

## Катта Адрон Коллайдери (элементар заррачалар тезлаткичи)(10 points)

Ушбу масалани ечишни бошлашдан олдин, бошқа канвертда берилган умумий қойидалар билан танишинг.

Ушбу масалада ЦЕРН да жойлашган КАК (Катта Адрон Коллайдер) элементар заррачалар тезлаткичи физикасини таҳлил қиламиз. ЦЕРН элементар заррачалар физикаси бўйича энг катта лабораториялардан бири ҳисобланади. ЦЕРН нинг асосий мақсади - табиатнинг фундаментал қонунларини ўрганишдир. Кучли магнит майдон ёрдамида тезлаткичнинг айланма траекториясида ушлаб турилган заррачаларнинг икки дастаси (нури) юқори энергиягача тезлаштирилади ва бундан сўнг дасталар (нурлар) тўқнаштирилади. Протонлар доира бўйича текис тақсимланмасдан, қуюқалар (қуюқлашган жойлар ёки тугунлар, русчасига "сгустки") да тўпланади. Тўқнашув натижасида ҳосил бўлган заррачалар катта детекторлар ёрдамида ўрганилади. КАКнинг айрим параметрлари 1-жадвалдан келтирилган.

| <b>КАК халқаси (доираси)</b>  |                       |
|---|-----------------------|
| Халқа доирасининг узунлиги  | 26659 m               |
| Протонлар дастасидаги (нуридаги) қуюқалар (қуюқлашган жойлар) сони. | 2808                  |
| Қуюқадаги протонлар сони.   | $1.15 \times 10^{11}$ |
| <b>Протонлар дастаси (нури)</b>                                     |                       |
| Протонлар энергияси   | 7.00 TeV              |
| Массалар маркази энергияси.   | 14.0 TeV              |

1-жадвал - КАКнинг айрим параметрларининг одатий сон қийматлари.

Элементар заррачалар физикасида энергия, импульс ва массани ўлчаш учун қуйидаги ўлчам бирликлари ишлатилади. Энергия электрон-вольтларда [eV] ўлчанади. Таъриф бўйича 1 eV бу элементар  $e$  зарядли заррачанинг 1 вольт потенциаллар айирмасидан ўтганда олган ёки йўқотган энергиясидир, яъни  $1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ kg m}^2/\text{s}^2$ . Импульс eV/c бирликда, масса eV/c<sup>2</sup> бирлик да ўлчанади, бу ерда  $c$  ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги. 1 eV энергиянинг жуда кам миқдори бўлганлиги сабали, элементар заррачалар физикасида қуйидагилар қўлланилади: MeV (1 MeV = 10<sup>6</sup> eV), GeV (1 GeV = 10<sup>9</sup> eV) ёки TeV (1 TeV = 10<sup>12</sup> eV). А-қисмда протонлар ва электронларни тезлатиш билан боғлиқ массалар кўрилади. В-қисмда ЦЕРНда бўлиб ўтаётган тўқнашувларда (амалга оширилаётган тажрибалар натижасида) ҳосил бўлаётган заррачаларни идентификациялаш (қандай заррача эканлигини аниқлаш).

### А-қисм. КАК тезлатгичи (6 балл)

#### Тезланиш:

Протонлар  $V$  кучланиш ёрдамида ёруғлик тезлигига яқин тезликкача тезлаштирилмоқда. Нурланиш ёки бошқа заррачалар билан тўқнашув сабабли бўлаётган энергия йўқотувларини ҳисобга олмаймиз.

- A.1** Протонларнинг охириги тезлиги  $v$  ни тезлатувчи кучланиш  $V$  ва физикавий константалар билан боғлиқлик функцияни ифодаловчи формулани топинг. 0.7pt

КАК да тезлатилган протонларни келажакда 60.0 GeV энергияга эга электронлар билан тўқнаштириш режалаштирилмоқда.

- A.2** Юқори энергия ва кичик массага эга бўлган заррачалар учун охириги тезлик  $v$  нинг ёруғлик тезлигидан нисбий фарқланиши  $\Delta = (c - v)/c$  қиймати жуда кичик. Мазкур фарқланиш учун биринчи даражали яқинлашувда (приближение первого порядка)  $\Delta$  топинг ва энергияси 60.0 GeV бўлган электронлар учун  $\Delta$  ни ҳисобланг. 0.8pt

Энди КАК даги протонларга қайтамыз. Даста (нур) харакатланаётган трубани (найнинг) айлана шаклига эга деб қабул қиламыз.

- A.3** Протонлар дастаси (нури) ни айлана траекториясида тутиб туриши учун зарур бўлган бир текис (бир жинсли) магнит майдони оқимининг  $B$  зичлиги учун иборасини (формуласини) келтиринг (чиқаринг). Бу иборага фақат протонлар энергияси  $E$ , айлана узунлиги  $L$ , фундаментал (физикавий) доимийлар ва сонлар кириши керак. Якуний натижа сон қийматини аниқлашда тақрибий ҳисоб китобларни қўллашга рухсат этилади (улар якуний натижа қийматининг охириги ҳақиқий сонини аниқлик доирасида ўзгартирмасан). (Рус тилидаги матн: Разрешается использовать приближения, такие, которые не изменяют результат с точностью до последней значащей цифры). Протоннинг энергияси  $E = 7.00$  TeV учун магнит майдони оқимининг зичлигини  $B$  ни ҳисобланг. 1.0pt

### Нурланиш қуввати:

Тезлаштирилган зарядланган заррача электромагнит тўлқинлар кўринишида энергия нурлантиради. Айлана бўйича доимий бурчак тезлик билан харакатланаётган зарядланган заррачанинг нурланиш қуввати  $P_{\text{rad}}$  фақат унинг тезланиши  $a$ , заряди  $q$ , ёруғлик тезлиги  $c$  ва муҳитнинг диэлектрик сингдирувчанлиги  $\epsilon_0$  га боғлиқ.

- A.4** Ўлчов бирликларини таҳлил этиб, нурланиш қуввати  $P_{\text{rad}}$  учун иборани (формулани) топинг. 1.0pt

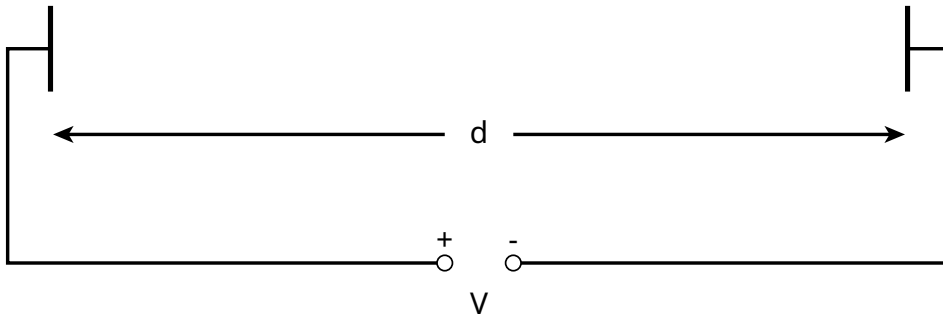
Ушбу формулага  $1/(6\pi)$  кўпайтма киради, формулани релятивистик эффектларни инобатга олиб чиқарилганда кўшимча  $\gamma^4$  кўпайтма пайдо бўлади, бу ерда  $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-\frac{1}{2}}$ .

- A.5** Протонлар энергияси  $E=7.00$  TeV учун КАК нинг тўлиқ нурланиш қуввати  $P_{\text{tot}}$  ни ҳисобланг (1-жадвалга эътибор беринг). Тегишли яқинлашувларни (соответствующие приближения) ишлатишингиз мумкин (тақрибий ҳисоб-китобларни ишлатиш мумкин). 1.0pt

**Чизиқли тезланиш:**

КАК да бошланғич тезлиги 0 бўлган протонлар дастлаб потенциаллар айирмаси  $V = 500 \text{ MV}$ , узунлиги  $d = 30.0 \text{ m}$  бўлган чизиқли тезлаткичда тезлаштирилади. Электр майдони бир жинсли деб ҳисоблаймиз. Чизиқли тезлаткич 1-расмда кўрсатилган иккита пластинадан иборат.

**A.6** Протонларни ушбу майдондан ўтиши учун қанча вақт  $T$  керак бўлишини аниқланг. 1.5pt



1-расм. Тезлатувчи модуль чизмаси (эскизи).

## В-қисм. Заррачаларни аниқлаш (идентификациялаш) (4 балл).

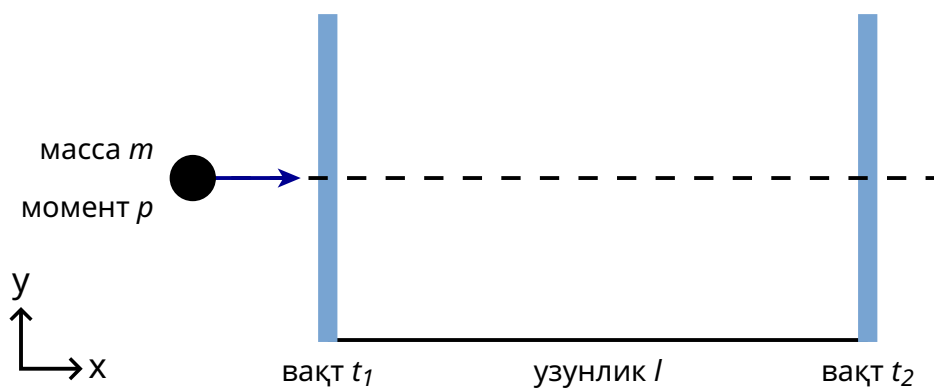
### Учиш вақти:

Ўзаро таъсирлашиш жараёнини таҳлил қилиш учун тўқнашув вақтида ҳосил бўлган юқори энергияга эга заррачаларни аниқлаш (айнан қандай заррача эканлигини аниқлаш, яъни идентификациялаш) жуда муҳим.

Бунинг учун қуйидаги усул энг содда усуллардан бири ҳисобланади: учиб ўтиш вақти бўйича заррачаларни ажратувчи (времяпролетный) детекторда импульси маълум бўлган заррачанинг узунлиги  $l$  бўлган масофани учиб ўтиш вақти ( $t$ ) ни ўлчаш. 2-жадвалда одатда шундай детекторларда аниқланадиган заррачаларнинг рўйхати ва массалари келтирилган.

| Заррача          | Масса [MeV/c <sup>2</sup> ] |
|------------------|-----------------------------|
| Дейтрон          | 1876                        |
| Протон           | 938                         |
| Зарядланган Каон | 494                         |
| Зарядланган Пион | 140                         |
| Электрон         | 0.511                       |

2-жадвал. Заррачалар ва уларнинг массалари.

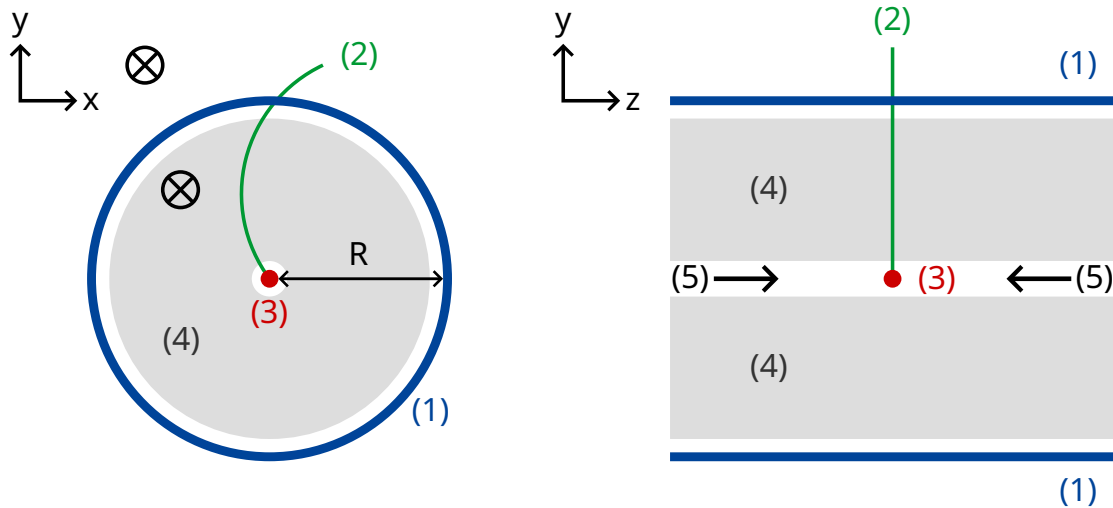


2-расм. Учиб ўтиш вақти бўйича заррачаларни ажратувчи (времяпролетный) детектор схемаси.

**B.1** Элементар заряд  $e$  га эга заррачалар учиб ўтиш вақти бўйича заррачаларни ажратувчи (времяпролетный) детекторда катта тезликда тўғри чизиqli траектория бўйича детекторнинг иккала текисликларига перпендикуляр равишда харакатланади деб тахмин қилиб (2-расмга қаранг), заррачанинг массаси  $m$  ни унинг импульси  $p$ , учиб масофаси  $l$  ва учиб вақти  $t$  ларнинг функцияси сифатида ифодаланг. 0.8pt

**B.2** Зарядланган каон ва зарядланган пион заррачаларнинг хар бирининг импульслари  $1.00 \text{ GeV}/c$  бўлса, ушбу заррачаларни бир биридан ишончли ажратиш учун учиб ўтиш вақти бўйича заррачаларни ажратувчи (времяпролетный) детекторнинг узунлиги энг камида  $l$  қанча бўлишини ҳисобланг. Заррачаларни бир биридан ишончли ажратиш учун заррачани детектордан учиб ўтиш вақти детекторнинг вақт бўйича ажратаолиш кўрсаткичидан (детекторнинг разрешениесидан) уч ёки ундан ортиқ марта кўп бўлиши лозим. Учиб ўтиш вақти бўйича заррачаларни ажратувчи (времяпролетный) детекторларнинг ажратаолиш кўрсаткичи ( яъни разрешениеси) одатда  $150 \text{ ps}$  ( $1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$ ) ни ташкил этади. 0.7pt

КАК да тўқнашув натижасида хосил бўлган заррачалар кейинчалик икки босқичли детекторда , яъни траекторияни аниқловчи (tracking detector) детектор ва учиб ўтиш вақти бўйича заррачаларни ажратувчи (времяпролетный) детекторда аниқланади (идентификацияланади). 3-расмда протонлар дастаси (нури)га нисбатан кўндаланг ва даста бўйлаб жойлаштирилиши схематик равишда кўрсатилган. Иккала детектор тўқнашув нуқтасини ўраб турувчи трубкалардир. Траекторияни аниқловчи детектор протонлар дастасига параллел бўлган магнит майдонида ўтувчи зарядланган заррачанинг траекториясини ўлчайди. Траекториянинг  $r$  радиуси заррачанинг кўндаланг импульси  $p_T$  ни аниқлаш имконини беради. Тўқнашув вақти маълум бўлганлиги сабабли, учиб ўтиш вақтини аниқлаш учун бир дона учиб ўтиш вақти бўйича заррачаларни ажратувчи (времяпролетный) детектор кифоя бўлади. Ушбу детектор бевосита траекторияни аниқловчи детектор ортида жоллаштирилади. Мазкур масала учун тўқнашув натижасида пайдо бўлган заррачалар протонлар дастаси (нури)га перпендикуляр йўналишда харакатланади деб фараз қилиш мумкин. Бу эса пайдо бўлган заррачалар протонлар дастаси (нури)га параллел йўналишда импульсга эга эмаслигини англатади.



Ўшундан кўра кўрсатилган йўналишдаги кесим кўриниш кўрсатилган кесим

Протонлар оқимига параллел  
йўналишдаги кесим кўриниши

- (1) - учиб ўтиш вақти бўйича заррачаларни ажратувчи (времяпролетный) детектор
- (2) - Траектория
- (3) - Тўқнашув нуқтаси
- (4) - траекторияни аниқловчи детектор (tracking detector)
- (5) - протонлар дастаси (нури)
- ⊗ - магнит майдони

3-расм. траекторияни аниқловчи детектор (tracking detector) ва учиб ўтиш вақти бўйича заррачаларни ажратувчи (времяпролетный) детектор ёрдамида заррачаларни аниқловчи (идентификацияловчи) тажриба қурилмаси (схемаси). Иккала детекторлар тўқнашув нуқтасини ўраб турган трубкалардир. Чапда протонлар оқимига кўрсатилган йўналишдаги кесим кўриниши. Ўнгда протонлар оқимига параллел йўналишдаги кесим кўриниши. Заррача протонлар оқими йўналишига перпендикуляр ҳаракатланади.

**В.3** Заррачанинг массасини магнит майдони оқими зичлиги  $B$ , учиб ўтиш вақти бўйича заррачаларни ажратувчи (времяпролетный) детекторнинг радиуси  $R$ , фундаментал (физикавий) константалар ва ўлчанган катталар, яъни траектория радиуси  $r$  ва учиб ўтиш вақти  $t$  ларнинг функцияси кўринишида ифодаланг. 1.7pt

Биз тўртта ҳар хил заррачаларни кузатдик ва уларни аниқламоқчимиз (идентификацияламоқчимиз). Траекторияни аниқловчи детектор (tracking detector)да магнит майдони оқими зичлиги  $B = 0.500 \text{ T}$ . Учиб ўтиш вақти бўйича заррачаларни ажратувчи (времяпролетный) детектор трубкаси радиуси  $R$  қиймати  $3.70 \text{ m}$ . Қуйида ўлчовлар натижалари келтирилган  $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$ .

| <i>Заррача</i> | <i>Траектория радиуси <math>r</math> [m]</i> | <i>Учиш вақти <math>t</math> [ns]</i> |
|----------------|--|---------------------------------------|
| A              | 5.10   | 20                                    |
| B              | 2.91   | 14                                    |
| C              | 6.06   | 18                                    |
| D              | 2.31   | 25                                    |

**B.4** Массаларини ҳисоблаш йўли билан тўртта заррачани турини аниқланг 0.8pt  
(идентификацияланг).