

დიდი ადრონული კოლაიდერი(10 ქულა)

ამოცანის ამოხსნის დაწყებამდე წაიკითხეთ ცალკე კონვერტში მოთავსებული ზოგადი ინსტრუქცია.

ამოცანის დასმა

ამ დავალებაში განიხილება CERN-ის ნაწილაკთა ამაჩქარებლის LHC (დიდი ადრონული კოლაიდერი) ფიზიკა. CERN წარმოადგენს ელემენტარულ ნაწილაკთა ფიზიკის უდიდეს ლაბორატორიას. მისი მთავარი მიზანია ჩანვდეს ბუნების ფუნდამენტალურ კანონებს. მაღალ ენერჯიამდე აჩქარებული ნაწილაკების ორი კონა მოძრაობს ამაჩქარებლის წრიული გვირაბის გასწვრივ ძლიერი მაგნიტური ველის მოქმედებით და ეჯახებიან ერთმანეთს. პროტონები არ არიან თანაბრად განაწილებულნი ამაჩქარებლის გვირაბის გასწვრივ, არამედ ჯგუფებიან ეგრეთ წოდებულ შემკვრივებებად. დაჯახების შედეგად წარმოქმნილი ნაწილაკები დაიშვებიან დიდ დეტექტორზე. LHC -ის ზოგიერთი პარამეტრი მოცემულია table 1-ში.

LHC წრე	
წრის სიგრძე	26659 m
კონაში პროტონების შემკვრივების რიცხვი	2808
პროტონების რაოდენობა თითო შემკვრივებაში	1.15×10^{11}
პროტონების კონები	
პროტონების ენერჯია	7.00 TeV
შეჯახებული ორი პროტონის ენერჯია მასათა ცენტრის სისტემაში	14.0 TeV

Table 1: LHC -ს პარამეტრების შესაბამისი ტიპური რიცხვითი მონაცემები

ნაწილაკთა ფიზიკა იყენებს ენერჯიის, იმპულსისა და მასის მოსახერხებელ ერთეულებს: ენერჯია იზომება ელექტრონვოლტებში (eV). განმარტების თანახმად, 1 ევ არის ენერჯია, რომელსაც ლებულობს e ელემენტარული მუხტის მქონე ნაწილაკი 1ვ პოტენციალთა სხვაობის გავლისას ($1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$)

იმპულსი იზომება ერთეულებში eV/c , ხოლო მასა eV/c^2 , სადაც c არის სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში. ვინაიდან 1 ევ ენერჯიის ძალიან მცირე სიდიდეა, ნაწილაკთა ფიზიკაში ხშირად გამოიყენება MeV ($1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$), GeV ($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$) ან TeV ($1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$).

ნაწილ A-ში განიხილება პროტონების ან ელექტრონების აჩქარება. ნაწილი B ეხება CERN -ში დაჯახებების შედეგად წარმოქმნილი ნაწილაკების იდენტიფიკაციას.

ნაწილი A. LHC ამაჩქარებელი (6 ქულა)

აჩქარება :

დავუშვათ, რომ პროტონი აჩქარდა V ძაბვის ველში ისე, რომ მისი სიჩქარე ძალიან ახლოსაა სინათლის სიჩქარესთან და გამოსხივებისა და სხვა ნაწილაკებთან დაჯახების შედეგად პროტონის ენერჯიის დანაკარგი შეიძლება უგულებელვყოთ.

A.1 იპოვეთ პროტონის საბოლოო სიჩქარე v , როგორც ამაჩქარებელი V დაბვისა და ფიზიკური მუდმივების ფუნქცია ზუსტად. 0.7pt

მომავალში CERN-ში იგეგმება LHC ამაჩქარებლის პროტონების გამოყენება და მათი დაჯახება 60.0 GeV ენერგიის ელექტრონებთან.

A.2 დიდი ენერგიისა და მცირე უძრავობის მასის მქონე ნაწილაკებისათვის v საბოლოო სიჩქარის სინათლის სიჩქარესთან შედარებით ფარდობითი განსხვავება $\Delta = (c-v)/c$ არის ძალიან მცირე. იპოვეთ Δ -ს პირველი რიგის მიახლოება და გამოთვალეთ ის 60.0 GeV ენერგიის მქონე ელექტრონისათვის. გამოიყენეთ ამაჩქარებელი V დაბვა და ფიზიკური მუდმივები. 0.8pt

ახლა დავუბრუნდეთ პროტონს LHC-ში. ჩავთვალოთ, რომ კონის მილს წრიული ფორმა აქვს.

A.3 მიიღეთ მაგნიტური ველის B ინდუქციის გამოსახულება, რომელიც საჭიროა პროტონების კონის წრეზე მოძრაობისათვის. გამოსახულებაში უნდა შედიოდეს მხოლოდ პროტონის E ენერგია, წრის L სიგრძე, ფუნდამენტური მუდმივები და რიცხვები. თქვენ შეგიძლიათ ისარგებლოთ შესაფერისი მიახლოებებით. $E = 7.00$ TeV ენერგიის მქონე პროტონისათვის გამოიანგარიშეთ B . პროტონებს შორის ურთიერთქმედება უგულებელყავით. 1.0pt

გამოსხივების სიმძლავრე

აჩქარებულად მოძრავი დამუხტული ნაწილაკი ასხივებს ენერგიას ელექტრომაგნიტური ტალღების სახით. მუდმივი კუთხური სიჩქარით მბრუნავი ნაწილაკის გამოსხივების სიმძლავრე P_{rad} დამოკიდებულია მხოლოდ მის აჩქარებაზე, q მუხტზე, სინათლის c სიჩქარეზე და ϵ_0 ელექტრულ მუდმივაზე.

A.4 გამოიყენეთ განზომილებათა მეთოდი და იპოვეთ გამოსხივების სიმძლავრე P_{rad} . 1.0pt

გამოსხივების სიმძლავრის რეალური ფორმულა შეიცავს $1/(6\pi)$ მამრავლს; ამასთან, სრული რელატივისტური გამოყვანა იძლევა დამატებით γ^4 მამრავლს, სადაც $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-\frac{1}{2}}$.

A.5 გამოთვალეთ LHC ამაჩქარებლის გამოსხივების სრული სიმძლავრე P_{tot} . თითოეული პროტონის ენერგიაა $E = 7.00$ TeV (table 1). შეგიძლიათ ისარგებლოთ შესაბამისი მიახლოებებით. 1.0pt

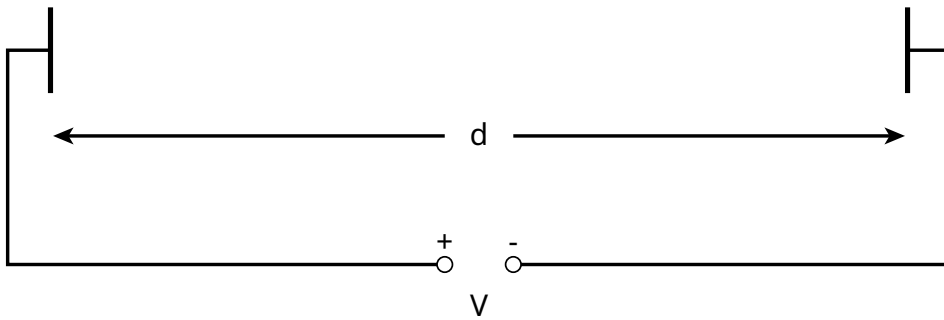
წრფივი აჩქარება

CERN-ში, უძრავი პროტონები ჩქარდება $d = 30.0$ m სიგრძის წრფივი ამაჩქარებლით $V = 500$ MV პოტენციალის სხვაობით. ჩათვალოთ, რომ ელექტრული ველი ერთგვაროვანია. წრფივი

ამაჩქარებელი შედგება ორი სიბრტყისაგან როგორც ნაჩვენებია ნახატ 1-ზე.

A.6 იპოვეთ რა T დროში გაივლის პროტონი ამ ველს.

1.5pt



ნახ1: ამაჩქარებლის მოდულის ესკიზი

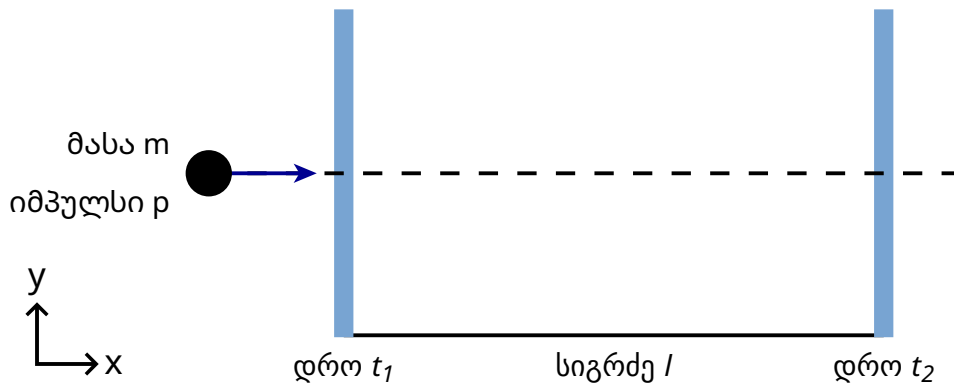
ნაწილი B. ნაწილაკების იდენტიფიკაცია (4 ქულა)

ფრენის დრო

იმისათვის, რომ მოვახდინოთ ურთიერთქმედების პროცესის ინტერპრეტაცია, მნიშვნელოვანია დაჯახების შედეგად წარმოიქმნილი მაღალი ენერგიის მქონე ნაწილაკების იდენტიფიცირება. იდენტიფიცირების მარტივი მეთოდი მდგომარეობს იმ t დროის გაზომვაში, რომელიც ჭირდება მოცემული იმპულსის მქონე ნაწილაკს l მანძილის გასავლელად ე. წ. ფრენის დროის (ToF) დეტექტორში. table 2-ში მოცემულია იმ ნაწილაკების ჩამონათვალი და მათი მასები, რომლებიც იდენტიფიცირებული იქნა დეტექტორში.

ნაწილაკები	მასა [MeV/c ²]
დეიტრონი	1876
პროტონი	938
დამუხტული კაონი	494
დამუხტული პიონი	140
ელექტრონი	0.511

Table 2: ნაწილაკები და მათი მასები.

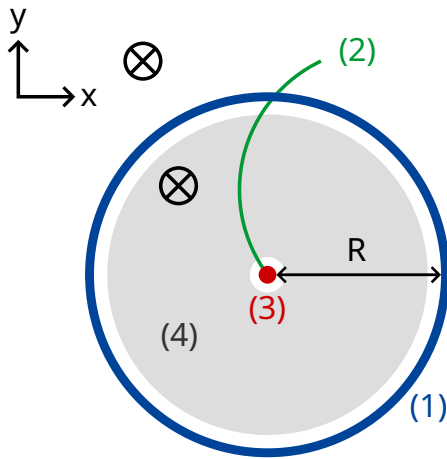


ნახ. 2: ფრენის დროის დეტექტორის სქემატური სახე.

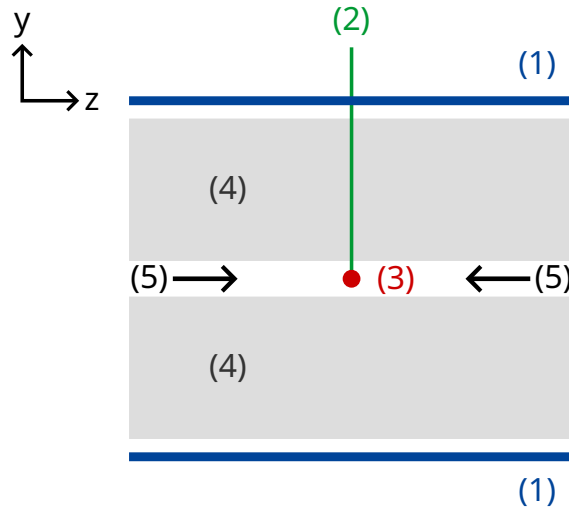
- B.1** გამოსახეთ ნაწილაკის m მასა p იმპულსით, l ფრენის სიგრძით და t ფრენის დროით. ჩათვალეთ, რომ e ელემენტარული მუხტის ნაწილაკი მოძრაობს სინათლის სიჩქარის სადარი სიჩქარით ToF დეტექტორში წრფეზე, რომელიც დეტექტირების ორი სიბრტყის მართობია (ნახ. 2). 0.8pt

B.2 გამოთვალეთ ToF დეტექტორის მინიმალური l სიგრძე, რომელიც საშუალებას იძლევა შეუცდომლად განვსახვავოთ ერთმანეთისაგან ერთი და იმავე $1.00 \text{ GeV}/c$ იმპულსის მქონე დამუხტული კაონი და დამუხტული პიონი. კარგი განსხვავებისათვის საჭიროა, რომ დეტექტორში ნაწილაკების ფრენის დროებს შორის სხვაობა სამჯერ მეტი იყოს გარჩევისუნარიანობაზე, რომელიც ToF დეტექტორისთვის არის 150 ps ($1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$). 0.7pt

ქვემოთ, LHC -ში წარმოქმნილი ნაწილაკები იდენტიფიცირდებიან ორსაფეხურიანი დეტექტორით, რომელიც შედგება tracking დეტექტორისაგან, რომელში გავლის დროს ნაწილაკი ტოვებს კვალს, და ToF დეტექტორისაგან. ასეთი დეტექტორი სქემატურად ნაჩვენებია ნახ. 3-ზე პროტონის კონების გასწვრივ და მართობულ სიბრტყეში. ორივე დეტექტორი წარმოადგენს მილებს, რომლებიც გარს ერტყმიან ნაწილაკების დაჯახების რეგიონს სადაც კონები მოძრაობენ მილის შუაში. tracking დეტექტორი ზომავს დამუხტული ნაწილაკის ტრაექტორიას, რომელიც გადის მაგნიტურ ველში. მაგნიტური ველის მიმართულება კი პროტონული კონის პარალელურია. ტრაექტორიის r რადიუსი საშუალებას იძლევა გავზომოთ ნაწილაკის განივი იმპულსი p_T . ვინაიდან დაჯახების მომენტი ცნობილია ToF დეტექტორს ჭირდება მხოლოდ ერთი მილი ფრენის დროის (დრო დაჯახებიდან ToF-ის მილზე მისვლის დეტექტირებამდე) გასაზომად. ეს მილი განლაგებულია tracking დეტექტორის გარეთ იქვე. ამ დავალებაში შეგიძლიათ დაუშვათ, რომ დაჯახების შედეგად წარმოქმნილი ნაწილაკები მოძრაობენ პროტონის კონის მართობულად, რაც იმას ნიშნავს, რომ წარმოქმნილ ნაწილაკებს მხოლოდ განივი იმპულსი აქვს.



განივი კვეთა



კონაზე გამავალი
გრძივი კვეთა

- (1) - ToF მილი
- (2) - ტრაექტორია
- (3) - დაჯახების წერტილი
- (4) - tracking მილი
- (5) -პროტონების ნაკადი
- ⊗-მაგნიტური ველი

ნახ. 3 : ნაწილაკების იდენტიფიკაციის ექსპერიმენტული დანადგარი, რომელიც შედგება tracking დეტექტორისა და ToF დეტექტორისაგან. ორივე დეტექტორი წარმოადგენს მილებს, რომელთა შიგნითაც, შუაში ხდება ნაწილაკების დაჯახება. მარცხნივ: ხედი კონის მართობულ სიბრტყეში, მარჯვნივ: ხედი კონის პარალელურ სიბრტყეში. წარმოქმნილი ნაწილაკი მოძრაობს კონის მართობულად.

B.3 გამოსახეთ ნაწილაკის მასა, როგორც მაგნიტური ველის B ინდუქციის, ToF მილის R რადიუსის, ფუნდამენტალური მუდმივებისა და გაზომვადი სიდიდეების: ტრაექტორიის r რადიუსისა და ფრენის t დროის საშუალებით. 1.7pt

ჩვენ აღმოვაჩინეთ ოთხი ნაწილაკი და გვინდა მათი იდენტიფიცირება. tracking დეტექტორში მაგნიტური ველის ინდუქცია არის $B=0,500$ ტლ, მილის რადიუსი 3.70 m ქვემოთ მოყვანილია გაზომვების შედეგები ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$):

ნაწილაკი	ტრაექტორიის რადიუსი r [m]	ფრენის დრო t [ns]
A	5.10	20
B	2.94	14
C	6.06	18
D	2.31	25

B.4 მოახდინეთ ნაწილაკთა იდენტიფიცირება მათი მასების გამოთვლით 0.8pt