ឧបករណ៍បង្កើនសំទុះ Large Hadron Collider (10 points)

សូមអានការណែនាំទូទៅមុននឹងចាប់ផ្តើមធ្វើលំហាត់។

ក្នុងលំហាត់នេះរូបវិទ្យានៃឧបករណ៍បង្កើនសំទុះផង់ LHC (Large Hadron Collider) នៅទីពិសោធន៍ CERN ត្រូវបានពិភាក្សា។

CERN គឺជាទីពិសោធ៍រូបវិទ្យាផង់ធំបំផុតលើពិភពលោក។ គោលបំណងសំខាន់គឺបង្ហាញអោយឃើញច្បាប់គ្រឹះនៃធម្មជាតិ។ បាច់ពីរនៃផង់ត្រូវបានបង្កើនសំទុះអោយមានថាមពលខ្ពស់ ដោយដែនម៉ាញ៉េទិចខ្លាំង ហើយវាទង្គិចគ្នាទៅវិញទៅមក។ ប្រូតុងមិនបានរាយស្មើសាច់នៅជុំវិញបរិមាត្រនៃឧបករណ៍បង្កើនសំទុះទេ ប៉ុន្តែវាបានផ្តុំគ្នាជាបណ្តុំ។ ជាលទ្ធផលផង់ដែលកើតឡើងដោយទង្គិចនេះ ត្រូវបានសង្កេតដោយឧបករណ៍ចាប់សញ្ញាធំមួយ (large detectors)។ ប៉ារ៉ាម៉ែតមួយចំនួននៃ LHC អាចរកបានក្នុង table 1។

វង់ LHC	
បរិមាត្រនៃវង់ Circumference of ring	$26659\ \mathrm{m}$
ចំនួនបណ្តុំក្នុងមួយបាច់ប្រូតុង Number of bunches per proton beam	2808
ចំនួនប្រូតុងក្នុងមួយបណ្តុំ Number of protons per bunch	1.15×10^{11}
បាច់ប្រូតុង Proton beams	
ថាមពលប្រូតុង Energy of protons	$7.00\ \mathrm{TeV}$
ផ្ចិតម៉ាស់ថាមពល Centre of mass energy	$14.0\ \mathrm{TeV}$

Table 1: Typical numerical values of relevant LHC parameters.

អ្នករូបវិទ្យាផង់ប្រើឯកតាថាមពល បរិមាណចលនា និងម៉ាសៈ ថាមពលវាស់គិតជា[eV]។ តាមនិយមន័យ $1\ \mathrm{eV}$ គឺជាបរិមាណថាមពលទទួលដោយផង់ដែលមានបន្ទុក e ផ្លាស់ទីឆ្លងកាត់ផលសងប៉ូតង់ស្យែលមួយវ៉ុល

$(1\ \mathrm{eV} = 1.602 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{kg\,m^2 s^{-2}})$។

បរិមាណចលនាមានខ្នាតគិតជា eV/c និងម៉ាស់មានខ្នាតគិតជា eV/c^2។ ដែល c ជាល្បឿនពន្លឺក្នុងសុញ្ញកាស។ ដោយ $1\ \mathrm{eV}$ ជាខ្នាតមួយតូច ដូចនេះ គេនិយមប្រើខ្នាតថាមពលប្រើជា MeV $(1\ \mathrm{MeV} = 10^6\ \mathrm{eV})$, GeV $(1\ \mathrm{GeV} = 10^9\ \mathrm{eV})$ or TeV $(1\ \mathrm{TeV} = 10^{12}\ \mathrm{eV})$។

Part A សិក្សាជាមួយសំទុះនៃប្រូតុង រឺអេឡិចត្រុង។

Part B សិក្សាអំពីការកំណត់ឈ្មោះផង់ដែលកើតមានដោយទង្គិចពិសោធន៍នៅ CERN។

Part A. ឧបករណ៍បង្កើនសំទុះ LHC (6 points)

សំទុះ

ឧបមាថាបើប្រូតុងត្រូវបានបង្កើនសំទុះដោយតង់ស្យុង V នោះល្បឿនវាធំក្បែរល្បឿនពន្លឺ។ គេមិនគិតកំហាតផ្សេងៗដោយបន្សាយរស្មី រឺទង្គិចជាមួយផង់ផ្សេងៗទៀត។

A.1	សរសេរកន្សោមត្រឹមត្រូវនៃល្បឿនស្រេច v របស់ប្រូតុងជាអនុមន៍នៃ V និងថេរគ្រឹះ។	0.7pt

គម្រោងពិសោធន៍អនាគតនៅ CERN គឺប្រើប្រូតុងចេញពី LHC អោយវាទង្គិចជាមួយអេឡិចត្រុងមានថាមពល $60.0\ \mathrm{GeV}$។

A.2	ចំពោះផង់មានថាមពលខ្ពស់ និងម៉ាស់ទាប នោះលំងាកធៀប $\Delta = (c-v)/c$ មានតំលៃតូចណាស់។ ចូរគណនា Δ សមស្រប និងគណនា Δ ចំពោះអេឡិចត្រុងមានថាមពល $60.0\ \mathrm{GeV}$ ដោយប្រើ តង់ស្យុង V និងថេរគ្រឹះ។	0.8pt

ឥឡូវយើងត្រឡប់មកប្រូតុងក្នុង LHC វិញ។ សន្មត់បាច់បំពង់មានរាងជារង្វង់។

A.3	សរសេរកន្សោមចំពោះ B ឯកសណ្ឋានចាំបាច់ដើម្បីរក្សាបាច់ប្រូតុងក្នុងគន្លងវង់។ កន្សោមនេះគួរមានតែថាមពលប្រូតុង E, បរិមាត្ររង្វង់ L ថេរគ្រឹះ និងចំនួនលេខ។ អ្នកអាចប្រើតំលៃប្រហែលក្នុងករណីផលទង្គិចតូចជាងលំលៃល្បឿង។ ចូរគណនា B ចំពោះ ថាមពលប្រូតុង $E = 7.00\ \mathrm{TeV}$ ដោយមិនគិតអន្តរកម្មរវាងប្រូតុងនិងប្រូតុង។	1.0pt

អានុភាពបន្សាយរស្មី

ផង់មានសំទុះមួយបន្សាយថាមពលក្រោមទំរង់រលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិច។អានុភាពបន្សាយរស្មី P_{rad} នៃផង់បន្ទុកដែលផ្លាស់ទីដោយល្បឿនមុំថេរ អាស្រ័យនឹងសំទុះរបស់វា a, បន្ទុករបស់វា q ល្បឿនពន្លឺ c និង ε_0។

A.4	ប្រើវិធីសាស្ត្រវិភាគវិមាត្រដើម្បីសរសេរកន្សោមអានុភាពរស្មី P_{rad}។	1.0pt

រូបមន្តពិតនៃអានុភាពរស្មីមានកត្តា $1/(6\pi)$ ជាងនេះទៀត ក្នុង relativistic គេបន្ថែម កត្តាមេគុណ γ^4 ដែល $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-\frac{1}{2}}$.

A.5	គណនាអនុភាពរស្មីសរុប P_{tot} នៃ LHC ចំពោះ ថាមពលប្រូតុង $E = 7.00\ \mathrm{TeV}$ (Note table 1)។ អ្នកអាចប្រើតម្លៃប្រហែលសមស្រប។	1.0pt

Linear Acceleration:

នៅ CERN ប្រូតុងនៅស្ងៀមត្រូវបានបង្កើនសំទុះដោយ linear accelerator ប្រវែង $d = 30.0\ \mathrm{m}$ ក្រោមតង់ស្យុង $V = 500\ \mathrm{MV}$។ គេចាត់ទុកថាដែនអគ្គិសនីឯកសណ្ឋាន។ linear accelerator ផ្សំឡើងដោយបន្ទះពីរ ដូចបានបង្ហាញក្នុង Figure 1។

A.6	គណនារយៈពេល T ដែលប្រូតុងឆ្លងកាត់ដែននេះ។	1.5pt

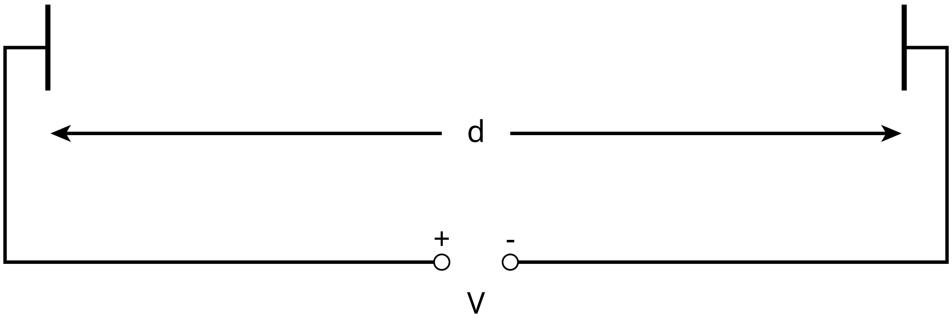


Figure 1: Sketch of an accelerator module.

Part B. កំណត់ឈ្មោះផង់ Particle Identification (4 points)

រយៈពេលហោះ Time of flight:

វាសំខាន់ណាស់ក្នុងការដាក់ឈ្មោះអោយផង់ថាមពលខ្ពស់ដែលកើតដោយទង្គិចក្នុងការបកស្រាយលំនាំអន្តរកម្ម។ វិធីសាស្រ្តងាយស្រួលមួយគឺ វាស់រយៈពេល (t) ដែលផង់មួយដោយស្គាល់បរិមាណចលនាចាំបាច់ដើម្បីឆ្លងកាត់ប្រវែង l ហៅថាឧបករណ៍ចាប់សញ្ញា Time-of-Flight (ToF)។ ប្រភេទផង់មួយចំនួនដែលបានកំណត់ឈ្មោះ និង ម៉ាស់របស់វាដោយដោយឧបករណ៍ចាប់សញ្ញានេះមានរាយក្នុង table 2។

Particle	Mass [MeV/c^2]
Deuteron	1876
Proton	938
charged Kaon	494
charged Pion	140
Electron	0.511

Table 2: Particles and their masses.

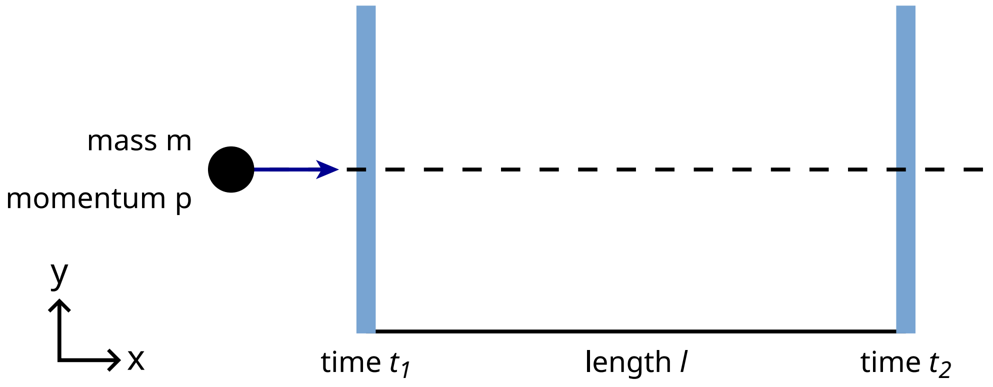


Figure 2: Schematic view of a time-of-flight detector.

B.1	តាងម៉ាស m នៃផង់ជាអនុគមន៍នៃបរិមាណចលនា p ចំងាយ l និងរយៈពេលហោះ t ដោយសន្មត់ថា ផង់មានបន្ទុក e ហើយផ្លាសទីដោយល្បឿនក្បែរៗល្បឿនពន្លឺតាមគន្លងត្រង់ក្នុង ToF detector និង វាផ្លាសទីកែងទៅនឹងប្លង់ detection ទាំងពីរ (មើល figure 2)។	0.8pt

B.2	គណនាប្រវែងខ្លីបំផុត l នៃ ToF detector ដែលគេអាចញែក charged kaon ពី charged pion ដោយអោយបរិមាណចលនាវាទាំងពីរមានតំលៃ $1.00\ \mathrm{GeV}/c$។ ការញែកបានល្អគឺវាត្រូវការគំលាតនៃ time-of-flight ធំជាងបីដងនៃកំរិតញែតរបស់ detector។ កំរិតញែកនៃ ToF detector គឺ$150\ \mathrm{ps}\ (1\ \mathrm{ps} = 10^{-12}\ \mathrm{s})$។	0.7pt

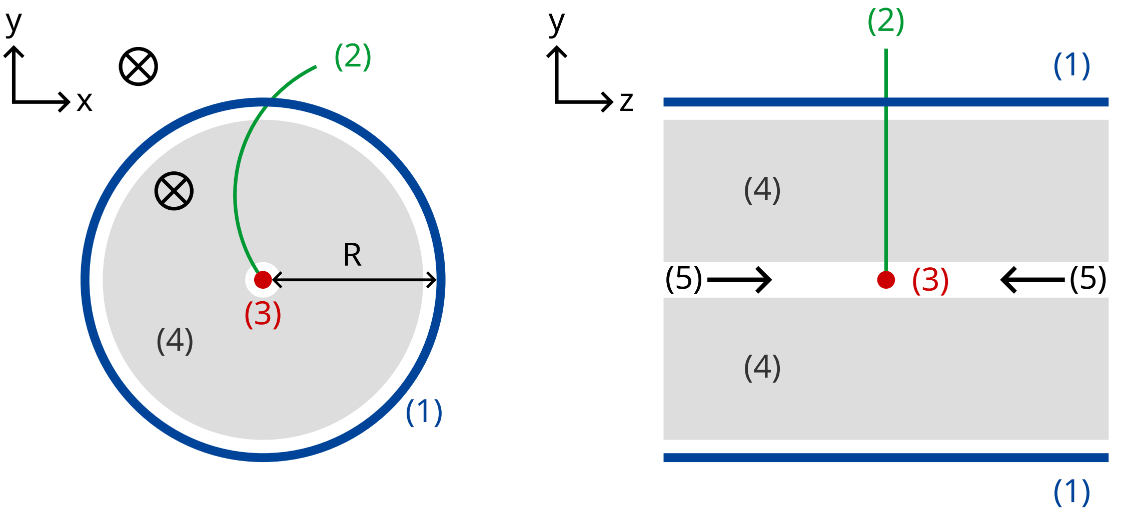
ខាងក្រោមនេះ ផង់ដែលបានបង្កើតដោយ LHC detector ត្រូវបានកំណត់ឈ្មោះដោយពីរជំហានគឺ tracking detector និង ToF detector។

Figure 3 បង្ហាញអំពីការដំឡើងក្នុងប្លង់កាត់ទទឹង និងប្លង់កាត់បណ្តោយបាច់ប្រូតុង។ detectors ទាំងពីរជាបំពង់នៅក្នុងតំបន់អន្តរកម្មដែលបាច់ឆ្លងកាត់កណ្តាលបំពង់។ Tracking detector វាស់ផ្លូវចរនៃ charged particle ដែលឆ្លងកាត់ដែនម៉ាញ៉េទិចដែលមានទិសដៅស្របនឹងបាច់ប្រូតុង។

កាំ r នៃគន្លងអោយយើងគណនាបាននូវបរិមាណចលនាទទឹង p_T នៃផង់។

ដោយស្គាល់រយៈពេលទង្គិច ToF detector ត្រូវការតែបំពង់មួយដើម្បីវាស់រយៈពេលហោះ។ បំពង់ ToFនេះ វាស្ថិតនៅខាងក្រៅ tracking chamber។

ក្នុងលំហាត់នេះ អ្នកអាចសន្មត់ថាគ្រប់ផង់ដែលបង្កើតដោយទង្គិចវាកែងទៅនឹងបាច់ប្រូតុងគឺផង់ដែលកើតឡើងគ្មានបរិមាណចលនាបណ្តោយបាច់ប្រូតុងទេ



transverse plane

cross section of the longitudinal view at the center of the tube along the beamline

(1) - ToF tube
(2) - track
(3) - collision point
(4) - tracking tube
(5) - proton beams
⊗ - magnetic field

Figure 3 : Experimental setup for particle identification with a tracking chamber and a ToF detector. Both detectors are tubes surrounding the collision point in the middle. Left : transverse view perpendicular to the beamline. Right : longitudinal view parallel to the beam line. The particle is travelling perpendicular to the beam line.

B.3	តាងម៉ាស់ផង់ជាអនុគមន៍នៃ B, R បំពង់ ToF ថេរត្រី៖ និងទំហំដែលដែលបានវាស់រួច: r និង t។	1.7pt

យើងរកឃើញផង់ចំនួនបួន និងត្រូវដាក់ឈ្មោះអោយវា។ ដោយ $B = 0.500\ \mathrm{T}$ ហើយ R ស្មើ $3.70\ \mathrm{m}$ ។ ខ្នាតនៃរង្វាស់ ($1\ \mathrm{ns} = 10^{-9}\ \mathrm{s}$):

Particle	Radius of the trajectory r $[\mathrm{m}]$	Time of flight t $[\mathrm{ns}]$
A	5.10	20
B	2.94	14
C	6.06	18
D	2.31	25

B.4	កំណត់ឈ្មោះនៃផង់ទាំងបួនដោយគណនាម៉ាស់របស់វា។	0.8pt