

مصادم الهادرونات العملاق (10 علامات)

رجاءاً أقرأ التعليمات العامة في المغلف المنفصل قبل البدء بهذا السؤال.

في هذه المهمة، سندرس الفيزياء الخاصة بمعجل الجسيمات (Large Hadron Collider) في CERN. إن CERN هي أكبر مختبر فيزياء الجسيمات في العالم. ويهدف إلى التبصر في القوانين الأساسية للطبيعة. يتم تعجيل حزمتين من الجسيمات إلى طاقات عالية، و تسييرها حول حلقة المعجل بمجال مغناطيسي قوي جداً ثم جعلها تتصادم مع بعض. لا تتوزع البروتونات بشكل منتظم على طول محيط المعجل ولكنها تتجمع فيما يسمى دفقات (bunches). يتم رصد الجسيمات الناتجة من التصادم بكواشف كبيرة. يعطي الجدول table 1 بعض المعاملات الخاصة بـ LHC.

حلقة LHC	
26659 m	محيط الحلقة
2808	عدد الدفقات لكل حزمة بروتون
1.15×10^{11}	عدد البروتونات في كل دفقة
حزم البروتونات	
7.00 TeV	طاقة البروتونات
14.0 TeV	طاقة مركز الكتلة

جدول 1: قيم عددية نموذجية لمعاملات LHC ذات الصلة.

يستخدم فيزيائيو الجسيمات وحدات مناسبة للطاقة، كمية الحركة و الكتلة: الطاقة تقاس بالإلكترون فولت [eV]. بالتعريف فإن 1 eV هي كمية الطاقة التي يكتسبها جسيم يحمل الشحنة الأولية، e، عندما يتحرك خلال فرق جهد واحد فولت ($1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$).

تقاس كمية الحركة بوحدة eV/c و الكتلة بوحدة eV/c² حيث أن c هي سرعة الضوء في الفراغ. ولأن 1 eV هي كمية صغيرة جداً من الطاقة فإن فيزيائيو الجسيمات عادة ما يستخدمون MeV ($1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$)، GeV ($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$) أو TeV ($1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$).

يتعامل الجزء A مع تسارع البروتونات أو الإلكترونات. و يهتم الجزء B بكشف حقيقة الجسيمات الناتجة من التصادمات في CERN.

جزء A: معجل LHC (علامات 6)

التسارع :

افتراض أنه تم تعجيل البروتونات بفرق جهد V بحيث أن سرعتها قريبة جداً من سرعة الضوء و أهمل أي ضياع في الطاقة نتيجة للإشعاع أو التصادم مع جزيئات أخرى.

A.1 أوجد التعبير الرياضي الصحيح للسرعة النهائية v للبروتونات كدالة بالجهد المعجل V و الثوابت الفيزيائية. **0.7pt**

هنالك تصميم لتجربة مستقبلية في CERN يخطط لاستخدام بروتونات من LHC و جعلها تتصادم مع إلكترونات ذات طاقة 60.0 GeV.

A.2 بالنسبة للجسيمات ذات طاقة عالية و كتلة منخفضة يكون الانحراف النسبي $\Delta = (c - v)/c$ للسرعة النهائية v من سرعة الضوء صغير جداً. أوجد تقدير الدرجة الأولى لـ Δ و احسب Δ لإلكترونات ذات طاقة 60.0 GeV باستخدام الجهد المعجل V و ثوابت فيزيائية (الصفحة 3 في ورقة التعليمات). **0.8pt**

نعود الآن إلى البروتونات في الـ LHC. افتراض أن شكل أنبوب الحزمة دائري وبالتالي البروتونات تتحرك في مسار دائري .

- A.3** اشتق تعبير رياضي لكثافة الفيض المغناطيسي المنتظم (شدة المجال المغناطيسي) B الضرورية لإبقاء حزمة الإلكترونات في مسار دائري. يجب أن يحتوي التعبير الرياضي فقط على طاقة البروتونات E المحيط L ، ثوابت أساسية و أرقام. يمكنك استخدام تقريبات مناسبة إذا كان أثرها أقل من الدقة المعطاة بأقل عدد من الخانات المعنوية.
أحسب كثافة الفيض المغناطيسي (شدة المجال المغناطيسي) B لبروتون بطاقة $E = 7.00 \text{ TeV}$ ، باهمال التفاعل بين البروتونات.

الطاقة المشعة:

يقوم الجسم المشحون المعجل بإشعاع طاقة على شكل أمواج كهرومغناطيسية. تعتمد القدرة المشعة P_{rad} لجسيم مشحون يدور بسرعة زاوية ثابتة فقط على تسارعه a ، شحنته q ، سرعة الضوء c و السماحية الكهربائية للفراغ ϵ_0 .

- A.4** استخدم تحليل الأبعاد (الوحدات) لإيجاد تعبير رياضي للقدرة المشعة P_{rad} .

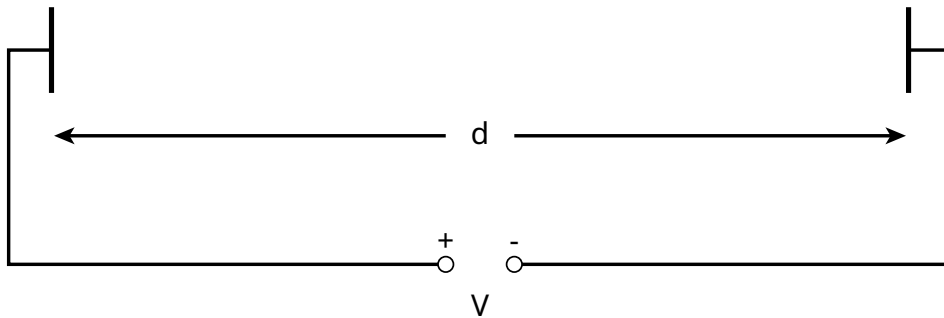
المعادلة الحقيقية للقدرة المشعة تحتوي معامل $1/(6\pi)$ ؛ إضافة إلى ذلك فإن اشتقاق نسبي كامل يعطي معامل ضرب إضافي γ^4 ، حيث $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-\frac{1}{2}}$.

- A.5** احسب القدرة الكلية المشعة لـ LHC لبروتون بطاقة $E = 7.00 \text{ TeV}$ (لاحظ جدول 1). يمكنك استخدام تقريبات مناسبة.

التسارع الخطي

في CERN، يتم تعجيل البروتونات من مرحلة السكون بمعجل خطي بطول $d = 30.0 \text{ m}$ خلال فرق جهد $V = 500 \text{ MV}$. افرض أن المجال الكهربائي متجانس. المعجل الخطي يتكون من صفيحتين كما يبدو في الرسم التوضيحي في شكل 1.

- A.6** حدد الزمن T الذي تأخذه البروتونات لتمر خلال هذا المجال.



شكل 1: رسم توضيحي لوحدة معجل خطي

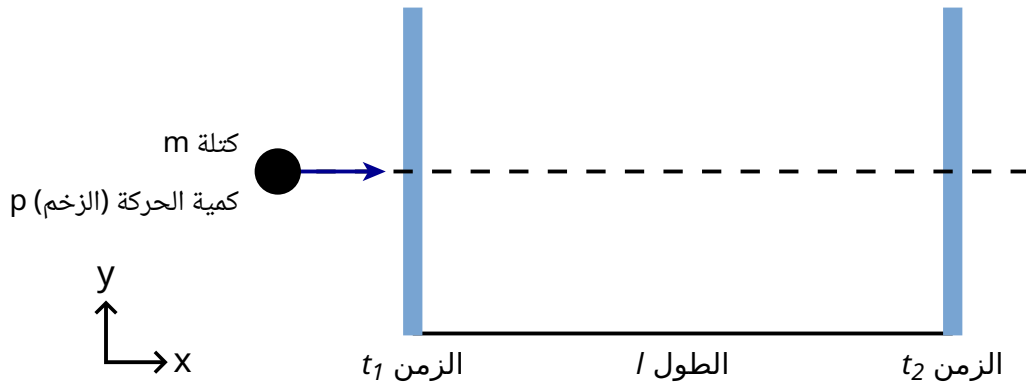
جزء B: كشف حقيقة الجسيمات (4 علامات)

زمن التحليق:

من المهم أن نتعرف على الجسيمات ذات الطاقة العالية التي تنتج في التصادم وذلك بهدف فهم عملية التفاعل. وهناك طريقة بسيطة وتتم من خلال قياس الزمن (t) لجسيم ذي كمية حركة معروفة ويمر مسافة l فيما يسمى زمن التحليق للكاشف (ToF). يعطي الجدول 2 قائمة لجسيمات نموذجية تم التعرف عليها في الكاشف مع كتلة كل منها.

الكتلة [MeV/c ²]	الجسيم
1876	ديوترون Deuteron
938	بروتون Proton
494	كايون مشحون Kaon charged
140	بايون مشحون Pion charged
0.511	إلكترون Electron

جدول 2: جسيمات وكتلتها



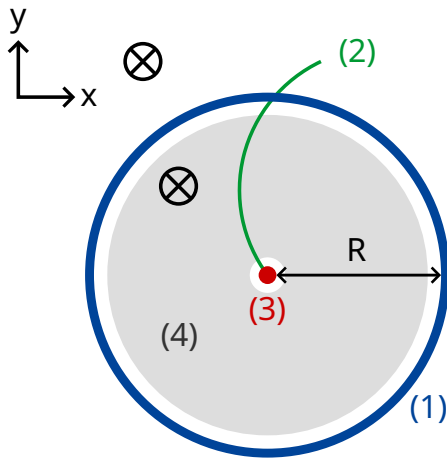
شكل 2: منظر تخطيطي لكاشف زمن التحليق.

B.1 عبر عن كتلة الجسيم السكونية m كدالة بكمية الحركة p ، مسافة التحليق l ، وزمن التحليق t ، وبفرض أن شحنة الجسيمات هي الشحنة الأولية e و أنها تتحرك بسرعة قريبة من c في مسارات مستقيمة داخل كاشف ToF وأنها تتحرك بشكل عمودي على مستويي الكشف (انظر شكل 2).

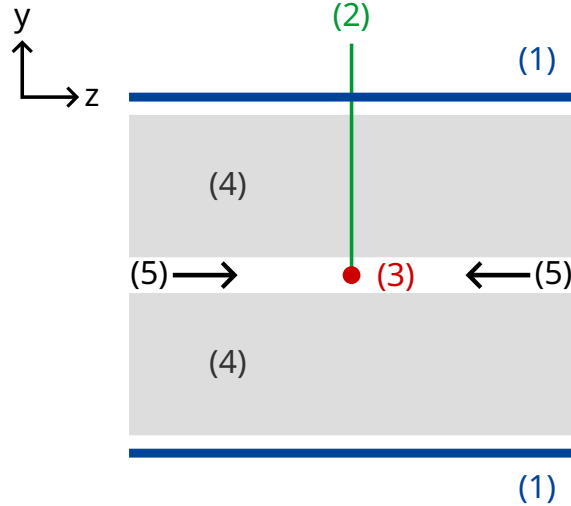
0.8pt

B.2 احسب أقل طول l لكاشف ToF والذي يسمح بالتمييز بشكل موثوق بين كايون مشحون (charged kaon) 0.7pt و بايون مشحون (charged pion) مع أن كل منهما يمتلك كمية حركة مقاسة $1.00 \text{ GeV}/c$. وللحصول على فصل جيد يلزم أن يكون الفرق في زمن التحليق أكبر من ثلاث مرات من زمن الدقة للكاشف. الزمن النموذجي لدقة لكاشف ToF هو 150 ps ($1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$).

فيما يلي، يتم التعرف على الجسيمات الناتجة في كاشف LHC نموذجي (مثالي) ذي مرحلتين يتكون من كاشف متتبع و كاشف ToF. يوضح شكل 3 الترتيب في المستوى العرضي والمستوى الطولي لحزم البروتونات. وكل واحد من هذه الكواشف هو عبارة عن أنبوب يحيط بنطاق التفاعل مع كون الحزمة تتحرك في منتصف الأنبوب. يقيس كاشف التتبع مسار الجسيم المشحون الذي يمر خلال مجال مغناطيسي يكون اتجاهه موازياً لحزم البروتونات. نصف قطر المسار r يسمح بتحديد كمية الحركة العرضية للجسيم p_T . وحيث ان زمن التصادم معروف عن طريق الكاشف المتتبع فيحتاج كاشف ToF إلى أنبوب واحد فقط لقياس زمن التحليق و الذي يتم قياسه من نقطة التصادم إلى أنبوب ToF و الموضوع خارج غرفة التتبع مباشرة. لهذا الغرض يمكن افتراض أن جميع الجسيمات الناتجة من التصادم تتحرك بشكل عمودي على حزم البروتونات، والذي يعني ان الجسيمات الناتجة لا تمتلك كمية حركة طولية.



مستوى عرضي



مقطع عرض في

منظر طولي عند المركز

امتداد خط الحزمة في الأنبوبة

(1) - أنبوب ToF

(2) - مسار

(3) - نقطة تصادم

(4) - أنبوب تتبع

(5) - حزم بروتونات

⊗ - مجال مغناطيسي

شكل 3: ترتيب التجربة لتحقيق من الجسيمات بغرفة التتبع و كاشف ToF. كلا الكاشفين هما عبارة عن أنابيب تحيط بنقطة التصادم التي تكون في المنتصف. إلى اليسار: منظر عرضي عمودي على خط الحزمة، إلى اليمين: منظر طولي موازي لخط الحزمة. يتحرك الجسيم عمودياً على خط الحزمة.

B.3 عبر عن كتلة الجسيم بدلالة كثافة الفيض المغناطيسي B ، نصف القطر R لأنبوب ToF، الثوابت الأساسية و 1.7pt الكميات المقاسة: نصف قطر المسار r و زمن التحليق t .

كشفنا عن أربعة جسيمات ونريد أن نعرف ما هي. كثافة الفيض المغناطيسي في كاشف التتبع هي $B = 0.500\text{ T}$. نصف القطر R لأنبوب ToF هي 3.70 m ، وفيما يلي القياسات ($1\text{ ns} = 10^{-9}\text{ s}$):

جسيم	نصف قطر المسار r [m]	زمن التحليق t [ns]
A	5.10	20
B	2.94	14
C	6.06	18
D	2.31	25

B.4 تعرف على الجسيمات الأربعة بحساب كتلتها السكونية. 0.8pt