

مصادم الجسيمات الضخم

الرجاء قراءة التعليمات العامة الموجودة ضمن ظرف منفصل قبل البدء بحل هذه المسألة.

سوف نناقش في هذا العمل فيزياء مصادم الجسيمات الضخم LHC (أو المصادم الهادروني الضخم)، وهو جزء من CERN أكبر مخبر لفيزياء الجسيمات العالم. حيث تتركز مهمته الأساسية في البحث في القوانين الأساسية للطبيعة. يتم تسريع حزمتين من الجسيمات لطاقات عالية، ويتم تحديد مسارها ضمن حلقة المسرع باستخدام حقل مغنطيسي قوي، ثم نجعلها تتصادم ببعضها. لا تتوزع البروتونات بانتظام على محيط المسرع، ولكنها تسير ضمن مجموعات نسميها الباقات.

يتم عندها دراسة الجسيمات الناتجة عن التصادم بواسطة كواشف ضخمة.

نجد في الجدول 1 بعض مميزات المصادم LHC .

حلقة LHC	
26659 m	محيط الحلقة
2808	عدد مجموعات البروتونات في كل حزمة بروتونات
1.15×10^{11}	عدد البروتونات ضمن كل باقة (مجموعة بروتونات)
	حزم البروتونات
7.00 TeV	طاقة البروتون
14.0 TeV	طاقة مركز الكتلة

الجدول 1 : قيم مميزة لبعض معاملات LHC

نستخدم في فيزياء الجسيمات وحدات مناسبة لكل من الطاقة، كمية الحركة و الكتلة: تقاس الطاقة بالالكترون فولت eV . تعريفاً 1 eV هو الطاقة التي يكتسبها جسيم شحنته هي الشحنة الأولية e عندما يعبر فرق كمون قدره فولت واحد.

$$1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ kg m}^2/\text{s}^2$$

تقاس كمية الحركة بالوحدة eV/c و الكتلة بالوحدة eV/c²، حيث c هي سرعة الضوء. بما أن وحدة 1 eV هي وحدة صغيرة بالنسبة لفيزياء الجسيمات، يستخدم الفيزيائيون في هذا المجال عادةً MeV (حيث 1 MeV = 10⁶ eV) و GeV (حيث 1 GeV = 10⁹ eV) و TeV (حيث 1 TeV = 10¹² eV).

يعالج الجزء A تسريع البروتونات أما الجزء B فيعالج تحديد طبيعة الجسيمات الناتجة عن التصادم في CERN .

الجزء A . المسرع LHC

التسارع

لنقبل أن البروتونات قد تم تسريعها بفرق كمون V لسرعة قريبة جداً من سرعة الضوء، و سوف نهمل كل ضياع للطاقة ناتج عن الإشعاع أو التصادم مع الجسيمات الأخرى.

0.7pt

A.1 أوجد عبارة السرعة النهائية للبروتونات v بدلالة كمون التسريع V و الثوابت الفيزيائية.

ضمن تصميم لتجربة جديدة في CERN سيتم استخدام البروتونات من LHC لتصادم بالكترونات طاقتها 60.0 GeV

0.8pt

A.2 يكون الانحراف النسبي للسرعة النهائية v عن سرعة الضوء $\Delta = (c - v)/c$ بالنسبة للجسيمات ذات الطاقة العالية و الكتلة الصغيرة، صغير جداً. أوجد تقريباً من المرتبة الأولى للانحراف Δ و احسب Δ لكترونات طاقتها 60.0 GeV. و ذلك باستخدام فرق كمون التسريع V و الثوابت الفيزيائية.

عد حالياً إلى البروتونات في LHC. نفترض أن الأنبوب الحاوي على الحزمة اسطواني الشكل.

- A.3** اشتق عبارة لكثافة التدفق المغنطيسي B اللازم للحفاظ على حزمة البروتونات على مسار دائري. يجب أن تحتوي العبارة على طاقة البروتون E , المحيط L , الثوابت الأساسية و أرقام فقط. يمكنك استخدام بعض التقريبات المناسبة إذا كان تأثيرها أصغر من الدقة التي يعطيها الرقم الأصغر بين الأرقام المعنوية. احسب كثافة التدفق المغنطيسي B لبروتون طاقته $E = 7.00 \text{ TeV}$ و ذلك بإهمال الالتأثير المتبادل بين البروتونات.
- 1.0pt

طاقة الإشعاع

يشع الجسم المشحون عند تسريعه طاقة على شكل أمواج كهرومغناطيسية.. تتعلق استطاعة الإشعاع P_{rad} لجسيم مشحون و الذي يسير بسرعة زاوية ثابتة بتسارعه a , شحنته q , سرعة الضوء c و سماحية الخلاء ϵ_0 فقط.

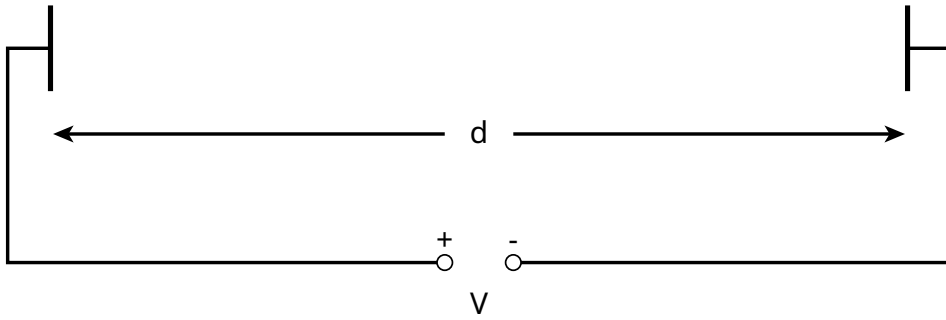
- A.4** استخدم تحليلاً للابعاد لتجد عبارة لاستطاعة الإشعاع P_{rad} .
- 1.0pt

تحتوي العبارة الدقيقة لاستطاعة الإشعاع على المعامل $1/(6\pi)$, أيضاً, يعطي الاشتقاق النسبي الدقيق معاملاً ضرب إضافي γ^4 , حيث $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-\frac{1}{2}}$.

- A.5** احسب P_{tot} استطاعة الإشعاع الكلية في LHC, و ذلك من أجل طاقة للبروتون قدرها $E = 7.00 \text{ TeV}$ (انتبه للرجول 1). يمكنك استخدام تقريبات مناسبة.
- 1.0pt

يتم في CERN تسريع بروتونات في وضع السكون باستخدام مسرع خطي طوله $d = 30.0 \text{ m}$ و ذلك بواسطة فرق كمون قدره $V = 500 \text{ MV}$. نفترض أن الحقل الكهربائي منتظم. المسرع الخطي هو عبارة عن صفيحتين مستويتين كما هو مبين في الشكل 1.

- A.6** احسب الزمن T اللازم للبروتونات لتعبر هذا الحقل الكهربائي.
- 1.5pt



الشكل 1: رسم تمثيلي للمسرّع.

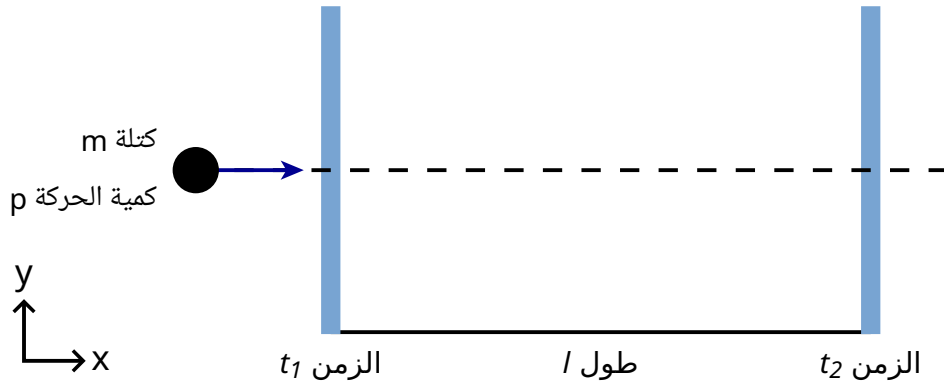
الجزء B. تحديد طبيعة الجسيمات

زمن الطيران

من المهم جداً أن نحدد طبيعة الجسيمات ذات الطاقة العالية الناتجة عن التصادم لكي نتضمن من فهم التفاعل الحاصل. هناك طريقة بسيطة تعتمد على قياس الزمن t اللازم لجسيم كمية حركته معروفة ليعبر مسافة l ، وذلك ضمن كاشف يدعى بكاشف زمن الطيران (TOF). الجسيمات التي يتم تحديدها عادةً في هذا الكاشف مذكورة في الجدول 2 مع كتلتها.

الكتلة [MeV/c ²]	الجسيم
1876	ديوترون
938	بروتون
494	كاوون
140	بيون مشحون
0.511	الالكترون

الجدول 2: الجسيمات و كتلتها



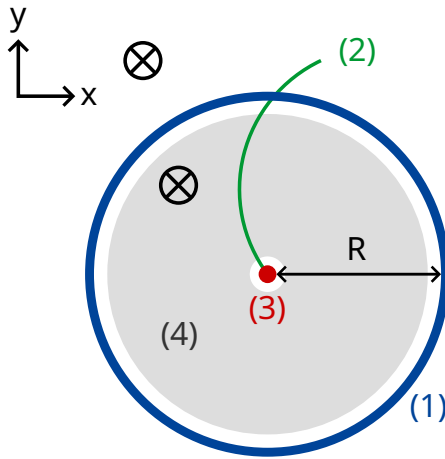
الشكل 2: شكل مبسط عن كاشف زمن الطيران.

B.1 استنتج عبارة لكتلة الجسيم m بدلالة كمية الحركة p ، مسافة الطيران l و زمن الطيران t ، وذلك بفرض أن f أن الجسيمات ذات الشحنة الأولية e تحلق بسرعة قريبة من سرعة الضوء c وبمسارات مستقيمة ضمن الكاشف TOF و أن مساراتها عمودية على المستويين الذين يتحسسان مرورهما (انظر الشكل 2).

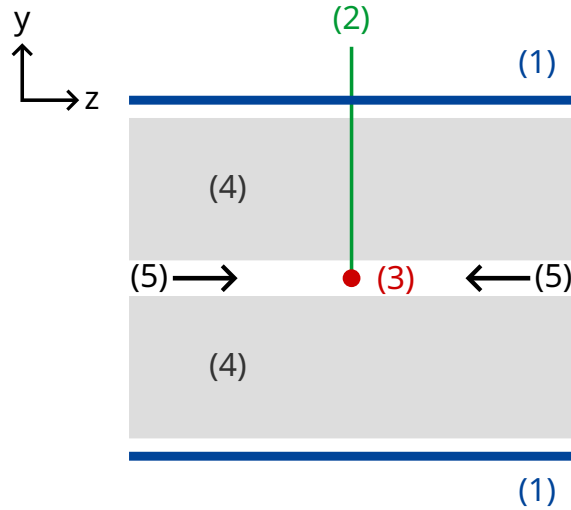
0.8pt

B.2 احسب الطول الأصغري l لكاشف ToF والذي يسمح بالتمييز بين الكايون و البيون المشحون بشكل دقيق و 0.7pt ذلك حين تكون كمية الحركة لكل منهما $1.00 \text{ GeV}/c$. من أجل فصل جيد يجب أن يكون الفرق بزمن الطيران بين كلا الجسيمين أكبر بثلاث مرات من أصغر زمن يمكن للكاشف قياسه (دقة الكاشف). تعطى دقة كاشف ToF بالقيمة: 150 ps ($1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$)

فيما يلي، يتم تحديد طبيعة الجسيمات الناتجة في LHC بواسطة كاشفين، كاشف يعطي المسار و كاشف آخر ToF يعطي زمن الطيران. يوضح الشكل 3 ذلك ضمن مستوي معامد و مستوي موازي لحزمة البروتونات. كلا الكاشفين هما على شكل أنبوب يحيط بمنطقة التصادم حيث تمر الحزمة في وسط الأنبوب. يحدد كاشف المسار، مسار جسيم مشحون و الذي يمر ضمن حقل مغنطيسي موازي لحزمة البروتونات. تسمح معرفة نصف قطر المسار r بمعرفة مركبة كمية حركة الجسيم في الاتجاه المعامد على الحزمة p_T . و بما أن زمن حصول التصادم معروف فإنه لا يلزم لكاشف ToF إلا أنبوب واحد لقياس زمن الطيران (أي الزمن بين التصادم و الوصول إلى أنبوب الكاشف). يتوضع هذا الأنبوب خارج كاشف تحديد المسار. سوف نفترض هنا أن كل الجسيمات الناتجة عن التصادم تتحرك بشكل معامد لحزمة البروتونات، مما يعني أن مركبة كمية حركة هذه الجسيمات في الاتجاه الموازي للحزمة معدومة.



المقطع المعامد



المقطع الموازي لحزمة البروتونات
عند مركز الأنبوب

- (1) - أنبوب ToF
- (2) - مسار الجسيم
- (3) - نقطة التصادم
- (4) - أنبوب كاشف المسار
- ⊗ الحقل المغنطيسي

الشكل 3. تجربة تحديد طبيعة الجسيمات و التي تحتوي على كاشف المسار و كاشف زمن الطيران ToF الكاشفان عبارة عن أنابيب تحيط بمنطقة التصادم التي تقع تماماً في الوسط. إلى اليسار: مقطع معامد على حزمة البروتونات. إلى اليمين: مقطع موازي لحزمة البروتونات. الجسيم الناتج عن التصادم يمشي بالاتجاه العمودي على حزمة البروتونات.

B.3 أوجد عبارة كتلة الجسم بدلالة كثافة تدفق الحقل المغنطيسي B , نصف قطر كاشف زمن الطيران R , 1.7pt الثوابت الاساسية و المقادير المقاسة: نصف قطر المسار r و زمن الطيران t .

لقد كشفنا عن أربع جسيمات و نريد تحديد طبيعتها. كثافة تدفق الحقل المغنطيسي تساوي $B = 0.500 \text{ T}$. نصف قطر أنبوب كاشف زمن الطيران يساوي $B = 0.500 \text{ T}$. و القياسات مبينة أدناه ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$):

زمن الطيران [ns] t	r [m]	الجسيم
20	5.10	A
14	2.94	B
18	6.06	C
25	2.31	D

B.4 حدد طبيعة الجسيمات الأربعة بحساب كتلة كل منها. 0.8pt