της κινητικής ενέργειας

Σχετικιστικές Σκεδάσεις:

- Ολική ενέργεια διατηρείται: $E_A + E_B = E_C + E_D$
 - Ολική ορμή διατηρείται: $\vec{p}_A + \vec{p}_B = \vec{p}_C + \vec{p}_D$
- } $p_A^\mu + p_B^\mu = p_C^\mu + p_D^\mu$
Διατήρηση 4-ορμής

Η κινητική ενέργεια μπορεί να διατηρείται ή όχι

Μπορούμε να ορίσουμε την ολική μάζα ενός συστήματος: $M_T^2 c^4 = E_T^2 - p_T^2 c^2$

αλλά η ολική μάζα αυτή δεν είναι απαραίτητα το άθροισμα των μαζών: $M_T \neq \sum_i m_i$

Σχετικιστικές σκεδάσεις

Μπορούμε να κατατάξουμε τις σκεδάσεις σε:

- Πλαστική σκέδαση: Μείωση της κινητικής ενέργειας Αύξηση μάζας και ενέργειας ηρεμίας
- Εκρηκτική κρούση: Αύξηση της κινητικής ενέργειας Μείωση μάζας και ενέργειας ηρεμίας
- Ελαστική κρούση: Διατήρηση της κινητικής ενέργειας Διατήρηση μάζας και ενέργειας ηρεμίας

□ Το σύστημα αναφοράς του κέντρου μάζας ορίζεται σαν το σύστημα στο οποίο $\vec{p}_T = 0$

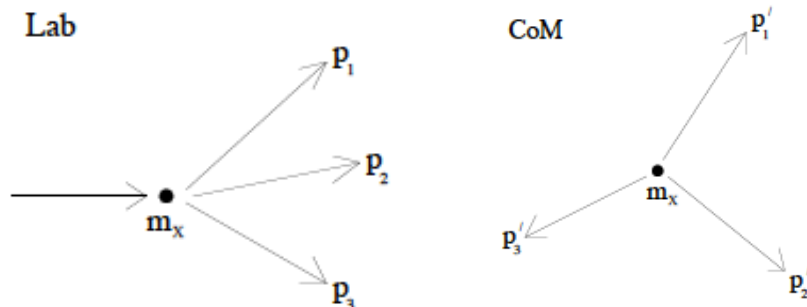
□ Επομένως στο σύστημα αυτό θα έχουμε: $m_T c^2 = E_{cm} = \sqrt{s}$

➤ Καλούμε την ολική μάζα του συστήματος σαν ενέργεια κέντρου μάζας και συμβολίζεται με το τετράγωνο του s

➤ Πολύ σημαντικό το αναλλοίωτο της ποσότητας αυτής

□ Παράδειγμα: Διάσπαση σωματιδίου

Έστω σωματίδιο X διασπάται σε 3 άλλα σωματίδια, τα οποία εξερχόμενα έχουν ορμές και E . Αθροίζοντας τις ενέργειες και ορμές μπορούμε να βρούμε την συνολική μάζα m_T



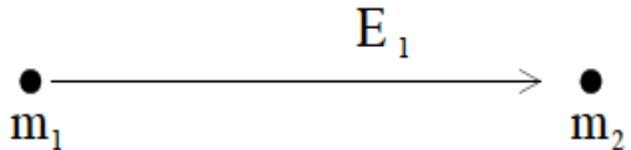
Η m_T είναι ίδια για όλα τα συστήματα αναφοράς επομένως και για το σύστημα COM

Εξ' ορισμού όμως: $m_T = m_X$

οπότε μπορούμε να βρούμε τη μάζα του X :

Σύγκρουση με ακίνητο στόχο

Θεωρούμε τη σκέδαση ενός σωματιδίου μάζας m_1 και ενέργειας E_1 το οποίο πέφτει σε ακίνητο σωματίδιο μάζας m_2 .



Η ολική ενέργεια είναι: $E_T = E_1 + m_2 c^2$

Η ολική ορμή είναι: $p_T c = \sqrt{E_1^2 - m_1^2 c^4}$

Η ενέργεια COM θα είναι: $s = m_T^2 c^4 = E_T^2 - p_T^2 c^2 = E_1^2 + 2 E_1 m_2 c^2 + m_2^2 c^4 - E_1^2 + m_1^2 c^4$
 $s = 2 E_1 m_2 c^2 + m_2^2 c^4 + m_1^2 c^4$

Δηλαδή δεν χρειάζεται να κάνουμε το μετασχηματισμό στο COM για να βρούμε την ενέργεια του κέντρου μάζας E_{COM} αφού είναι αναλλοίωτη ποσότητα

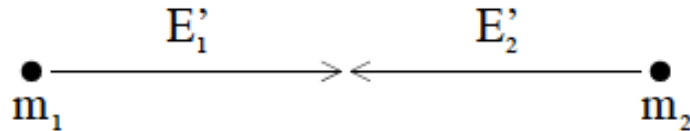
Διαφορετικά σε αρκετές περιπτώσεις θέλουμε μια συγκεκριμένη ενέργεια κέντρου μάζας π.χ. ενός σωματιδίου που θέλουμε να παράξουμε. Στην περίπτωση αυτή, ανακατανομή θα δώσει:

$$E_1 = \frac{s - m_1^2 c^4 - m_2^2 c^4}{2 m_2^2 c^4}$$

Το σύστημα αυτό ονομάζεται σύστημα ακίνητου στόχου

Σύγκρουση με κινούμενα σωματίδια

Θεωρούμε τη σκέδαση στο COM σωματιδίου μάζας m_1 και ενέργειας E_1 με σωματίδιο μάζας m_2 και ενέργειας E_2 που έχει αντίθετη ορμή.



Η ολική ενέργεια είναι: $E_1' + E_2' = \sqrt{s}$ (1)

Επειδή είμαστε στο COM: $\vec{p}_T = 0 \Rightarrow |\vec{p}_1| = |\vec{p}_2| \Rightarrow E_1'^2 - m_1^2 c^4 = E_2'^2 - m_2^2 c^4$

Μπορούμε να το γράψουμε: $E_1'^2 - E_2'^2 = (E_1' - E_2')(E_1' + E_2') = (m_1^2 - m_2^2) c^4$

$$\Rightarrow (E_1' - E_2') = \frac{(m_1^2 - m_2^2) c^4}{\sqrt{s}} \quad (2)$$

Αθροίζοντας (1) και (2): $\Rightarrow 2E_1' = \sqrt{s} + \frac{(m_1^2 - m_2^2) c^4}{\sqrt{s}} \Rightarrow E_1' = \frac{s + (m_1^2 - m_2^2) c^4}{2\sqrt{s}}$ ανάλογα για το E_2'

Συγκρουόμενες δέσμες vs σταθερός στόχος

Είναι ενδιαφέρον να συγκρίνουμε αυτό το αποτέλεσμα με αυτό για σταθερό στόχο, $m_{1,2}c^2 \ll \sqrt{s}$

$$\begin{aligned} \text{Έχουμε: } E'_1 &\approx \frac{s}{2\sqrt{s}} = \frac{\sqrt{s}}{2} \quad \text{συγκρουόμενες δέσμες} \\ \text{Έχουμε: } E_1 &\approx \frac{s}{2m_2c^2} = \frac{\sqrt{s}}{2} \frac{\sqrt{s}}{m_2c^2} \quad \text{σταθερός στόχος} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Έχουμε: } E'_1 &\approx \frac{s}{2\sqrt{s}} = \frac{\sqrt{s}}{2} \quad \text{συγκρουόμενες δέσμες} \\ \text{Έχουμε: } E_1 &\approx \frac{s}{2m_2c^2} = \frac{\sqrt{s}}{2} \frac{\sqrt{s}}{m_2c^2} \quad \text{σταθερός στόχος} \end{aligned}} \right\} \Rightarrow E_1 > E'_1 \quad \text{κατά ένα παράγοντα } \frac{\sqrt{s}}{m_2c^2}$$

Έστω θέλουμε να παράξουμε σωματίδια Z^0 (μάζα ηρεμίας $m_Z \sim 91 \text{ GeV}/c^2$) συγκρούοντας e^+ με e^-

Η μάζα του ηλεκτρονίου και ποζιτρονίου είναι: $m_{e^+} = m_{e^-} = 511 \text{ keV}/c^2 = 511 \times 10^{-6} \text{ GeV}/c^2$

Εφόσον η μάζα του Z^0 είναι $91 \text{ GeV}/c^2$ η ενέργεια του COM είναι: $E_{cm} = \sqrt{s} = 91 \text{ GeV}$

Για συγκρουόμενες δέσμες θα πρέπει: $E_{e^+} = E_{e^-} = \frac{\sqrt{s}}{2} = 45.5 \text{ GeV}$

Για σταθερό στόχο θα πρέπει ποζιτρόνια να πέφτουν πάνω σε ηλεκτρόνια οπότε:

$$E_1 \approx \frac{91^2}{2m_{e^-}c^2} = \frac{8281}{1022} \times 10^6 \text{ GeV} \Rightarrow E_1 \approx 8 \text{ PeV}!!$$

Χρειάζεται τεράστια ενέργεια για να παραχθεί το ίδιο σωματίδιο

Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας χάνεται άσκοπα σε κινητική ενέργεια για το σωματίδιο Z^0

Οι συγκρούσεις αντίθετων δεσμών πολύ πιο αποδοτικές από αυτές σε σταθερό στόχο