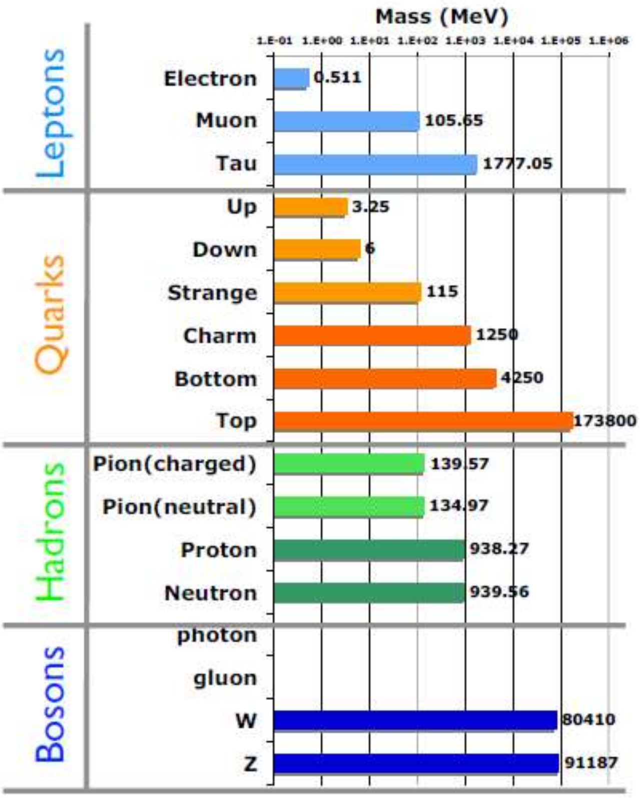
Choc de particules de grande énergie

Energie d'une particule relativiste :
$E^2 = {m_0}^2 + p^2$ si E s'exprime en MeV donc m0 en MeV/c^2 et p en MeV/c

Quantité de mouvement d'une particule relativiste :
$p = qBr$

Rappel des lois de conservation :
- Conservation de la charge :
  La somme algébrique des charges des particules incidentes est égale à la somme algébrique des charges des particules issues du choc
- Conservation de la quantité de mouvement :
  La somme vectorielle des quantités de mouvement des particules incidentes est égale à la somme vectorielle des quantités de mouvement des particules issues du choc
- Conservation de l'énergie totale :
  La somme des énergies totales des particules incidentes est égale à la somme des énergies totales des particules issues du choc.



I. Etude n° 1 : Cas d'un choc proton – proton

Dans un accélérateur de particule, on envoie un proton à haute énergie sur un proton au repos. Le choc de ces deux particules entraîne la formation de deux nouvelles particules X et Y selon l'équation :
$p_1 + p_2 \rightarrow X + Y$
On cherche à identifier les particules X et Y.

Données et mesures :
- On connait l'énergie du proton incident : $E_1 = 2274\ MeV$
- Les trajectographes permettent de déterminer les rayons de courbure des particules :
  $R_1 = 400cm$ $R_2 = 85cm$ $R_3 = 380cm$
  Les trajectoires des particules p_1, X et Y sont courbées dans le même sens.
- Les calorimètres mesurent l'énergie cinétique des particules X et Y produites :
  $Ec_X = 98\ MeV$ et $Ec_Y = 1242\ MeV$
- On rappelle que la masse du proton au repos est $m_0 = 938\ MeV/c^2$

Démarche globale : ensuivant les questions suivantes, on va remplir pas à pas le tableau ci-dessous :

Particules	P1	P2	X	Y
Charge	e	e		
p (MeV/c)				
Ec (MeV)			98	1242
m_0 (MeV.c^{-2})	938	938		
E (MeV)	2274	938		

1. Déterminer les charges des particules X et Y

   Les trajectoires des deux particules étant courbées dans le même sens que la trajectoire du proton incident, on peut supposer que X et Y sont toutes deux chargées positivement.
   La conservation de la charge électrique implique que : $q_X + q_Y = 2e$ (charge totale des protons incidents)
   hypothèse : $q_x = q_Y = e$

2. Déterminer les énergies des protons 1 et 2 :

   Energie de proton P_1 : $E_1 = 2274\ MeV$
   Energie du proton P_2 : $E_2 = 938\ MeV$

3. Déterminer les quantités de mouvement des proton 1 et 2 :

   $E_1^2 = {m_0}^2 + p_1^2$ d'où $p_1 = \sqrt{E_1^2 - m_0^2}$ A.N. $p_1 = \sqrt{(2274^2 - 938^2} = 2072\ MeV/c$
   $p_2 = 0$ car au repos

4. Déterminer les quantités de mouvement des particules X et Y :

   $p_1 = eR_1B$ $p_3 = eR_XB$ $p_4 = eR_YB$
   A partir de ces expressions, on a : $eB = \frac{p_1}{R_1} = \frac{p_3}{R_X} = \frac{p_4}{R_Y}$
   D'où $p_3 = \frac{R_X}{R_1}p_1$ et $p_4 = \frac{R_Y}{R_1}p_1$
   A.N. $p_3 = \frac{85}{400} \times 2072 = 440\ Mev/c$ $p_4 = \frac{380}{400} \times 2072 = 1968\ Mev/c$

5. Exprimer les masses des particules au repos en fonction de p et Ec. En déduire les valeurs de masses au repos de X et Y. Identifier ces particules.

   D'une part, on a $E = Ec + m_0 \cdot c^2$
   soit $E = Ec + m_0$ lorsque E et Ec s'expriment en MeV et m_0 en MeV/c^2.

   D'autre part : $E^2 = {m_0}^2 + p^2$

   En égalisant les deux expressions ci-dessus $E^2 = {m_0}^2 + p^2 = (Ec + m_0)^2$
   ${m_0}^2 + p^2 = Ec^2 + {m_0}^2 + 2m_0 \cdot Ec$
   ou encore $p^2 = Ec^2 + 2m_0 \cdot Ec$
   soit $m_0 = \frac{p^2 - Ec^2}{2Ec}$
   A.N. $m_0(X) = \frac{440^2 - 98^2}{2 \times 98} = 938 MeV/c^2$
   $m_0(Y) = \frac{1968^2 - 1240^2}{2 \times 1240} = 938 MeV/c^2$

   Conclusion :
   Les particules X et Y sont donc des protons.
   Les particules incidentes sont conservées ; on dit qu'il s'agit d'un choc élastique.

6. Vérifier qu'il y a bien conservation d'énergie pour s'assurer qu'aucune autre particule non détectée n'a été produite.

   Energie de la particule X : $E_X = m_0 + Ec = 938 + 98 = 1036\ MeV$
   Energie de la particule Y : $E_Y = 938 + 1240 = 2178\ MeV$

   Conservation de l'énergie : $2274 + 938 = 3212$ $1036 + 2178 = 3214$

II. Etude n°2 : Cas d'un choc proton – proton :

Le proton incident a une énergie 2233MeV/c^2.
Les courbures des particules issues du choc sont dans le même sens que celle du proton incident.

Les rayons de courbures sont :
Protons incidents : R_1 = 391,1cm
Particules issues du choc : R_X = 181,8cm
R_Y = 102,7cm

L'énergie cinétique des particules émises est :
Ec_3 = 391 MeV/c^2
Ec_4 = 410 MeV/c^2

Particules	P1	P2	X	Y
Charge	e	e		
p (MeV/c)				
Ec (MeV)			391	410
m_0 (MeV.c^{-2})	938	938		
E (MeV)	2233	938		

1. Déterminer les charges des particules X et Y

   Les trajectoires des deux particules étant courbées dans le même sens que la trajectoire du proton incident, on peut supposer que X et Y sont toutes deux chargées positivement.
   La conservation de la charge électrique implique que : $q_X + q_Y = 2e$ (charge totale des protons incidents)
   hypothèse : $q_x = q_Y = e$

2. Déterminer les énergies des protons 1 et 2 :

   Energie de proton P_1 : $E_1 = 2233\ MeV$
   Energie du proton P_2 : $E_2 = 938\ MeV$

3. Déterminer les quantités de mouvement des proton 1 et 2 :

   $E_1^2 = {m_0}^2 + p_1^2$ d'où $p_1 = \sqrt{E_1^2 - m_0^2}$ A.N. $p_1 = \sqrt{(2233^2 - 938^2} = 2026\ MeV/c$
   $p_2 = 0$ car au repos

4. Déterminer les quantités de mouvement des particules X et Y :

   $p_1 = eR_1B$ $p_X = eR_XB$ $p_Y = eR_YB$
   A partir de ces expressions, on a : $eB = \frac{p_1}{R_1} = \frac{p_3}{R_X} = \frac{p_4}{R_Y}$
   D'où $p_X = \frac{R_X}{R_1}p_1$ et $p_Y = \frac{R_Y}{R_1}p_1$
   A.N. $p_Y = \frac{181{,}8}{391{,}1} \times 2026 = 942\ Mev/c$ $p_Y = \frac{102{,}7}{391.1} \times 2026 = 532\ Mev/c$

5. Exprimer les masses des particules au repos en fonction de p et Ec. En déduire les valeurs de masses au repos de X et Y. Identifier ces particules.

   D'une part, on a $E = Ec + m_0 \cdot c^2$
   soit $E = Ec + m_0$ lorsque E et Ec s'expriment en MeV et m_0 en MeV/c^2.

D'autre part : $E^2 = {m_0}^2 + p^2$

En égalisant les deux expressions ci-dessus $E^2 = {m_0}^2 + p^2 = (Ec + m_0)^2$

$${m_0}^2 + p^2 = Ec^2 + {m_0}^2 + 2m_0 \cdot Ec$$

ou encore $p^2 = Ec^2 + 2m_0 \cdot Ec$

soit $m_0 = \frac{p^2 - Ec^2}{2Ec}$

A.N. $m_0(X) = \frac{942^2 - 391^2}{2 \times 391} = 939 MeV/c^2$

$$m_0(Y) = \frac{532^2 - 410^2}{2 \times 410} = 140 MeV/c^2$$

Conclusion :
La particule X est un proton.
La particule Y est probablement un pion.

6. Un calorimètre mesure une 3ème énergie de 354 MeV. Interpréter ce résultat.

Cette énergie correspond à l'énergie cinétique d'une particule non détectée par les trajectographes.

En utilisant la conservation de l'énergie, on peut déterminer l'énergie totale de cette particule.
Energie de la particule X : $E_X = m_0 + Ec = 938 + 391 = 1329\ MeV$
Energie de la particule Y : $E_Y = 140 + 410 = 550\ MeV$

Energie avant le choc : $2233 + 938 = 3171\ MeV$
Energie après le choc : $1329 + 550 = 1879\ MeV$

Après le choc, il y a un déficit de 1292 MeV. L'énergie de la particule non détectée est de 1292 MeV

Sa masse au repos est $m_0 = E - Ec$ A.N. $m_0 = 1292 - 354 = 938\ MeV$.
Il s'agit probablement d'un neutron. Sa charge doit être neutre (conservation de la charge).