

Голем хадронски колајдер (10 поени)

Ве молиме прочитајте ги општите инструкции кои ги имате во посебниот плик пред да почнете да ја решавате задавава.

Во оваа задача се разгледува физиката која ги објаснува процесите кај забрзувачот (акцелераторот) на честички, Големiot хадронски колајдер ЛХЦ (Large hadron collider, LHC) кој се наоѓа во ЦЕРН. Целта е со овој акцелератор да се откријат фундаменталните закони во природата. Два снопа од честички се забрзуваат до високи енергии, при што се движат вдолж акцелераторскиот прстен со помош на силно магнетно поле по што двата снопа се судираат. Протоните не се распоредени континуирано вдолж периметарот на прстенот, туку се групирани во таканаречени гроздови од протони. Честичките кои настануваат како резултат на сударите на честичките во сноповите се детектираат со помош на големи детектори. Некои од параметрите на ЛХЦ се дадени во табела 1.

ЛХЦ прстен	
Периметар на прстенот	26659 m
Број на гроздови од протони во секој протонски сноп	2808
Број на протони во секој грозд	1.15×10^{11}
Протонски снопови	
Енергија на протоните во снопот	7.00 TeV
Енергија во системот на центарот на маса	14.0 TeV

Табела 1. Вообичаени нумерички вредности на важните параметри на ЛХЦ

Во физиката на елементарните честички се користат погодни единици за енергија, импулс и маса: Енергијата се изразува во електрон волти [eV]. Енергија од 1 eV е енергијата што ја добива честичка која има елементарен електричен полнеж e , и се движи во простор каде потенцијалната разлика е еден волт ($1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ kg m}^2/\text{s}^2$).

Импулсот се изразува во единиците eV/c додека пак масата во eV/c^2 , каде со c е означена брзината на светлината во вакуум. Бидејќи 1 eV е мало количество на енергија во физиката на елементарни честички често пати се користат: MeV ($1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$), GeV ($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$) или TeV ($1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$).

Во делот А од оваа задача се анализира забрзувањето на протони и електрони. Во делот Б се разгледува идентификацијата на честичките кои се добиваат при сударите во ЦЕРН.

Дел А. ЛХЦ акцелератор (6 поени)

Забрзување:

Претпоставете дека протоните се забрзани под дејство на постојан напон V при што брзината која ја добиваат е приближно еднаква на брзината на светлината. Да се занемарат сите загуби на енергија кои ги имаат протоните поради зрачење или пак судири со други честички.

- | | | |
|------------|---|-------|
| A.1 | Изведете го точниот израз за крајната брзина која ќе ја имаат протоните - v , како функција од напонот под чие дејство се забрзуваат V , и физичките константи. | 0.7pt |
|------------|---|-------|

Во иднина се планира во ЦЕРН да се направи експеримент во кој протоните забрзани од ЛХЦ ќе се судираат со електрони кои ќе имаат енергии од 60.0 GeV.

- A.2** За честички со големи енергии и мали маси релативното отстапување $\Delta = (c - v)/c$ на нивните конечни брзини од брзината на светлината е многу мало. Да се изведе соодветен приближен израз за Δ и да се пресмета Δ за електрони со енергија од 60,0 GeV. 0.8pt

Сега ќе се вратиме на протоните на ЛХЦ. Претпоставете дека цевката (прстенот) по која се движат електроните е со кружен облик.

- A.3** Да се изведе израз со кој ќе може да се пресмета големината на магнетната индукција B на магнетното поле под чие дејство протонскиот сноп се движи по кружна траекторија. Изразот за магнетната индукција треба да ја содржи енергијата на протоните E , периметарот на кружната патека по која се движат протоните L , фундаментални (физички) константи и броеви. Доколку некои членови се многу мали - односно нивниот ефект е помал од последната цифра од бројот на значајни цифри, можеш да направиш и соодветни апроксимации. Пресметај ја магнетната индукција B за протони со енергија $E=7,00$ TeV, занемарувајќи ги интеракциите помеѓу протоните. 1.0pt

Израчена (оддадена) моќност:

Доколку наелектризирана честичка се движи забрзано таа емитира (зрачи) енергија во форма на електромагнетни бранови. Емитираната енергија P_{rad} од наелектризираната честичка која се движи по кружна траекторија со константна аголна брзина зависи од забрзувањето a , полнежот на честичката, q , брзината на светлината c и диелектричната константа на вакуумот ϵ_0 .

- A.4** Со помош на димензионална анализа одредете израз за израчената (емитираната) моќност P_{rad} . 1.0pt

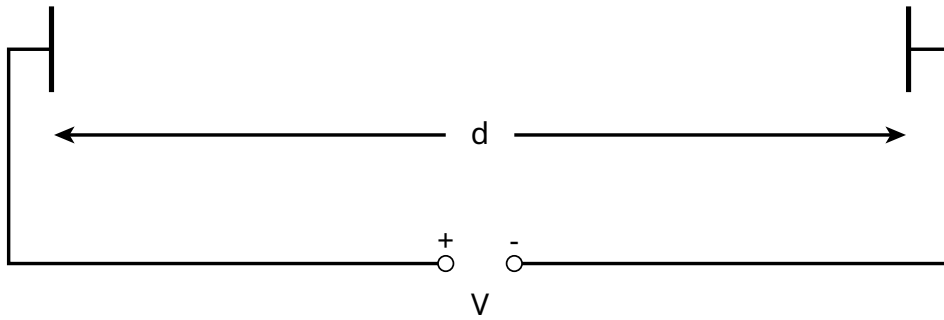
Точната формула за израчената моќност содржи множител $1/(6\pi)$; а исто така ако се направи изведување на изразот користејќи ги и релативистичките ефекти изразот треба да содржи и множител γ^4 , каде $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-\frac{1}{2}}$.

- A.5** Да се пресмета вкупната израчена моќност P_{tot} , на ЛХЦ при судир на два снопа со протони со енергии $E = 7,00$ TeV (Погледни ја табелата 1). Можеш да користиш и соодветни апроксимации. 1.0pt

Линеарно забрзување

Во ЦЕРН, протоните од мирување се забрзуваат со линеарен акцелератор со должина $d = 30,0$ m поминувајќи низ потенцијална разлика од $V = 500$ MV. Да се смета дека електричното поле е хомогено. Линеарниот акцелератор се состои од две електроди како што е прикажан на Слика 1.

A.6 Одреди колкаво време е потребно за протоните да поминат низ просторот во кој владее ова поле. 1.5pt



Слика 1: Скица на линеарниот акцелератор.

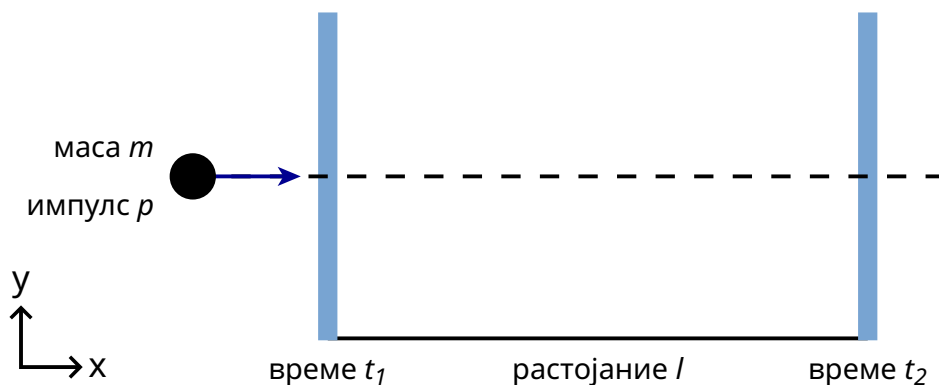
Дел Б. Идентификација на честички (4 поени)

Време на лет

За да се објаснат процесите на заемнодејство потребно е да се идентификуваат високоенергетските честички кои се генерираат во процесот на судири. Едноставен метод на идентификација е да се измери времето (t) кое е потребно честичката со познат импулс да помине растојание l . Ваквото време се нарекува време на лет низ детекторот (Time-of-Flight (ToF) detector). Типични честички кои се идентификуваат во детекторот како и нивните маси се дадени во табела 2.

Честика	Маса [MeV/c^2]
Деутерон	1876
Протон	938
наелектризиран Каон	494
наелектризиран Пион	140
Електрон	0,511

Табела 2: Честички и нивните маси.

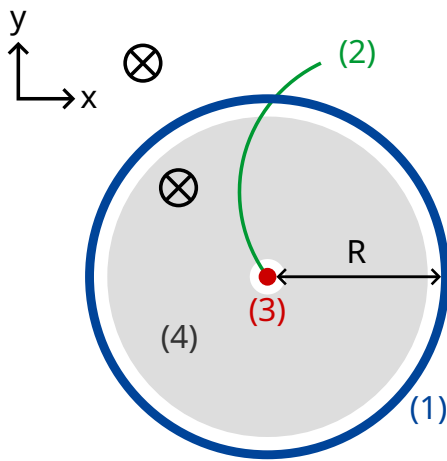


Слика 2: Шематски приказ на времето на летот низ детекторот.

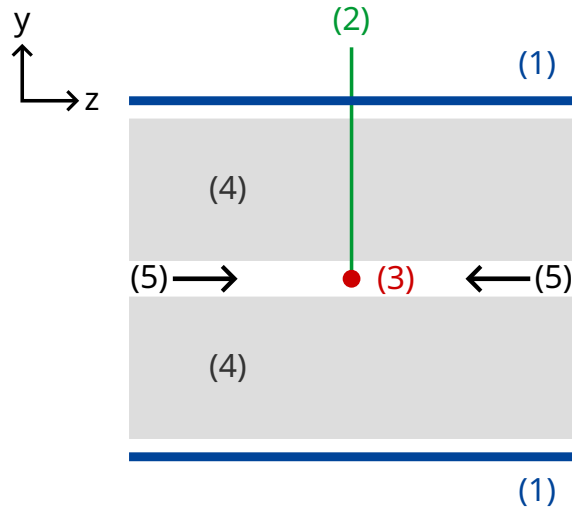
- B.1** Да се изрази масата на мирување m како функција од импулсот p , растојанието l кое честичката го прелетува во детекторот и времето на лет t претпоставувајќи дека честичка поседува елементарен полнеж e и се движи со брзина приближна на c и паѓа на детекторот за одредување време на лет нормално на двете детекторски плочи (како што е прикажано на слика 2). 0.8pt

B.2 Да се пресмета минималната должина l која треба да ја има детекторот за да може до него јасно да се одвојат каон и пион со еднаков импулс кој изнесува $1.00 \text{ GeV}/c$. За да можат овие две честички да се одвојат потребно е времето на летот да биде биде поголемо три пати од времето на резолуција на детекторот. Вообичаено времето на резолуција на детекторот за време на лет изнесува 150 ps ($1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$). 0.7pt

Честичките кои се создаваат кај ЛХЦ се детектираат со двостепен детектор кој се состои од детектор на траги и детектор на време на лет. На сликата 3 е дадена постановката во две рамнини и тоа лонгитудинална и трансферзална на снопот од протони. Двата детектори се во облик на шупливи цилиндри кои ја опфаќаат областа на интеракција. Детекторот на траги ја мери траекторијата на наелектризираната честичка која поминува низ магнетното поле кое е во правец паралелен со правецот на движење на протонските снопови. Ако се одреди радиусот r на траекторијата на честичката која настанала може да се одреди нејзиниот трансферзален импулс p_T . Бидејќи времето во кое настанува сударот е познато детекторот за време на лет е направен само од еден шуплив цилиндар за да може со него да се измери времето на лет. Овај цилиндар е сместен веднаш позади детекторот на траги. Во оваа задача претпоставете дека сите честички создадени за време на судирот се движат нормално на протонските снопови, според тоа тие немаат лонгитудинален импулс.



трансферзална рамнина



лонгитудинална рамнина

вдолж правецот на движење на протони

- (1) Електродата на детекторот за време на лет
- (2) Траекторија
- (3) место на судир
- (4) детектор на траги

Слика 3: Експериментална поставка за идентификација на честичките со детектор на траги и детектор на лет. Двата детектори се шупливи цилиндри кои го опкружуваат местото на судир во средината. Лево: трансферзален пресек нормален на правецот на движење на сноповите, десно: лонгитудинален пресек паралелен на насоката на сноповите. Честичките кои настануваат при судирот се движат нормално на правецот на движење на сноповите од протони.

B.3 Да се изведе израз со кој масата на честичката ќе се претстави како функција од магнетната индукција B , радиусот на цилиндричната цевка на детекторот за време на лет R , фундаменталните константи и величините кои се мерат: радиусот на патеката на новодобиената честичка r и времето на лет t . 1.7pt

Ние сме детектирале четири различни честички и сакаме да ги идентификуваме. Јачината на магнетната индукција во детекторот за траги изнесувала $B = 0.500 \text{ T}$. Радиусот R на детекторот за време на лет изнесува $3,70 \text{ m}$. Резултатите на мерењето се следниве ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$):

Честика	Радиус r [m]	Време на лет t [ns]
A	5,10	20
B	2,91	14
	6,06	18
D	2,32	25

B.4 Со пресметување на нивната маса идентификувај ги четирите честички. 0.8pt