

Մեծ ադրոդային կոլլայդեր (10 միավոր)

Խնդրում ենք այս խնդիրը լուծելուց առաջ կարդացեք ընդհանուր ցուցումները:

Այս խնդրում քննարկվում է ֆիզիկան, որը օգտագործվում է CERN-ի LHC (Large Hadron Collider) մասնիկների արագացուցչում: CERN-ը աշխարհի ամենամեծ տարրական մասնիկների հատկությունները ուսումնասիրող լաբորատորիան է: Դրա նպատակն է հասկանալ բնության հիմնական օրենքները: Մասնիկների երկու փունջ արագացվում են մինչև մեծ էներգիաներ, ուղղորդվելով արագացուցիչ օղակով ուժեղ մագնիսական դաշտով և այնուհետև բախվում են իրար: Պրոտոնները համասեռ չեն բաշխված արագացուցչի պարագծով այլ կուտակված են այսպես կոչված փնջերում: Բախման արդյունքում առաջացած մասնիկները դիտվում են մեծ դետեկտորներով: LHC-ի որոշ պարամետրերը բերված են աղյուսակում

LHC օղակ	
Շրջանագծի երկարությունը	26659 m
Պրոտոնների փնջի կուտակումների քանակը	2808
պրոտոնների քանակը մի կուտակումում	1.15×10^{11}
Պրոտոնների փնջեր	
Պրոտոնների էներգիան	7.00 TeV
զանգվածների կենտրոնի էներգիան	14.0 TeV

Աղյուսակ 1: LHC-ի պարամետրերի համապատասխան աղյուսակը

Տարրական մասնիկների ֆիզիկայում օգտագործվում են հարմար միավորներ էներգիայի, իմպուլսի և զանգվածի համար. էներգետիկ չափվում է էլեկտրոն վոլտ [eV]: Ըստ սահմանման, 1 eV է այն էներգիան է, որ տարրական e լիցքով մասնիկը ձեռք է բերում անցնելով մեկ վոլտ պոտենցիալների տարբերությամբ կետերի միջև ($1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$):

Իմպուլսի միավորը eV/c է, իսկ զանգվածինը՝ eV/c^2 , որտեղ c -ն լույսի արագությունն է վակուումում: Քանի որ 1 eV-ը էներգիայի շատ փոքր մեծություն է, մասնիկների ֆիզիկայում օգտագործվում են MeV ($1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$),

$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$ ($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$) կամ TeV ($1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$) միավորները:

Մաս A-ում քննարկվում են պրոտոնների և էլեկտրոնների արագացումները: Մաս B-ում քննարկվում են CERN-ում բախման արդյունքում առաջացած մասնիկների ինքնության որոշումը:

Մաս A. LHC-ի արագացուցիչը (6 միավոր)

Արագացում:

Դիցուք պրոտոնը արագացվել է V այնպիսի լարումով, որ դրանց արագությունը շատ մոտ է լույսի արագությանը և կարելի է անտեսել էներգիայի կորուստները ճառագայթման կամ ուրիշ մասնիկների հետ բախումների արդյունքում:

A.1 Գտեք պրոտոնի վերջնական v արագությունը կախված արագացնող V լարումից ու ֆիզիկական հաստատուններից, 0.7pt

Հետագայում CERN-ում պլանավորում են LHC-ի պրոտոնները բախել 60.0 GeV էներգիայով էլեկտրոնների հետ:

A.2 Բարձր էներգիայի ու փոքր զանգվածով մասնիկների համար վերջնական v արագության հարաբերական $\Delta = (c-v)/c$ շեղումը լույսի արագությունից շատ փոքր է: Գտեք առաջին կարգի մոտավորությամբ արտահայտություն Δ -ի համար և հաշվեք Δ -ն 60.0 GeV էներգիայով էլեկտրոնի համար: 0.8pt

Այժմ վերադառնանք LHC-ի պրոտոններին: Ընդունենք որ փնջերը շարժվում են շրջանի տեսք ունեցող խողովակով:

A.3 Գտեք այն համասեռ մագնիսական դաշտի B ինդուկցիան որը անհրաժեշտ է պրոտոնը շրջանային հետագծի վրա պահելու համար: Բանաձևը պետք է պարունակի միայն պրոտոնի E էներգիան, շրջանի L երկարությունը, հիմնական հաստատունները և թվեր: Կարող եք օգտագործել հարմար մոտավորություն, եթե մոտավորության ազդեցությունը ավելի փոքր է, քան ամենափոքր իմաստալից թվով որոշվող ճշտությունը: Հաշվեք դաշտի B ինդուկցիան $E = 7.00$ TeV էներգիայով պրոտոնների համար՝ անտեսելով պրոտոնների միջև փոխազդեցությունը 1.0pt

Ճառագայթման հզորությունը

Արագացած լիցքավորված մասնիկը ճառագայթում է էներգիան էլեկտրամագնիսական ալիքների տեսքով: Հաստատուն անկյունային արագությամբ պտտվող լիցքավորված մասնիկի ճառագայթման P_{rad} հզորությունը կախված է դրա a արագացումից, q լիցքից, լույսի c արագությունից և էլեկտրական ϵ_0 հաստատունից:

A.4 Օգտվելով չափողականությունների մեթոդից, գտեք P_{rad} -ի համար արտահայտություն: 1.0pt

Ճառագայթած հզորության իրական բանաձևը պարունակում է $1/(6\pi)$ թվային գործակիցը: Ավելին, լրիվ ռելատիվիստիկ դուրս բերումը ընդգրկում է նաև լրացուցիչ γ^4 գործակից, որտեղ $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-\frac{1}{2}}$.

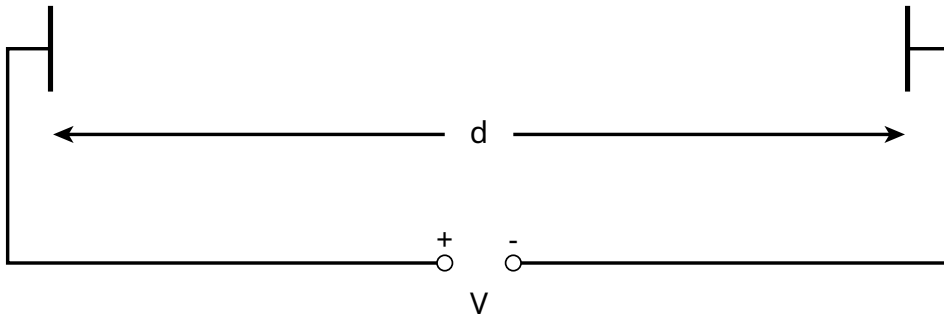
A.5 Հաշվեք LHC-ի $E = 7.00$ TeV էներգիայով պրոտոնների ճառագայթման P_{tot} հզորությունը (Ցուցում՝ Տես աղ.1). Կարող եք օգտագործել հարմար մոտավորություններ: 1.0pt

Գծային արագացում

CERN-ում պրոտոնները դադարի վիճակից արագացվում են $d = 30.0$ m երկարությամբ գծային արագացուցչով, անցնելով $V = 500$ MV պոտենցիալների տարբերություն: Էլեկտրական դաշտը

համարեք համասեռ: Գծային արագացուցիչը կազմված է երկու թիթեղից ինչպես որ պատկերված է նկար 1-ում:

A.6 Գտեք այն T ժամանակը, որի ընթացքում պրոտոններն անցնում են այդ դաշտը: 1.5pt



Նկար1 Արագացնող տեղամասի պատկերը:

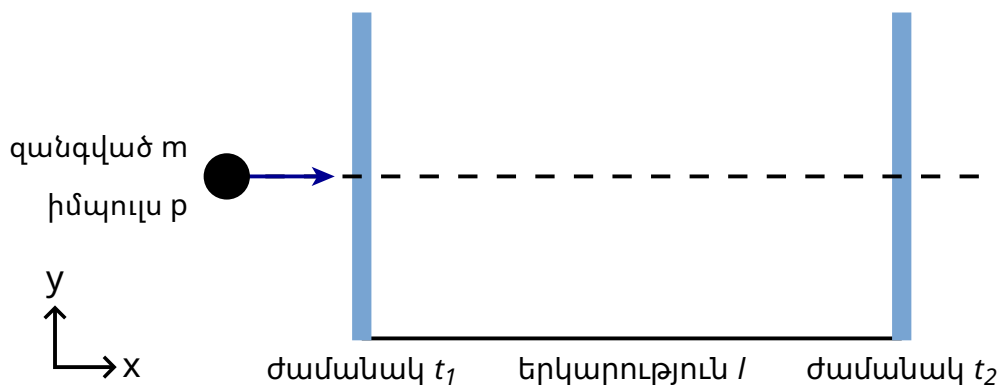
Մաս B: Մասնիկների ճանաչումը

Թռիչքի ժամանակը

Փոխազդեցության պրոցեսը պարզաբանելու համար շատ կարևոր է պարզել, թե ինչ բարձր էներգիայով մասնիկներ են առաջացել բախման ժամանակ: Պարզ մեթոդ է թռիչքի (t) ժամանակը չափելը- այն ժամանակը, որը պահանջվում է տվյալ իմպուլսով մասնիկից l երկարությամբ ճանապարհը անցնելու համար, այսպես կոչված Time-of-Flight (ToF) դետեկտորներում: Այն մասնիկները, որոնք ճանաչվել են այդ դետեկտորներով, ինչպես նաև դրանց զանգվածները բերված են աղյուսակ 2-ում:

Մասնիկ	Ջանգված [MeV/c ²]
Դեյտրոն	1876
Պրոտոն	938
լիցքավորված Կաոն	494
Լիցքավորված Պիոն	140
Էլեկտրոն	0.511

Աղյուսակ 2: Մասնիկները և դրանց զանգվածները:

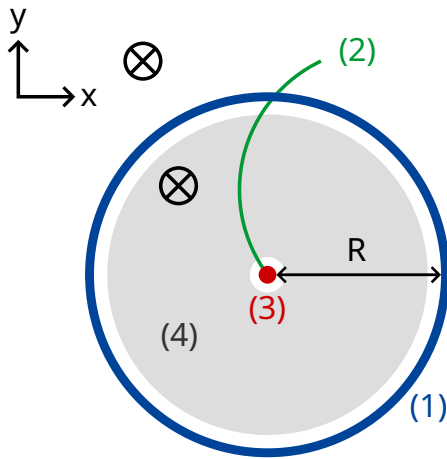


Նկար 2: Թռիչքի ժամանակի (Time-of-Flight (ToF)) դետեկտորի կառուցվածքը

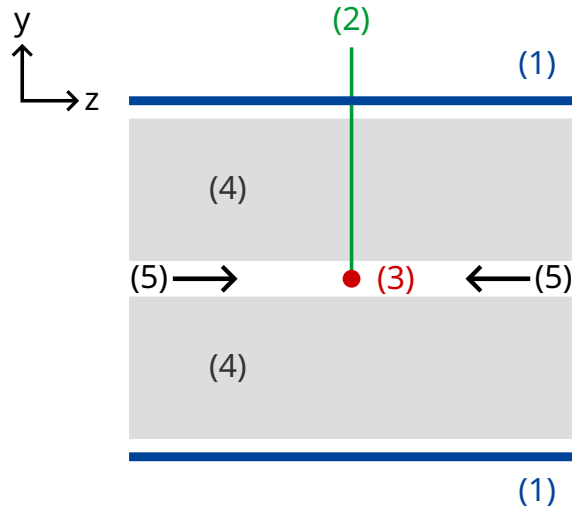
- B.1** Արտահայտեք մասնիկի m զանգվածը p իմպուլսով, թռիչքի l երկարությամբ ու թռիչքի t ժամանակով, ընդունելով որ մասնիկները ունեն տարրական e լիցք, շարժվում են ToF դետեկտորով ուղղագիծ, լույսի c -ին մոտ արագությամբ և շարժվում են դետեկտորի երկու թիթեղներին ուղղահայաց ուղղությամբ (տես նկ.2): 0.8pt

B.2 Հաշվեք ToF դետեկտորի նվազագույն l երկարությունը, որը թույլ կտա հստակ տարբերել լիցքավորված կաոնը լիցքավորված պիոնից, եթե երկուսի չափված իմպուլսները $1.00 \text{ GeV}/c$ են: Դրանք տարանջատելու համար պահանջվում է, որ թռիչքների ժամանակի տարբերությունը երեք անգամ ավել լինի դետեկտորի ժամանակը չափելու սխալանքից: ToF դետեկտորի ժամանակի չափման սխալանքը $150 \text{ պվ է } (150 \text{ ps } (1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}))$ 0.7pt

LHC-ի դետեկտորներում առաջացած մասնիկները տարանջատվում են երկու դետեկտորների օգնությամբ՝ հետագիծը ուսումնասիրող և ToF դետեկտորներ: Նկ. 3-ում ցույց են տրված պրոտոնների փնջին երկայնական և լայնական հատույթները: Դետեկտորներից երկուսն էլ իրենցից ներկայացնում են խողովակներ, որոնք շրջապատում են փոխազդեցության տիրույթը և որոնց առանցքով շարժվում են փնջերը: Հետագիծը ուսումնասիրող դետեկտորը չափում է պրոտոնի փնջի ուղղությանը զուգահեռ մագնիսական դաշտում շարժվող լիցքավորված մասնիկի հետագիծը: Հետագծի r շառավիղը թույլ է տալիս որոշել մասնիկի ուղղահայաց p_T իմպուլսը: Քանի որ բախման ժամանակը հայտնի է, TOF դետեկտորի համար պահանջվում է միայն մեկ խողովակ թռիչքի ժամանակը չափելու համար (բախման և TOF խողովակում գրանցման միջև տևողությունը): ToF-ի այդ խողովակը գտնվում է անմիջապես հետագիծը ուսումնասիրող տիրույթից դուրս: Այս խնդրում կարող եք ընդունել, որ բոլոր ծնվող մասնիկները շարժվում են պրոտոնների փնջին ուղղահայաց հարթությունում, ինչը նշանակում է, որ ծնված մասնիկները չունեն իմպուլս պրոտոնների փնջերի շարժման երկայնքով:



լայնական հարթություն



տեսքը խողովակի կենտրոնով
և փնջին զուգահեռ
հարթությունում

- (1) - ToF խողովակ
- (2) - հետագիծ
- (3) - բախման կետ
- (4) - հետագիծը ուսումնասիրող խողովակ
- (5) - պրոտոնի փնջեր
- ⊗ - մագնիսական դաշտ

Նկ.3. Մասնիկներին ճանաչելու փորձարարական սարքը՝ հետագիծը ուսումնասիրող դետեկտորով և ToF դետեկտորով: Երկու դետեկտորներն էլ իրենցից ներկայացնում են երկու խողովակ, որոնք շրջապատում են մեջտեղում գտնվող բախման կետը: Ձախում՝ տեսքը փնջին ուղղահայաց հարթությունում, աջում՝ երկայնական տեսքը, որը զուգահեռ է փնջի ուղղությանը: Ծնված մասնիկը շարժվում է փնջի ուղղությանը ուղղահայաց հարթությունում:

B.3 Արտահայտեք մասնիկի զանգվածը մագնիսական դաշտի B ինդուկցիայով, ToF-ի խողովակի R շառավղով, ֆունդամենտալ հաստատուններով և չափված մեծություններով՝ հետագծի r շառավղի ու թռիչքի t ժամանակով: 1.7pt

Մենք հայտնաբերել ենք չորս տարբեր մասնիկ և ուզում ենք որոշել թե դրանցից որը ինչ մասնիկ է: Դետեկտորում մագնիսական դաշտի ինդուկցիան $B = 0.500$ T: ToF-ի խողովակի շառավղի $R=3.70$ մ: Աղյուսակում բերված են արդյունքները ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$):

Մասնիկ	Հետագծի շառավիղը r [m]	Թռիչքի ժամանակ t [ns]
A	5.10	20
B	2.94	14
C	6.06	18
D	2.31	25

B.4 Որոշեք թե ինչ մասնիկներ են այդ չորսը՝ հաշվելով դրանց զանգվածները: 0.8pt