

مصادم الهادرونات الكبير (10 درجات)

يرجى قراءة التعليمات العامة الموجودة في المظروف المنفصل قبل البدء في هذه المسألة.

في هذا السؤال، تتم مناقشة فيزياء معجلات (مسرعات) الجسيمات LHC (مصادم الهادرونات الكبير) في سيرن. سيرن هو أكبر مختبر لفيزياء الجسيمات في العالم. هدفه الرئيسي هو الحصول على نظرة فاحصة للقوانين الأساسية للطبيعة. وفي هذا المصادم يتم تسريع (تعجيل) شعاعين من الجسيمات إلى طاقات عالية، ثم توجيههما حول حلقة المسرع (المعجل) بواسطة حقل مغناطيسي قوي بحيث تتصادم مع بعضها البعض. البروتونات لا تنتشر بشكل منتظم على محيط المعجل (المسارع) ولكنها تتجمع فيما يُسمى عنقود (حزمة) ويمكن ملاحظة الجسيمات الناتجة عن التصادم بواسطة كواشف جسيمات كبيرة الحجم. يمكن الحصول على بعض المعلومات (المتغيرات) عن LHC في الجدول 1.

حلقة مصادم الهادرونات الكبير	
26659 m	محيط الحلقة
2808	عدد العناقيد (الحزم) في شعاع البروتون
1.15×10^{11}	عدد البروتونات لكل عنقود (حزمة)
شعاع البروتونات	
7.00 TeV	طاقة البروتون
14.0 TeV	طاقة مركز الكتلة

الجدول 1: قيم عددية نموذجية للمتغيرات (المعلومات) ذات الصلة بالمصادم.

يستخدم فيزيائيو الجسيمات وحدات مناسبة للطاقة، وكمية الحركة والكتلة: تقاس الطاقة بالإلكترون فولت eV. حسب التعريف، الإلكترون فولت eV هو كمية الطاقة التي يكتسبها جسيم شحنته تساوي شحنة الإلكترون، e، عند انتقاله خلال فرق جهد يساوي واحد فولت = $1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$.

يتم قياس كمية الحركة بوحدة (eV/c) والكتلة بوحدة (eV/c²) حيث c هي سرعة الضوء في الفراغ. وحيث أن 1 eV هي كمية صغيرة جداً من الطاقة، فغالبا ما يستخدم علماء فيزياء الجسيمات المليون إلكترون فولت (1 MeV = 10⁶ eV) أو الجيجا إلكترون فولت (1 GeV = 10⁹ eV) أو التيرا إلكترون فولت (1 TeV = 10¹² eV).

الجزء A: يتعلق بفكرة تسريع (تعجيل) البروتونات أو الإلكترونات. أما الجزء B: فيختص بالتعرف على الجسيمات التي تنتج من التصادم في مختبر سيرن.

الجزء A: مسارع (معجل) مصادم الهادرونات الكبير (6 درجات)

التسريع (التعجيل):

افتراض أن البروتونات تم تعجيلها بواسطة جهد V بحيث أصبحت سرعتها قريبة جداً من سرعة الضوء، وإهمل أي فقدان في الطاقة نتيجة للإشعاع أو التصادم مع جزيئات أخرى.

A.1 أوجد التعبير الرياضي السليم للسرعة النهائية v للبروتونات كدالة في جهد التعجيل (التسريع) V، والثوابت 0.7pt الفيزيائية.

يتم حالياً تصميم تجربة مستقبلية في سيرن بهدف استخدام البروتونات من مصادم الهادرونات الكبير LHC لتصادم مع إلكترونات ذات طاقة 60.0 GeV.

A.2 للجسيمات ذات الطاقة العالية والكتلة الصغيرة يكون الانحراف النسبي $\Delta = (c - v)/c$ للسرعة النهائية v 0.8pt
عن سرعة الضوء صغيراً جداً. أوجد التقريب (التقدير) من الدرجة الأولى لـ Δ واحسب Δ لالكترونات طاقتها
60.0 GeV مستخدماً جهد التعجيل V والنوابت الفيزيائية.

بالرجوع مرة أخرى إلى البروتونات في مصادم الهادرونات الكبير LHC. بفرض أن أنبوب الشعاع له شكلاً دائرياً.

A.3 اشتق (أوجد) تعبيراً رياضياً لكثافة المجال المغناطيسي المنتظم B الضرورية لجعل شعاع البروتونات يتحرك
في مسار دائري. على أن يحتوي التعبير الرياضي فقط على طاقة البروتون E ، محيط المسار الدائري L ،
ثوابت الفيزياء والأعداد. يمكنك أن تستخدم التقريبات (التقديرات) المناسبة إذا كان تأثيرها أصغر من الدقة
الموجودة في أقل الأرقام المعنوية.
احسب كثافة المجال المغناطيسي B لبروتون طاقته $E = 7.00 \text{ TeV}$ مع إهمال التفاعل بين البروتونات.

القدرة الإشعاعية

الجسيمات المشحونة التتم يتم تعجيلها (تسريعها) تُشع طاقة على شكل موجات كهرومغناطيسية. القدرة الإشعاعية P_{rad} للجسيمات المشحونة
التي تتحرك في مسار دائري بسرعة زاوية ثابتة تعتمد فقط على التسارع (العجلة) a ، والشحنة q ، وسرعة الضوء c ، والنفاذية (السماحية) الكهربائية
للغلاف ϵ_0 .

A.4 استخدم تحليل الأبعاد لإيجاد تعبيراً رياضياً للقدرة الإشعاعية P_{rad} . 1.0pt

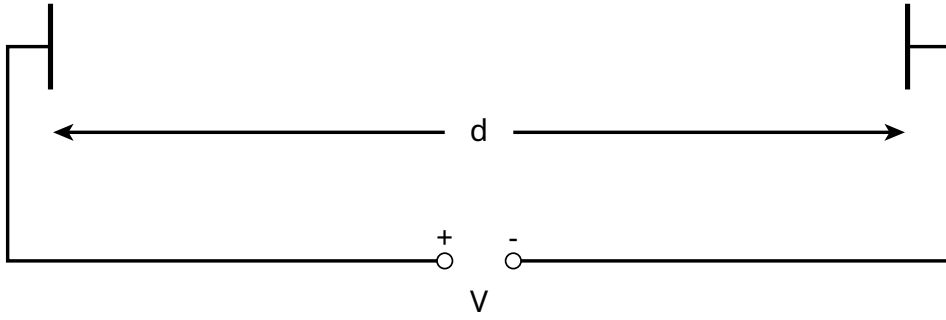
المعادلة (التعبير الرياضي) الحقيقية للقدرة الإشعاعية تحتوي على العامل $1/(6\pi)$: علاوة على ذلك، فإن الاشتقاق النسبي الكامل يعطي العامل
الاضافي المضاعف γ^4 حيث أن $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$

A.5 احسب القدرة الإشعاعية الكلية P_{tot} لمصادم الهادرونات الكبير LHC لبروتون طاقته $E = 7.00 \text{ TeV}$ (انظر الجدول رقم 1). يمكنك استخدام التقريبات (التقديرات) المناسبة. 1.0pt

التسارع (العجلة) الخطي

في سيرن، يتم تسريع (تعجيل) البروتونات الساكنة بمسارع (معجل) طوله $d = 30.0 \text{ m}$ خلال فرق جهد $V = 500 \text{ MV}$. بفرض أن المجال
الكهربي متجانس. يتكون المعجل (المسارع) من اثنين من الألواح كما هو موضح بالرسم التخطيطي رقم 1.

A.6 احسب الزمن T الذي يقطعه البروتون خلال هذا المجال 1.5pt



مخطط لوحدة المسارع (المعجل)

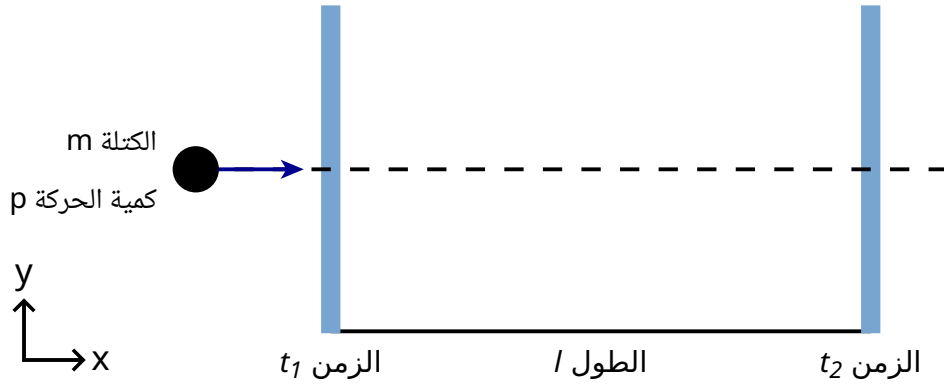
الجزء B: التعرف على الجسيمات (4 درجات)

وقت الرحلة

من المهم التعرف على الجسيمات عالية الطاقة التي يتم توليدها من عملية التصادم لتفسير عملية التفاعل. هناك طريقة بسيطة وهي قياس الزمن الذي يحتاجه جسيم كمية الحركة له معلومة ويحتاج لمسار طوله فيما يسمى بكاشف زمن الرحلة. الجسيمات المثالية التي يتم التعرف عليها باستخدام الكاشف وكذلك كتلة كل منها موجودة في الجدول رقم 2.

الكتلة [MeV/c ²]	الجسيم
1876	Deuteron
938	Proton
494	Kaon charged
140	Pion charged
0.511	Electron

الجدول 2: الجسيمات وكتلة كل منها



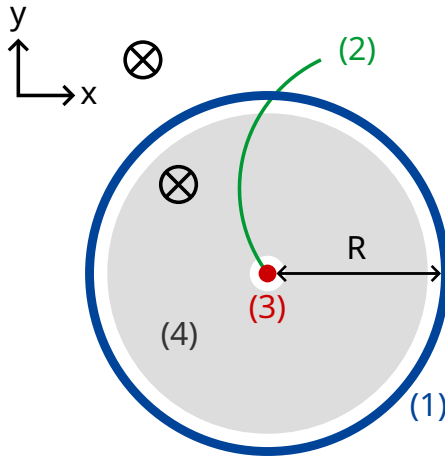
رسم تخطيطي لكاشف زمن الرحلة

B.1 أوجد تعبيراً رياضياً للكتلة m للجسيم كدالة في كمية الحركة p ، طول الرحلة l ، وزمن الرحلة t ، بفرض أن الجسيمات لديها الشحنة الأولية e (شحنة الإلكترون) وتتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء c في مسار مستقيم في كاشف زمن الرحلة وتتحرك عمودياً على مستويات الكشف (انظر الشكل 2)

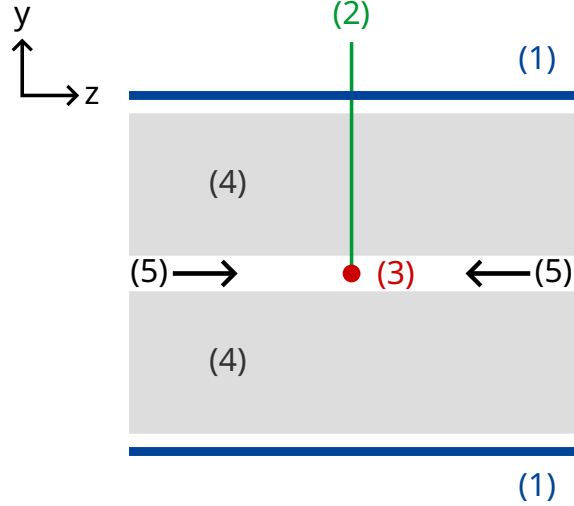
0.8pt

B.2 احسب أقل طول l لكاشف زمن الرحلة الذي يسمح بطريقة آمنة بالتمييز بين π^+ و K^+ **0.7pt**
لهما نفس كمية الحركة $1.00 \text{ GeV}/c$ ، للفصل الجيد بينهما يتطلب فرق (اختلاف) في زمن الرحلة أكبر
ثلاث مرات من زمن تحليل الكاشف. التحليل المثالي لكاشف زمن الرحلة هو 150 ps ($1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$).

فيما يلي، الجسيمات المتولدة في كاشف مصادم الهادرونات الكبير LHC يتم التعرف عليها بكاشف ذو مرحلتين يتكون من كاشف تتبع وكاشف زمن الرحلة. الشكل رقم 3 يوضح مقطع عرضي ومقطع طولي لشعاع البروتون. كلا الكاشفين عبارة عن أنبوبين يُحيطان بمنطقة التفاعل التي يمر بها الشعاع في منتصف الأنبوبين. كاشف التتبع يقيس مسار الجسيم المشحون الذي يمر خلال المجال المغناطيسي والذي اتجاهه موازي لشعاع البروتون. معرفة نصف قطر المسار r تسمح بتحديد كمية الحركة المستعرضة (في اتجاه المقطع العرضي) p_T للجسيم. وبما أن زمن التصادم معروف فإن كاشف زمن الرحلة يحتاج فقط لأنبوب واحد لقياس زمن الرحلة وهو الزمن المقاس من نقطة التصادم وحتى أنبوبة كاشف زمن الرحلة. وهذا الأنبوب يوضع مباشرة خارج غرفة التتبع. في هذا السؤال يمكنك افتراض أن جميع الجسيمات التي يتم إنتاجها بواسطة التصادم تتحرك عمودياً على شعاع البروتون، وهذا يعني أن الجسيمات الناتجة (المتولدة) ليس لديها كمية حركة على طول اتجاه أشعة البروتونات..



المستوى العرضي



المقطع العرضي

المنظر الطولي في المركز
على طول خط الشعاع للأنبوب

- (1)- أنبوبة كاشف زمن الرحلة
- (2)- المسار
- (3)- نقطة التصادم
- (4)- أنبوب التتبع
- (5)- أشعة البروتونات
- ⊗ ⊗ - المجال المغناطيسي

الشكل رقم 3: اعدادات التجربة للتعرف على الجسيم موضحاً بها غرفة التتبع وكاشف زمن الرحلة. الكاشفين عبارة عن أنبوبين يحيطان بنقطة التصادم في المنتصف. على اليسار: منظر مستعرض (عرضي) عمودياً على خط الشعاع. على اليمين: منظر طولي موازياً لخط الشعاع. الجسيم يتحرك عمودياً على خط الشعاع.

B.3 أوجد تعبيراً رياضياً لكتلة الجسيم بدلالة كثافة المجال المغناطيسي B ، ونصف قطر R أنبوبة كاشف زمن الرحلة، الثوابت الأساسية في الفيزياء، والكميات المقاسة: نصف القطر r للمسار وزمن الرحلة t . **1.7pt**

تم اكتشاف أربعة جسيمات مختلفة ونريد التعرف على كل منهم. كثافة المجال المغناطيسي في كاشف التتبع $B = 0.500 \text{ T}$ ، ونصف قطر أنبوبة كاشف زمن الرحلة R يساوي 3.70 m وكانت القياسات $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$:

الجسيم	نصف قطر المسار r [m]	زمن الرحلة t [ns]
A	5.10	20
B	2.91	14
C	6.06	18
D	2.31	25

B.4 احسب كتل الجسيمات الأربعة للتعرف على كل منهم **0.8pt**