ព្រះរាជាណាចក្រកម្ពុជា
ជាតិ សាសនា ព្រះមហាក្សត្រ

ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា

# ការអនុវត្តវិធីសាស្ត្របង្រៀន
# តាមបែបដោះស្រាយបញ្ហា
# និងវិធីបង្រៀន
# តាមបែបតុក្កតាគំនិត
# លើមុខវិជ្ជារូបវិទ្យា

ប្រើប្រាស់ថវិកាដោយគម្រោងអភិវឌ្ឍន៍
វិស័យអប់រំមធ្យមសិក្សាទុតិយភូមិ(USESDP)

ឆ្នាំ២០២០

# បុព្វកថា

ទស្សនវិស័យអប់រំនាសតវត្សរ៍ទី២១ បាននាំមកនូវវឌ្ឍនភាពទាំងផ្នែកវិទ្យាសាស្ត្រ និងបច្ចេកវិទ្យាឌីជីថល ដែលជាមូលដ្ឋានគ្រឹះក្នុងការអភិវឌ្ឍសង្គម និងសេដ្ឋកិច្ច។ ឆ្លើយតបទៅនឹងទស្សនៈខាងលើនេះ ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា បានយកចិត្តទុកដាក់លើការបណ្តុះបណ្តាល និងការអភិវឌ្ឍធនធានមនុស្សប្រកបដោយចីរភាព ដោយដាក់ចេញនូវគោលដៅជាអាទិភាព សម្រាប់ការធ្វើកំណែទម្រង់វិស័យអប់រំ ឈរលើសសរស្តម្ភចំនួន៥ រួមមាន៖ (១)ការអនុវត្តគោលនយោបាយគ្រូបង្រៀន (២)ការវាយតម្លៃ (៣)ការងារអធិការកិច្ច (៤)កម្មវិធីសិក្សា និងបរិស្ថានសិក្សា និង (៥)ឧត្តមសិក្សា។ ការធ្វើកំណែទម្រង់គ្រូបង្រៀន និងកម្មវិធីសិក្សា គឺដើម្បីជានាឱ្យកម្ពុជាមានការអប់រំប្រកបដោយគុណភាព មានធនធានមនុស្សប្រកបដោយសមត្ថភាពវិជ្ជាជីវៈ និងដើម្បីឆ្លើយតបទៅនឹងតម្រូវការទីផ្សារពលកម្ម។

ទ្រឹស្តីនៃការរៀននិងបង្រៀន វិធីសាស្ត្របង្រៀន វិធីបង្រៀន និងយុទ្ធវិធីបង្រៀនល្អៗ សម្រាប់លើកកម្ពស់ឧត្តមភាពគ្រូបង្រៀន និងគុណភាពនៃការសិក្សា ត្រូវបានរៀបចំឡើងទៅតាមទស្សនៈ និងចក្ខុវិស័យថ្មីៗ ដោយបានធ្វើការសំយោគចំណេះដឹងពីទ្រឹស្តីអប់រំបែបស្ថាបនានិយម កម្រិតគិតរបស់ប្លូមតាក់សូណូមី និងវិធីសាស្ត្របង្រៀនបច្ចុប្បន្នរបស់ប្រទេសមួយចំនួនក្នុងតំបន់ និងសាកលលោក ដើម្បីឱ្យសិស្សានុសិស្សទទួលបានវិជ្ជាសម្បទា បំណិនសម្បទា ចរិយាសម្បទា និងកាយសម្បទា។

ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា សង្ឃឹមថាគ្រប់ស្ថាប័នពាក់ព័ន្ធទាំងអស់ នឹងចូលរួមគាំទ្រអនុវត្តវិធីសាស្ត្របង្រៀនទាំងអស់នេះ ដើម្បីពង្រឹងសក្តានុពលរបស់គ្រូបង្រៀនគ្រប់កម្រិតសិក្សា និងអភិវឌ្ឍជំនាញវិជ្ជាជីវៈគ្រូបង្រៀនឱ្យកាន់តែបានល្អប្រសើរឡើង។

ក្រសួង សូមថ្លែងអំណរគុណយ៉ាងជ្រាលជ្រៅ និងកោតសរសើរចំពោះគណៈកម្មការអភិវឌ្ឍវិធីសាស្ត្របង្រៀន គ្រូឧទ្ទេស និងលោកគ្រូ-អ្នកគ្រូ ដែលបានខិតខំប្រឹងប្រែងយកអស់កម្លាំងកាយចិត្ត និងប្រាជ្ញា ធ្វើឱ្យស្នាដៃដ៏មានសារៈសំខាន់នេះសម្រេចបាន ដើម្បីជាប្រយោជន៍ដល់សង្គមជាតិយើង។

ថ្ងៃ [illegible] ខែ [illegible] ឆ្នាំជូត ទោស័ក ព.ស. ២៥៦៤

រាជធានីភ្នំពេញ ថ្ងៃទី ១៤ ខែ ០៧ ឆ្នាំ២០២០

**រដ្ឋមន្ត្រីក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា**

បណ្ឌិតសភាចារ្យ **ហង់ជួន ណារ៉ុន**

# អារម្ភកថា

ឯកសារស្រាវជ្រាវផ្នែករូបវិទ្យា វិធីសាស្រ្តដោះស្រាយលំហាត់ វិធីបង្រៀនតាមបែបតុក្កតាគំនិត និងកិច្ចតែងការ បង្រៀន៉ ដែលលោកគ្រូ អ្នកគ្រូកំពុងអាននេះ ត្រូវបានតាក់តែងឡើងដើម្បីជួយពង្រឹង និងពង្រីកសមត្ថភាពចំណេះដឹង ផ្នែក វិធីសាស្រ្តបង្រៀនថ្មីៗបន្ថែម ជូនដល់លោកគ្រូ-អ្នកគ្រូរូបវិទ្យា ដែលកំពុងបង្រៀននៅតាមសាលាមធ្យមសិក្សាទុតិយភូមិ។ ជាពិសេសគឺការបង្រៀនសិស្សតាមគោលវិធីសិស្សមជ្ឈមណ្ឌលដែលជាវិធីសកម្មមួយ។

វិធីសាស្រ្តបង្រៀនថ្មីនេះតម្រូវឱ្យលោកគ្រូ អ្នកគ្រូ ប្រើប្រាស់វាក្នុងការបង្រៀនសិស្សក្នុងថ្នាក់រៀនជាក់ស្តែង និងជាពិសេស គឺនៅឆ្នាំសិក្សាថ្មីនេះ( 2020 2021)តែម្តង។ វាជាផ្នែកមួយនៃការបង្រៀន-រៀនតាមបែបសកម្ម ដែលគ្រូ និងសិស្សមាន អន្តរកម្មលើគ្នាទៅវិញទៅមក។ តាមរយៈនៃការប្រើប្រាស់វិធីសាស្រ្តថ្មីនេះ ធ្វើឱ្យសិស្សប្រើប្រាស់ញាណស្ទើរតែទាំងអស់របស់គេរួមគ្នា ដែលធ្វើឱ្យគេចងចាំ ខ្លឹមសារមេរៀនបានយូរ។

ខ្លឹមសារសំខាន់ៗរបស់វាគឺ គ្របដណ្តប់លើក្បួនដោះស្រាយលំហាត់ វិធីបង្រៀនតាមបែបតុក្កតាគំនិត ការសរសេរកិច្ចតែងការបង្រៀន និងការធ្វើពិសោធ ដែលជាវិធីសាស្រ្តថ្មីក្នុងការបង្រៀនតាមបែបសតវត្សទី២១។ ការបង្រៀនពិសោធន៍រូបវិទ្យាដោយប្រើ E-Lab ជាការបង្រៀនតាមបែប "STEM" ទំនើប ដែលក្រសួង អប់រំ យុវជន និងកីឡាបាន និងកំពុងជំរុញឱ្យគ្រឹះស្ថានអប់រំទាំងអស់ នៅទូទាំងព្រះរាជាណាចក្រកម្ពុជាត្រូវតែអនុវត្ត។

បន្ទាប់ពីបញ្ចប់ការរៀន និង/ឬការអានសៀវភៅនេះ យើងខ្ញុំសង្ឃឹមថា លោកគ្រូ អ្នកគ្រូនឹងទទួលបានចំណេះដឹង និង គំនិតច្រើនលើផ្នែកវិធីបង្រៀនដោះស្រាយលំហាត់ វិធីបង្រៀន តាមបែបតុក្កតាគំនិត ការសរសេរកិច្ចតែងការបង្រៀន និងការធ្វើពិសោធ។ លោកគ្រូ អ្នកគ្រូនឹងក្លាយជាគ្រូបង្រៀនវិទ្យាសាស្រ្ត អ្នកអប់រំវិទ្យាសាស្រ្ត ឬអ្នកស្រាវជ្រាវវិទ្យាសាស្រ្ត និងបង្រៀន STEM បានយ៉ាងល្អ។

សូមជូនពរឱ្យលោកគ្រូ អ្នកគ្រូទទួលបានជោគជ័យ!!!

យើងខ្ញុំរង់ចាំទទួលការផ្តល់យោបល់ រិះគន់ ស្ថាបនាពីគ្រប់មជ្ឈដ្ឋានដើម្បីឱ្យឯកសារនេះកាន់តែមានប្រសិទ្ធិភាព និង ផ្តល់ជាប្រយោជន៍សម្រាប់ការបង្រៀននិងរៀន។

គណកម្មការនិពន្ធ

គ្រូឧទ្ទេសរូបវិទ្យានៃវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ

**១.គណៈកម្មការគ្រប់គ្រង**

១-ឯកឧត្តមបណ្ឌិតសភាចារ្យ **ហង់ជួន ណារ៉ុន** រដ្ឋមន្ត្រីក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា

២-ឯកឧត្តមបណ្ឌិតសភាចារ្យ **ណាត ប៊ុនរឿន** រដ្ឋលេខាធិការក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា

៣-ឯកឧត្តមបណ្ឌិត **សៀង សុវណ្ណា** នាយកនៃវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ

៤- លោក **ឌី មុណ្ណា** នាយករងនៃវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ

៥-បណ្ឌិត **នួន ទិវ៉ា** នាយករងនៃវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ

៦-លោកស្រី **ប៊ុន សុផានី** នាយិការងនៃវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ

៧-លោក **ថៃ ហេង** នាយិការងនៃវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ

**២. គណៈកម្មការនិពន្ធ រៀបរៀង និងចងក្រងសៀវភៅ**

១-គ្រូឧទ្ទេស **គណិតវិទ្យា និងវិទ្យាសាស្ត្រ** វិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ

២-គ្រូបង្រៀន **គណិតវិទ្យា និងវិទ្យាសាស្ត្រ** សាលាជំនាន់ថ្មី

**៣. គណៈកម្មការត្រួតពិនិត្យ និងកែលម្អ**

១-លោក **ម៉ៅ សារឿន** ប្រធានដេប៉ាតឺម៉ង់អប់រំនៃវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ

២-លោក **ចេង ថុន** អនុប្រធានដេប៉ាតឺម៉ង់អប់រំនៃវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ

៣-លោក **គឹម លាង** អនុប្រធានដេប៉ាតឺម៉ង់អប់រំនៃវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ

# មាតិកា


បុព្វកថា ........................................................................................ i
អារម្ភកថា ........................................................................................ ii
មេរៀនទី១៖ វិធីសាស្ត្របង្រៀនតាមបែបដោះស្រាយលំហាត់ ........................................ 1
១.១ សេចក្តីផ្តើម ........................................................................... 1
១.២ ជំហានទាំងបួនរបស់លោក ចច ប៉ូលៀ (George Polya ១៩៥៧) .............................. 2
១.៣ អត្ថន័យនៃលំហាត់ ..................................................................... 3
១.៤ ប្រភេទលំហាត់ និងដំណាក់កាលនៃការណែនាំសិស្សឱ្យដោះស្រាយលំហាត់ ......................... 3
១.៤.១ លំហាត់ស្រាវជ្រាវ ................................................................ 4
១.៤.២ លំហាត់គណនា ................................................................... 6
មេរៀនទី២ ៖ ចលនាត្រង់ ............................................................................ 10
២.១.ចលនាត្រង់ ........................................................................... 10
២.២.ចម្ងាយចរ វ៉ិចទ័រទីតាំង និងបំលាស់ទី ..................................................... 11
២.៣.ល្បឿន និងវ៉ិចទ័រល្បឿន ................................................................. 12
២.៣.១.ល្បឿន (ទំហំស្កាលែ) ............................................................ 12
២.៣.២ វ៉ិចទ័រល្បឿន .................................................................... 14
២.៣.៣ វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យម ............................................................... 14
២.៣.៤ វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ ................................................................ 15
២.៤ សំទុះ ................................................................................... 17
២.៤.១ សំទុះមធ្យម ...................................................................... 17
២.៤.២ សំទុះខណៈ ....................................................................... 18
២.៥ ចលនារបស់អង្គធាតុតាមមួយវិមាត្រ ......................................................... 20
២.៥.១ ចលនាត្រង់ស្មើ .................................................................... 20
២.៥.២ ចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើ .............................................................. 22
២.៦. សំណួរ និងលំហាត់ ..................................................................... 25
មេរៀនទី៣ ៖ បន្ទុកអគ្គិសនី និងដែនអគ្គិសនី ............................................................ 32
៣.១.បន្ទុកអគ្គិសនី ............................................................................ 32
៣.១.១.ដើមកំណើតអេឡិចត្រូស្តាទិច ........................................................ 32
៣.១.៣.ច្បាប់រក្សាបន្ទុកអគ្គិសនី ............................................................. 34
៣.១.៤.ដង់ស៊ីតេបន្ទុកអគ្គិសនី ............................................................... 34
៣.២.ច្បាប់គូឡុំ (Charles-Augustin de Coulomb(1736 - 1806)) ................................... 36
៣.២.១.តម្លៃនៃកម្លាំងអគ្គិសនី ............................................................... 36

៣.២.២ កន្សោមវិចទ័រកម្លាំងអគ្គិសនី....................37
៣.២.៣.កន្សោមវិចទ័រកម្លាំងអគ្គិសនីក្នុងតម្រុយដេកាត....................37
៣.២.៤.បង្គុំកម្លាំងអគ្គិសនីច្រើន(អនុវត្តគោលការណ៍តម្រួត)....................38
៣.៣.ដែនអគ្គនិសនី....................38
៣.៣.១.និយមន័យ....................38
៣.៣.២.ដែនអគ្គិសនីបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីមួយ....................39
៣.៣.៣.ដែនអគ្គិសនីបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីច្រើន....................40
៣.៣.៤. ខ្សែដែនអគ្គិសនី....................42
៣.៣.៥. ដែនអគ្គិសនីបង្កើតដោយរបាយបន្ទុកអគ្គិសនីជាប់ៗគ្នា....................42
៣.៣.៦. ដែនអគ្គិសនីឯកសណ្ឋាននៅចន្លោះបន្ទះលោហៈពីរដាក់ស្របគ្នា....................46
មេរៀនទី៤ ៖ ដែនម៉ាញេទិច....................51
៤.១.មេដែក និងដែនម៉ាញេទិច....................51
៤.១.១. មេដែក....................51
៤.១.២.សញ្ញាណដែនម៉ាញេទិច....................52
៤.២.ដែនម៉ាញេទិចនៃផែនដី....................53
៤.៣. ដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តអគ្គិសនី....................54
៤.៣.១. ដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តត្រង់....................54
៤.៣.២. ដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តវង់....................54
៤.៣.៣. ដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តសូលេណូអ៊ីត....................55
៤.៣.៤. បូប៊ីនហ៊ុមហ៊ុល (Helmholtz)....................56
កិច្ចតែងការបង្រៀនគំរូតាមបែបដោះស្រាយបញ្ហា)លំហាត់(....................61
កិច្ចតែងការបង្រៀនគំរូទី១....................61
កិច្ចតែងការបង្រៀនគំរូទី២....................67
កិច្ចតែងការបង្រៀនគំរូទី៣....................74
មេរៀនទី៥ ៖ តុក្កតាគំនិត....................80
៥.១ ការណែនាំអំពីតុក្កតាគំនិត....................80
៥.២ តើតុក្កតាគំនិតជាអ្វី?....................80
៥.៣ គន្លឹះសំខាន់ៗនៃតុក្កតាគំនិត....................83
មេរៀនទី៦ ៖ បង្គុំរេស៊ីស្តង់អគ្គិសនី....................85
៦.១ រេស៊ីស្តង់ និង និម្មិតសញ្ញារបស់វា....................85
៦.២ បង្គុំរេស៊ីស្តង់ជាស៊េរី....................85
៦.៣ បង្គុំរេស៊ីស្តង់ជាខ្នែង....................85

៦.៤ កម្រិតល្បៀងភាគរយ(% កម្រិតល្បៀង) និងផលសងភាគរយ(% ផលសង) ................ 86
មេរៀនទី៧ ៖ ខួបនៃប៉ោលរ៉ឺសរ ................ 87
៧.១ ប៉ោលរ៉ឺសរដេក ................ 87
៧.២ លក្ខណៈលំយោលអាកម៉ូនិចងាយ ................ 90
មេរៀនទី៨ ៖ កម្លាំងអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច ................ 94
៨.១ **អំពើនៃកំលាំងម៉ាញេទិចលើបន្ទុកអគ្គិសនីផ្លាស់ទី** ................ 94
៨.២ អំពើនៃកំលាំងម៉ាញេទិចលើខ្សែចំលងត្រង់ឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត ................ 95
កិច្ចតែងការបង្រៀនគំរូទី១ ................ 99
សន្លឹកកិច្ចការបង្គុំរសើស្តង់ជាខ្មែង ................ 105
កិច្ចតែងការបង្រៀនគំរូទី២ ................ 109
សន្លឹកកិច្ចការពិសោធន៍ រូបវិទ្យាថ្នាក់ទី១១ ................ 116
កិច្ចតែងការបង្រៀនគំរូទី៣ ................ 119
សន្លឹកកិច្ចការកម្លាំងអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច ................ 125
ឯកសារយោង ................ 132

# មេរៀនទី១៖ វិធីសាស្ត្របង្រៀនតាមបែបដោះស្រាយលំហាត់

# វិធីសាស្ត្របង្រៀនតាមបែបដោះស្រាយលំហាត់

## ១.១ សេចក្តីផ្តើម

ហេតុអ្វីបានជាគ្រូត្រូវបង្រៀនវិធីដោះស្រាយលំហាត់ (ចំណោទ ឬបញ្ហា)?

វាជាការចាំបាច់ណាស់សម្រាប់ឱ្យសិស្សចេះរបៀបដោះស្រាយចំណោទ ឬលំហាត់នៅពេលអនាគត មិនថានៅ ក្នុងមុខវិជ្ជាគណិតវិទ្យា រូបវិទ្យា គីមីវិទ្យា ឬនៅក្នុងជីវភាពរស់នៅប្រចាំថ្ងៃទេ។ លោក Posamentier និងលោក Stepelman (1999) បានបង្ហាញអំពីផលិតផលបន្ទាប់បន្សំនៃការដោះស្រាយចំណោទ ឬលំហាត់បាន លុះត្រាតែសិស្សធ្វើតាមសំណើទាំងបីដូចខាងក្រោម៖

១. សិស្សត្រូវរៀនអានចំណោទ ឬលំហាត់ គណិតវិទ្យា រូបវិទ្យា គីមីវិទ្យា

២. សិស្សនឹងទទួលបាននូវការអភិវឌ្ឍន៍គំនិតផ្ទាល់ខ្លួនរបស់ពួកគេ

៣. សិស្សនឹងរៀនរកកំហុស និងវិភាគចំណោទដែលដាក់ឱ្យពួកគេ

**ទី១៖** តាមរយៈការពិសោធអំពីដំណោះស្រាយចំណោទ ឬលំហាត់មួយចំនួន សិស្សអាចដឹងថាសូម្បីតែមួយ ឃ្លា ឬមួយប្រយោគក៏អាចមានព័ត៌មានច្រើនប្រកបដោយអត្ថន័យផងដែរ ហើយសិស្សក៏អាចដឹងផងដែរថា ការអានដ៏ ប្រុងប្រយ័ត្ន ឬការអានសារចុះសារឡើង ឬការពិនិត្យ មើលសារចុះសារឡើងទៅលើប្រយោគចំណោទ ឬលំហាត់គណិតវិទ្យា រូបវិទ្យា គីមី... នាំឱ្យមានគំនិតយល់ច្បាស់នឹងយុទ្ធវិធីសមស្របសម្រាប់ដោះស្រាយចំណោទ ឬលំហាត់។ សិស្ស ក៏អាចដឹងដែរថា ការអានត្រួសៗ ឬការអានលឿនពេកមានប្រយោជន៍តិចតួចណាស់ក្នុងការដោះស្រាយចំណោទ ឬលំហាត់គណិតវិទ្យា រូបវិទ្យា គីមី... ។

**ទី២៖** សិស្សដែលបានទទួលការបណ្តុះបណ្តាលគណិតវិទ្យា រូបវិទ្យា គីមី... បានច្រើនឆ្នាំអាចយល់បានថាតើ គេបានអភិវឌ្ឍបំណិនដោះស្រាយចំណោទ ឬលំហាត់របស់ខ្លួននៅក្នុងរយៈពេលនោះប៉ុណ្ណោះ។ ពួកគេនឹងមានទឹកចិត្ត ដោយបានឃើញអំពីការរីកចម្រើនរបស់ខ្លួនលើផ្នែកបំណិនដោះស្រាយចំណោទ ឬលំហាត់។បទពិសោធន៍ប្រកប ដោយជោគជ័យនេះជាបន្តបន្ទាប់ នឹងធ្វើឱ្យសិស្សចូលចិត្ត និងចង់រៀនវិទ្យាសាស្ត្រ ពិសេសគឺមុខវិជ្ជារូបវិទ្យា។

**ទី៣៖** សិស្សអាចទទួលបាននូវគំនិតវិភាគ និងចេះរកកំហុសនៃចំណោទឬលំហាត់គណិតវិទ្យា រូបវិទ្យា គីមី... តាមរយៈបទពិសោធន៍ក្នុងការដោះស្រាយចំណោទ និងលំហាត់ ។ ប្រសិនបើអំណះអំណាងចំណោទ និងលំហាត់មិន មានបម្រាប់គ្រប់គ្រាន់ ឬមានបម្រាប់លើសលុប ឬគ្មានដំណោះស្រាយ សិស្សអាចរកឃើញភាពមិនសមស្របនៃអំណះ អំណាងនោះ ហើយធ្វើការវិភាគដោយរៀបអំណះអំណាងឡើងវិញដើម្បីឱ្យវាមានន័យគ្រប់គ្រាន់។ សកម្មភាពនេះអាច ជួយឱ្យសិស្សចេះគិតចំណោទ និងលំហាត់បានស៊ីជម្រៅ។

## ១.២ ជំហានទាំងបួនរបស់លោក ចច ប៉ូលៀ (George Polya ១៩៥៧)

លោក ចច ប៉ូលៀ (១៩៥៧)បានពិពណ៌នាអំពីផែនការសម្រាប់ដោះស្រាយចំណោទ និងលំហាត់ទូទៅមួយ ដោយមានបួនជំហានប្រទាក់ក្រឡាគ្នាដូចខាងក្រោម៖

១. ការយល់បញ្ហា

២. ការបង្កើតផែនការ

៣. ការអនុវត្តផែនការ

៤. ការពិនិត្យមើលឡើងវិញ

**ជំហានទី១៖** មិនគ្រាន់តែមានន័យត្រឹមតែយល់ប្រយោគដែលគេឱ្យប៉ុណ្ណោះទេ ជំហាននេះតម្រូវឱ្យអ្នកដោះស្រាយចំណោទ និងលំហាត់កំណត់ឱ្យបានច្បាស់អំពីលក្ខខណ្ឌដែលគេឱ្យ និងអ្វីដែលគេត្រូវរក ទោះបីជាសិស្សភាគច្រើនមើលហួសលក្ខខណ្ឌដែលគេឱ្យ ឬមានការភ័ន្តច្រឡំទៅលើពាក្យស្គាល់ និងមិនស្គាល់ ឬយល់ច្រឡំអំពីអ្វីដែលពួក គេត្រូវធ្វើក៏ដោយ។

**ជំហានទី២៖** រួមមានការវិភាគអំពីទំនាក់ទំនងរវាងអ្វីដែលមិនស្គាល់ លក្ខខណ្ឌដែលគេឱ្យ ចំណេះដឹង(ទ្រឹស្តី) និងបទពិសោធន៍ដែលទទួលបានកាលពីអតីតកាលដើម្បីបង្កើតយុទ្ធវិធីសម្រាប់ដោះស្រាយចំណោទ និងលំហាត់។ នៅ ក្នុងដំណាក់កាលនេះ អ្នកដោះស្រាយតម្រូវឱ្យគិត៖

ថា តើអ្វីជាអំណះអំណាង ឬជាសំណើសមមូល?

ថា តើពួកគេយល់ចំណោទ និងលំហាត់ដែលទាក់ទងគ្នាឬទេ?

ថា តើកំណែប្រែចំណោទ ឬ លំហាត់និងទ្រឹស្តីបទដែលស្គាល់អ្វីខ្លះដែលអាចយកមកពិចារណា?

ថា តើពួកគេបានប្រើប្រាស់លក្ខខណ្ឌ និងទិន្នន័យទាំងអស់ដែលគេឱ្យឬទេ?

ថា តើពួកគេត្រូវដោះស្រាយតាមដំណើរការអ្វី?

ថា តើពួកគេអាចដោះស្រាយចំណោទ ឬលំហាត់ទាំងមូល ឬដោយផ្នែកបានឬទេ?

**ជំហានទី៣៖** អ្នកពិតជាគិតថា វាមិនមែនជាដំណើរការសាមញ្ញទេ ពីព្រោះអ្នកដោះស្រាយចំណោទ ឬលំហាត់ ត្រូវតែពិនិត្យមើលថា តើជំហាននីមួយៗនៃដំណោះស្រាយរបស់ខ្លួនត្រឹមត្រូវឬទេ? ហើយជួនកាល ពួកគេត្រូវតែស្រាយ បញ្ជាក់ថា ប្រសិនបើ វាទំនងជាមិនច្បាស់លាស់។ នៅក្នុងករណីជាច្រើន ពួកគេមិនយល់ច្បាស់ថា តើហេតុអ្វីបានជាវា ត្រឹមត្រូវក្នុងខណៈពេលដែលពួកគេរៀនវា។

**ជំហានទី៤៖** អ្នកដោះស្រាយចំណោទ និងលំហាត់គួរតែពិនិត្យមើលដំណោះស្រាយរបស់ខ្លួនឡើងវិញ និង ជំហាននៃការឈានទៅដល់ដំណោះស្រាយនោះ។ ទោះបីជាមានអ្នកដោះស្រាយចំណោទ និងលំហាត់ភាគច្រើនបាន ឈានទៅដោះស្រាយចំណោទ និងលំហាត់មួយទៀត បន្ទាប់ពីពួកគេរកឃើញចម្លើយហើយក៏ដោយ ឥរិយាបថបែបនេះ ជារឿយៗនាំទៅដល់ការយល់ចន្លោះប្រហោងនៃទ្រឹស្តី។ ពួកគេអាចគិតត៖

ថា តើការរកដំណោះស្រាយ ឬក៏ការគណនារបស់ពួកគេត្រឹមត្រូវឬទេ?

ថា តើសម្រាយបញ្ជាក់របស់ពួកគេច្បាស់លាស់ចំពោះដំណោះស្រាយផ្សេងៗដែរឬទេ?

ថា តើមានដំណោះស្រាយផ្សេងទៀតដែរឬទេ? ឬដំណោះស្រាយមានន័យយ៉ាងដូចម្តេច?

ថា តើពិសេសកម្ម ឬទូទៅកម្មអ្វីខ្លះអាចយកមកពិចារណា?

## ១.៣ អត្ថន័យនៃលំហាត់

-លំហាត់ជាមេរៀនសម្រាប់សុក្រិតកម្មចំណេះដឹង ពោលគឺ វាជួយសិស្សឱ្យយល់បានកាន់តែច្បាស់ និង កាន់តែប្រសើរឡើងទៅលើចំណេះដឹង ទ្រឹស្តី ច្បាប់ រូបមន្ត ឬវិធានផ្សេងៗដែលទើបនឹងបានបង្រៀនរួច។

-លំហាត់ជាមធ្យោបាយមួយដែលគ្រូបង្រៀនអាចប្រើដើម្បីវាស់ស្ទង់ឬវាយតម្លៃសមត្ថភាពចំណេះដឹង ឬ ការយល់ដឹងរបស់សិស្ស។

-លំហាត់ជាមធ្យោបាយ ឬវិធីបង្រៀនមួយដែលគ្រូប្រើដើម្បីរំលឹក បូកសរុប និងពិនិត្យឡើងវិញនូវចំណេះ ដឹងទាំងឡាយដែលសិស្សបានរៀនរួច។

-លំហាត់ក៏ជាមធ្យោបាយប្រើដើម្បីផ្តល់ឱកាសឱ្យសិស្ស រៀនធ្វើការដោយឯករាជ្យ អនុវត្តចំណេះដឹង និង បំណិនគិត ប្រយោជន៍ដើម្បីពង្រីកការយល់ដឹង ភាពឈ្លាសវៃ និងគំនិតច្នៃប្រឌិតរបស់ខ្លួន ពោលគឺវាជួយសិស្សឱ្យចេះធ្វើការដោយមានការទទួលខុសត្រូវ និងមានភាពម្ចាស់ការកម្រិតខ្ពស់។ ដូចនេះ ផ្តើមចេញពីការដោះស្រាយលំហាត់ តើវាធ្វើឱ្យមានការរីកចម្រើនអ្វីខ្លះចំពោះសិស្ស?

- បង្កើនការចងចាំបញ្ញត្តិផ្សេងៗដូចជា និយមន័យ ទ្រឹស្តី ច្បាប់ រូបមន្ត....
- ផ្តល់ឱកាសឱ្យសិស្សយល់កាន់តែច្បាស់ និងស៊ីជម្រៅលើខ្លឹមសារនៃមេរៀន បាតុភូត និងដំណើរការនៃម៉ាស៊ីនណាមួយ។
- ធ្វើឱ្យសិស្សមានភាពប៉ិនប្រសព្វនិងស្ទាត់ជំនាញក្នុងការប្រើប្រាស់ខ្នាត ការបំបែកខ្នាត និងការគណនា។ ល។
- ធ្វើឱ្យសិស្សមានទម្លាប់ក្នុងការគិត ឈ្លាសវៃ និងមានភាពរហ័សរហួនក្នុងដំណោះស្រាយរាល់បញ្ហាផ្សេងៗដែលកើតមានតាមរយៈការប្រើប្រាស់បញ្ញត្តិ ទ្រឹស្តី ឬច្បាប់ផ្សេងៗរបស់វិទ្យាសាស្ត្រ។
- បង្កើនគំនិតច្នៃប្រឌិត ការស្រាវជ្រាវ និងការបង្កើតថ្មី

## ១.៤ ប្រភេទលំហាត់ និងដំណាក់កាលនៃការណែនាំសិស្សឱ្យដោះស្រាយលំហាត់

ប្រភេទលំហាត់មាន៖

1. លំហាត់ស្រាវជ្រាវ
2. លំហាត់គណនា
3. លំហាត់ពិសោធ
4. លំហាត់ក្រាហ្វិក
5. លំហាត់បង្កើតថ្មី

## ១.៤.១ លំហាត់ស្រាវជ្រាវ

លំហាត់ស្រាវជ្រាវ ជាលំហាត់ដែលមានទម្រង់ជាសំណួរទាក់ទងទៅនឹងបាតុភូតផ្សេងៗ ហើយដែលពេលដោះស្រាយពុំចាំបាច់មានប្រើការគណនាច្រើន ឬស្មុគ្រស្មាញនោះទេ។ ពេលខ្លះ វាត្រូវបានគេហៅ ថា "សំណួរស្រាវជ្រាវ"។ សំណួរ ឬលំហាត់ប្រភេទនេះ វាអាចមានន័យធ្ងន់(ពិបាក) ឬស្រាល (ងាយ)អាស្រ័យនឹងការប្រើប្រាស់សំណួរ(ពាក្យ សួរ)របស់គ្រូ ដូចជា តើនឹងមានអ្វីកើតឡើង? តើអ្នកសន្និដ្ឋានដូចម្ដេច? ហេតុអ្វី? ចូរពន្យល់...។

ឧទាហរណ៍៖

a. តើនឹងមានអ្វីកើតឡើងកាលណាគេយកទូរស័ព្ទដែលដំណើរការធម្មតាទៅប់ឱ្យជិតដោយសន្លឹកក្រដាសអា លុយមីញ៉ូម ហើយប្រើទូរសព្ទមួយទៀតដើម្បីទាក់ទងទៅវា?

b. កាលណាគេយកទូរស័ព្ទមួយ(ដំណើរការធម្មតា) ទៅខ្ចប់ឱ្យជិតដោយសន្លឹកក្រដាសអាលុយមីញ៉ូម នោះគេ ពុំអាចទាក់ទងបាន។ ហេតុអ្វី? ចូរពន្យល់។

c. តើនឹងមានអ្វីកើតឡើងកាលណាមនុស្សឈរស្ងៀមលើទូកអណ្ដែតក្នុងទឹកនឹង? ហើយនិងកាលណាមនុស្ស ដើរលើទូកអណ្ដែតក្នុងទឹកនឹង? (សិក្សាករណីមិនគិតឥទ្ធិពលនៃចរន្តខ្យល់)

d. ទូកអណ្ដែតក្នុងទឹកនឹង។ កាលណា ៖

- មនុស្សឈរស្ងៀមលើទូក នោះទូកនៅស្ងៀម (នឹង) ដែរ
- មនុស្សដើរទៅមុខ នោះទូកផ្លាស់ទីទៅក្រោយ ហេតុអ្វី? ចូរពន្យល់។

ពីឧទាហរណ៍ខាងលើ $a$ $b$ $c$ និង $d$ គេចែកលំហាត់ស្រាវជ្រាវជាពីរប្រភេទគឺ៖

*+ លំហាត់ពន្យល់លើបាតុភូត* (ឬលំហាត់ស្រាយបញ្ជាក់លើបាតុភូត) ដូចជា b និង d វាសម្គាល់ដោយសំណួរ ៖ ហេតុអ្វី? ចូរពន្យល់។ ហេតុអ្វី? ចូរស្រាយបញ្ជាក់។ ... ដែលក្នុងនោះគេឱ្យផល(ចម្លើយ)សួររកមូលហេតុ។

*+ លំហាត់សន្និដ្ឋានលើបាតុភូត* (ប៉ាន់ស្មានបាតុភូត)ដូចជា a និង c វាសម្គាល់ដោយសំណួរ៖ តើនឹងមានអ្វីកើតឡើង? តើអ្នកអាចសន្និដ្ឋានដូចម្ដេច? តើវានឹងទៅជាយ៉ាងណា?...

ជាទូទៅលំហាត់សន្និដ្ឋានបាតុភូតមានលក្ខណៈងាយជាងលំហាត់ពន្យល់បាតុភូត ព្រោះ សិស្សគ្រាន់តែប្រាប់ នូវចម្លើយជាការស្រេច ដោយពុំចាំបាច់ពន្យល់ហេតុផល ដូចលំហាត់ពន្យល់បាតុភូតនោះឡើយ។

ករណីខ្លះលំហាត់ទាំងពីរខាងលើអាចត្រូវបានបញ្ចូលគ្នាដូចជា៖ ប៉ោងៗមួយចងមាត់ជិត ដាក់ក្នុងកែវក្រុង រួចបូមខ្យល់ចេញពីកែវក្រុងនោះ។ តើនឹងមានអ្វីកើតឡើងចំពោះប៉ោងៗ? ចូរពន្យល់។ ដំណាក់កាលនៃការណែនាំសិស្សឱ្យដោះស្រាយលំហាត់ស្រាវជ្រាវ

- ការណែនាំសិស្សឱ្យដោះស្រាយស្រាយលំហាត់មិនមែនជាការដោះស្រាយលំហាត់ទេ ប៉ុន្តែក្នុងនោះមានដំណោះស្រាយលំហាត់ មានន័យថាដើម្បីណែនាំសិស្សឱ្យដោះស្រាយលំហាត់ គ្រូត្រូវតែដោះស្រាយលំហាត់នោះជាមុន សិន(រកចម្លើយឱ្យឃើញសិន) រួចទើបគិត ឬរិះរកវិធីណែនាំ។
- ការដោះស្រាយលំហាត់ ជាការលំបាកចំពោះករណីខ្លះ តែការណែនាំសិស្សឱ្យដោះស្រាយលំហាត់វារឹតតែ លំបាកទៅទៀត។

ឧទាហរណ៍៖ ចំពោះលំហាត់(សំណួរ) d ខាងលើ តើអ្នកត្រូវធ្វើការណែនាំសិស្សយ៉ាងដូចម្តេចខ្លះដើម្បីឱ្យ ពួកគាត់អាចដោះស្រាយបាន?

<u>ដើម្បីណែនាំសិស្សដោះស្រាយលំហាត់ខាងលើគ្រូត្រូវ៖</u>

(i) ណែនាំឱ្យសិស្សអានប្រធានលំហាត់(សំណួរ)ដោយយកចិត្តទុកដាក់ពីរ ឬបីដងដើម្បីឱ្យយល់ច្បាស់ពីខ្លឹមសារលំហាត់(សំណួរ) រួចស្រង់ព័ត៌មាន(សម្មតិកម្មអ្វីដែលគេឱ្យ ឬប្រាប់ អញ្ញត្តិអ្វីដែលគេសួរ ឬចង់បាន)។ ឧទាហរណ៍(i) ក្នុងឧទាហរណ៍ d ខាងលើ បន្ទាប់ពីឱ្យសិស្សអាន អាចស្រង់បានព័ត៌មាន

- ទូកនឹង ទូកអណ្តែត
- មនុស្សនៅស្ងៀម ទូកនៅស្ងៀម(មិនគិតឥទ្ធិពលនៃខ្យល់)
- មនុស្សដើរទៅមុខ ទូកផ្លាស់ទីទៅក្រោយ ហេតុអ្វី?

(ii) ផ្អែកលើបម្រាប់(អ្វីដែលមាន) ឱ្យសិស្សវិភាគ និងរកឱ្យឃើញនូវទ្រឹស្តី ច្បាប់ ឬរូបមន្តដែលត្រូវប្រើ។

ឧទាហរណ៍(ii) វត្ថុដែលសិក្សាមានពីរគឺ៖ ទូក និងមនុស្ស ៖

- ទូកមានម៉ាស $m_b > 0$ ទូកនៅស្ងៀម គេបាន $\vec{v}_b = 0$
- មនុស្សមានម៉ាស $m_p > 0$ មនុស្សនៅស្ងៀម គេបាន $\vec{v}_p = 0$ (មនុស្សនៅស្ងៀមទូកនៅនឹង)
- មនុស្សដើរទៅមុខ $\Rightarrow \vec{v}_P \neq 0 \quad m_p$ : ថេរ
- ទូកផ្លាស់ទីទៅក្រោយ $\Rightarrow \vec{v}_b \neq 0$ $m_b$: ថេរ(មនុស្សដើរទៅមុខទូកទៅក្រោយ $\vec{v}_P \uparrow\downarrow \vec{v}_b$ )

ដូច្នេះ បញ្ញត្តិដែលត្រូវប្រើមាន៖

- បរិមាណចលនា $\vec{p} = m\vec{v}$ (ជាតម្លៃ $p = mv$ )
- ច្បាប់រក្សាបរិមាណចលនា $\sum \vec{P}_i = \sum \vec{P}_f$

(បរិមាណចលនាសរុបមុនទង្គិច = បរិមាណចលនាសរុបក្រោយទង្គិច)

(iii) ណែនាំសិស្សឱ្យដោះស្រាយ ឬបង្ហាញថាអ្វីដែលសិក្សាមានបាតុភូតត្រូវនឹងទ្រឹស្តី ច្បាប់ រូបមន្ត...ដែលបានរកឃើញខាងលើ។

ឧទាហរណ៍(iii) ពេលមនុស្សឈរស្ងៀម គេបាន $\vec{p}_{ip} = m_p\vec{v}_{ip} = 0$

- ទូកនៅស្ងៀម គេបាន $\vec{p}_{ib} = m_b\vec{v}_{ib} = 0$ : $\sum \vec{P}_i = 0$
- ពេលមនុស្សដើរ គេបាន $\vec{p}_{fp} = m_p\vec{v}_{fp}$
- ទូកផ្លាស់ទី គេបាន $\vec{p}_{fb} = m_b\vec{v}_{fb}$ : $\sum \vec{P}_f = m_P\vec{v}_{fP} + m_b\vec{v}_{fb}$
- តាមច្បាប់រក្សាបរិមាណចលនា គេបាន $\sum \vec{P}_i = \sum \vec{P}_f$

$$m_p\vec{v}_{fp} + m_b\vec{v}_{fb} = 0$$

$$\Rightarrow m_p\vec{v}_{fp} = -m_b\vec{v}_{fb}$$

ដោយ $m_p$ និង $m_b$ វិជ្ជមាន នាំឱ្យ $\vec{v}_{fp}$ និង $\vec{v}_{fb}$ មានទិសដៅផ្ទុយគ្នា ។

(iv) សន្និដ្ឋាន៖ ផ្អែកលើដំណោះស្រាយ ឬការបង្ហាញខាងលើណែនាំឱ្យសិស្សធ្វើសេចក្តីសន្និដ្ឋាន

ឧទាហរណ៍(iv) ដោយ $\vec{v}_{fp}$ និង $\vec{v}_{fb}$ មានទិសដៅផ្ទុយគ្នា(ឬពី $m_p\vec{v}_{fp} = -m_b\vec{v}_{fb}$) គេអាចសន្និដ្ឋានថា «ចលនារបស់មនុស្ស និងទូកផ្ទុយគ្នាជានិច្ចគឺ បើមនុស្សទៅមុខ នោះទូកទៅក្រោយ និងផ្ទុយទៅវិញ»។

***ណែនាំបន្ថែម***

- បើ $m_p = m_b \Rightarrow \vec{v}_{fp} = -\vec{v}_{fb}$ ឬ ជាតម្លៃ $v_{fp} = v_{fb}$
- បើ $m_p << m_b \Rightarrow \vec{v}_{fb} \to 0$ ពីព្រោះ $m_p v_{fp} = m_b v_{fb}$

$$\Rightarrow v_{fb} = \frac{m_p}{m_b} v_{fp}$$

$$m_p << m_b \Rightarrow \frac{m_p}{m_b} \to 0$$

$\Rightarrow v_{fb} \to 0$ ទោះជា $v_{fp}$ ធំប៉ុណ្ណាក៏ដោយ ។

## ១.៤.២ លំហាត់គណនា

<u>លំហាត់៖</u> ក្មេងម្នាក់រត់ដោយរ៉ិចទ័រល្បឿន $\vec{v}$ ថេរ ដើម្បីតាមជិះឡានក្រុងមួយដែលកំពុងឈប់ស្ងៀមត្រង់ភ្លើងស្តុប។ នៅចម្ងាយ $x_o$ ពីឡាន ឡាននោះចេញដំណើរដោយសំទុះ $\vec{a}$ ថេរ ។ រកល្បឿនរបស់ក្មេងជា អនុគមន៍នៃ $a$ និង $x_o$ ដើម្បីបានជិះឡាននោះ ។

❖ តើគ្រូបង្រៀនណែនាំសិស្សឱ្យដោះស្រាយលំហាត់ខាងលើយ៉ាងដូចម្តេច?

- លំហាត់គណនាជាលំហាត់ដែលពេលដោះស្រាយត្រូវការគណនាជាចាំបាច់ដោយប្រើប្រាស់ចំណេះដឹងគណិតវិទ្យា ដូចជានព្វន្ត ធរណីមាត្រ ត្រីកោណមាត្រ អនុគមន៍អិចស្ប៉ូណង់ស្យែល លោការីត ដេរីវេ អាំងតេក្រាល ដើម្បីទាញរកតម្លៃនៃទំហំណាមួយដែលចង់បាន ។
- ពេលខ្លះគេចាំបាច់ត្រូវបង្កើតទំនាក់ទំនងរវាងទំហំ និងទំហំដោយវិចារ ឬដោយការបង្កើតសមីការ ប្រពន្ធ័សមីការ ឬវិសមីការ ប្រព័ន្ធវិសមីការ.........រួចដោះស្រាយតាមវិធីផ្ទឹម,បំបាត់, ជំនួស........។

ដើម្បីណែនាំសិស្សឱ្យដោះស្រាយលំហាត់ខាងលើគ្រូត្រូវ៖

(i) ណែនាំសិស្សឱ្យសិក្សា (វិភាគ)ប្រធានលំហាត់៖

- ឱ្យសិស្សអានប្រធានលំហាត់ឱ្យបាន២ ឬ៣ដងដើម្បី យល់ខ្លឹមសារ(អានដោយយកចិត្តទុកដាក់,អានបណ្តើរគិតបណ្តើរ )
- ឱ្យសិស្សស្រង់សម្មតិកម្មដោយតាំងទំហំនានា(អ្វីដែលគេសួរ)និងអញ្ញត្តិ(អ្វីដែលគេប្រាប់) ជាអក្សរកាត់ ភ្ជាប់ខ្នាតរបស់វា
- ឱ្យសិស្សគូររូបតាងបាតុភូតលំហាត់
- ឱ្យសិស្សស្រង់ពាក្យគន្លឹះឧទាហរណ៍៖ពីលំហាត់ខាងលើគេបាន៖(រកឱ្យឃើញពាក្យគន្លឹះ)

- អានលំហាត់
- សម្មតិកម្ម

- ក្មេងរត់ដោយរ៉ិចទ័រល្បឿនថេរ
- ឡានឈប់ស្ងៀមត្រង់ស្តុប $\vec{v}_{ab} = 0$
- នៅចម្ងាយ$x_o$ ពីឡាន, ឡានចេញដំណើរដោយសំទុះ $\vec{a}$ ថេរ $(m/s^2)$
- រកល្បឿនក្មេង $v$ ជាអនុគមន៍នៃ $a$ និង $x_o$

- គូររូបតាងបាតុភូតលំហាត់
- ស្រង់ពាក្យគន្លឹះ៖ តាមទាន់, បានជិះ

(ii) ណែនាំសិស្សឱ្យវិភាគបាតុភូតលំហាត់៖

- ផ្អែកលើបម្រាប់ឱ្យសិស្សពិនិត្យថាតើខ្លឹមសារលំហាត់ទាក់ទងនឹងមេរៀនណា? ទ្រឹស្តី ឬច្បាប់ណា?......
- ឱ្យសិស្សពិនិត្យថាតើបាតុភូតលំហាត់កើតឡើងយ៉ាងដូចម្តេច? ប៉ុន្មានដំណាក់កាល ? ដំណាក់កាលនីមួយៗត្រូវនឹងរូបមន្តណា?.....
- ឱ្យសិស្សគូរដ្យាក្រាមលម្អិតតាងបាតុភូត ឬ ដំណាក់កាលនីមួយៗនៃបាតុភូត ។

ឧទាហរណ៍៖ពីឧទាហរណ៍ខាងលើគេបាន ៖

- ក្មេងរត់ដោយរ៉ិចទ័រល្បឿនថេរ គេបានចលនារបស់ក្មេងជាចលនាត្រង់ស្មើ គេបាន៖

$$x_g = v_g t_g \qquad a_g = 0$$

- ឡានចេញដំណើរដោយសំទុះថេរ ចលនារបស់វាជាចលនាត្រង់ស្មុះស្មើគេបាន

$$x_b = \frac{1}{2} a t_b^2 + v_{ob} + (v_{ob} = 0)$$

- កំណត់យក0 ជាគល់ពេល )$t$ត្រូវបានចាប់ផ្តើមវាស់ ហើយ( 0 ជាគល់តម្រុយ)x ត្រូវបានចាប់ផ្តើមវាស់នៃ(+) ទិសដៅវិជ្ជមាន( $x$ ទៅស្តាំ និងសន្មតM ជាចំណុចតាមទាន់
- ពេលក្មេងតាមទាន់ឡាន គេបានរយៈពេលស្មើគ្នាធៀបនឹងគល់ពេល $t_g = t_b = t$ ហើយចម្ងាយ ស្មើគ្នាធៀបនឹងគល់ តម្រុយ $x_g = x_b$

(iii) ណែនាំសិស្សធ្វើប្លង់និងដោះស្រាយលំហាត់ (គម្រោង)

- ពីលទ្ធផលវិភាគក្នុងជំហាន(ii)ឱ្យសិស្សពិនិត្យថាតើខ្លួនកំពុងចង់បាន ឬចង់រកអ្វី? ដើម្បីបានរបស់នោះត្រូវធ្វើដូចម្តេច ? ចេញដំណើរពីចំណុចណា ?
- ឱ្យសិស្សសរសេរឡើងវិញនូវសមីការសំខាន់ៗដែលត្រូវប្រើ ភ្ជាប់នឹងលក្ខខណ្ឌនានា បង្កើតទំនាក់ទំនង(សមីការ វិសមីការ...)រួចដោះស្រាយដោយរក្សាជាប៉ារ៉ាម៉ែត្រ តាម វិធីជំនួស បំបាត់ ... រហូតដល់ចុងក្រោយទទួលបានកន្សោម ឬសមីការមួយដែលមាន តែអញ្ញត្តិដែលត្រូវរកមួយ ឯទំហំផ្សេងទៀតសុទ្ធតែស្គាល់តម្លៃ ។
- ឱ្យសិស្សអនុវត្តជាលេខ ដោយជំនួសទំហំផ្សេងៗដោយតម្លៃរបស់វា ដែលស្គាល់ ប៉ុន្តែត្រូវពិនិត្យ ឱ្យជាក់លាក់អំពីខ្នាត របស់ទំហំនីមួយៗ ថាតើវាត្រូវគ្នារឺទេ?

ឧទាហរណ៍៖ ពីឧទាហរណ៍ខាងលើគេបាន ៖

- អាប់ស៊ីស(ចម្ងាយ)របស់ក្មេង $x_g = v_g t_g, x_g = vt_g$
- អាប់ស៊ីស(ចម្ងាយ)របស់ឡាន $x_b = \frac{1}{2}a_b t_b^2 + x_{ob} \rightleftarrows x_b = \frac{1}{2}at_b^2 + x_o$
- ដោយអាប់ស៊ីសរបស់វាទាំងពីរស្មើគ្នាគេបាន $x_g = x_b$ , $vt_g = \frac{1}{2}at_b^2 + x_o$

ដោយ $t_g = t_b = t \Rightarrow vt = \frac{1}{2}at^2 + x_o \Leftrightarrow -\frac{1}{2}at^2 + vt - x_o = 0$

ជាសមីការដឺក្រេទី២ អញ្ញត្តិ $t$ វាមានរឹសពីរ ដោយក្មេង និងឡានជួបគ្នាតែ១ដងនៅលើផ្លូវ នោះរយៈពេល $t$ ឬ រឹសសមីការខាងលើត្រូវមានតម្លៃដូចគ្នា ។

ដូចនេះតាមគណិតវិទ្យា សមីការខាងលើមានរឹសឌុបករណីនេះគេបាន $\Delta = 0$ ឬ

$b^2 - 4ac = 0$ , $v^2 - 4\left(-\frac{1}{2}a\right)(-x_o)$ , $v = \sqrt{2ax_o}$ បើស្គាល់តម្លៃ$a$ និង$x_o$គេអាចរកតម្លៃ$v$ បាន ។

(iv) ណែនាំសិស្សឱ្យវាយតម្លៃ(វិភាគ) លទ្ធផល

- ឱ្យសិស្សពិនិត្យលទ្ធផលទទួលបានថាតើវាសមស្របឬទេ?

ឧទាហរណ៍៖ពីលំហាត់ខាងលើគេបាន៖ លទ្ធផលគឺ$v = \sqrt{2ax_o}$ដែលក្នុងនោះ$a$ និង$x_o$ត្រូវតែវិជ្ជមាន,ក្នុងលំហាត់ $a > 0$ ចលនាស្ទុះ $x_o > 0$ គិតពី 0 ទៅខាងស្តាំ (តាមទិសដៅកំណើននៃ $x$)

- បើលទ្ធផលទទួលបានមិនសមស្របត្រូវឱ្យសិស្សពិនិត្យឡើងវិញលើ៖
  - ការគណនា
  - ការប្រើប្រាស់ខ្នាត ការបំបែកខ្នាត
  - រូបមន្តដែលយកមកប្រើ
  - ការកំណត់ទិសដៅចលនាត្រឹមត្រូវរឺទេ?

## ***ការដោះស្រាយលំហាត់គណនាតាមវិធីអនុមានញែក និងអនុមានរួម***

- *វិធីអនុមានញែក (ឬវិធីវិភាគ)* (Deductive) ជាវិធីមួយដែលពេលដោះស្រាយគេចេញដំណើរ ពីរូបមន្ត ឬច្បាប់គោលណាមួយដែលក្នុងនោះមានអញ្ញត្តិ ដែលត្រូវរកហើយទំហំផ្សេងៗ ទៀតអាចស្គាល់ ឬអាចរកបន្ត បន្ទាប់បាន។ វិធីនេះមានលក្ខណៈងាយស្រួលព្រោះ ពីរូបមន្តគោល សិស្សអាចពិនិត្យឃើញទំហំបន្តបន្ទាប់ដែលត្រូវរក។ ការដោះស្រាយលំហាត់ ឬពិសោធផ្សេងៗ ។
- *វិធីអនុមានរួម(ឬវិធីសំយោគ)*(Inductive) ជាវិធីមួយប្រាសនឹងវិធីអនុមានញែក ឬវិធីវិភាគ ។
  - ចំពោះដំណោះស្រាយលំហាត់វិធីអនុមានរួមគេត្រូវចេញដំណើរដោយការរកទំហំផ្សេងៗ ដែលទាក់ទងនឹងអញ្ញត្តិដែលត្រូវរក ពោលគឺមិនចេញដំណើរដោយប្រើរូបមន្តគោល ដែលមានអញ្ញត្តិនោះទេ។

- ចំពោះការបង្រៀនខ្លឹមសារណាមួយ វិធីអនុមានរួមត្រូវផ្តើមចេញពីការអនុវត្ត តាមរយៈការសង្កេតបាតុភូត ការពិសោធ ឬដំណោះស្រាយលំហាត់...រួចទើបទាញរកសេចក្តីសន្និដ្ឋាន ដើម្បីបង្កើតទ្រឹស្តី,ច្បាប់ ឬរូបមន្តណា មួយឡើង ។

ដូច្នេះ វិធីអនុមានរួមមានលក្ខណៈស្មុគស្មាញជាងការអនុវត្ត(ពិបាក)តអនុមានញែក ប៉ុន្តែវាបានបណ្តុះគំនិតច្នៃប្រឌិត បង្កើតការយល់ដឹង ការត្រិះរិះបានច្រើនជាងវិធីអនុមានញែក។

វិធីអនុមានញែក ឬ វិភាគ

វិធីអនុមានរួម ឬ សំយោគ

ឧទាហរណ៍៖ ចូរដោះស្រាយលំហាត់ខាងក្រោមតាមវិធីអនុមានញែក និងវិធីអនុមានរួម ខ្សែចម្លងវែងត្រង់ពីរសន្ទឹងក្នុងប្លង់ដេកឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនីដូចគ្នា ទិសដៅសន្មតបង្ហាញ ដូចរូប ។ រកដែនម៉ាញេទិចសរុបបង្កើតដោយចរន្តក្នុងខ្សែចម្លងទាំងពីរត្រង់ចំណុច0 ។

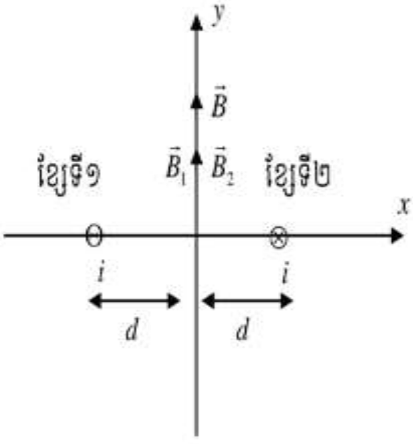
**ដំណោះស្រាយតាមអនុមានញែក**

ដែនម៉ាញេទិចសរុបបង្កើតដោយចរន្តក្នុងខ្សែទី១និងទី២ត្រង់0 ។

តាំង$\vec{B}_o$ដែនម៉ាញេទិចសរុបផ្តុំបត្រង់ $O$

$\vec{B}_1$ដែនម៉ាញេទិចបង្កើតដោយចរន្តក្នុងខ្សែទី១

$\vec{B}_1$ដែនម៉ាញេទិចបង្កើតដោយចរន្តក្នុងខ្សែទី២




$\vec{B}_O = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$ (1)

ដែល$\vec{B}_1$ មានទិសដៅតាមផ្នែក(+)នៃអក្ស័ $y$ តម្លៃ $B_1 = \mu_o \frac{I}{2\pi d}$

$\vec{B}_2$មានទិសដៅតាមផ្នែក(+)នៃអក្ស័y តម្លៃ $B_2 = \mu_o \frac{I}{2\pi d}$

$\Rightarrow B_O = B_1 + B_2 = \mu_o \frac{I}{2\pi d} + \mu_o \frac{I}{2\pi d} = \mu_o \frac{I}{\pi d}$ (T)

**ដំណោះស្រាយតាមអនុមានរួម**

$\vec{B}_1$មានទិសដៅតាមផ្នែក(+)នៃអក្ស័y តម្លៃ$B_1 = \mu_o \frac{I}{2\pi d}$(1)

$\vec{B}_2$ មានទិសដៅតាមផ្នែក(+)នៃអក្ស័y តម្លៃ $B_2 = \mu_o \frac{I}{2\pi d}$ (2)

តាម(1)និង(2) គេបាន ដែន$\vec{B}_O$សរុបគឺ៖

មានទិសដូចឋិ, និងឋ្គីគឺតាមផ្នែកនៃអក្ស័(+)y តម្លៃ

$\vec{B}_O = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$ មានទិសដូច $B_1$ និង $B_2$ *គឺតាមផ្នែក (+) នៃអក្ស័ y តម្លៃ*

$B_O = B_1 + B_2 = \mu_o \frac{I}{2\pi d} + \mu_o \frac{I}{2\pi d} = \mu_o \frac{I}{\pi d}$ (T)

# មេរៀនទី២ ៖ ចលនាត្រង់

## ២.១.ចលនាត្រង់

ក្នុងជីវភាពប្រចាំថ្ងៃ យើងអាចដឹង ឬមើលឃើញថា អង្គធាតុ ឬវត្ថុមួយមានចលនា លុះត្រាតែអង្គធាតុ ឬវត្ថុនោះ ផ្លាស់ទីធៀបទៅនឹងអង្គធាតុ ឬវត្ថុមួយផ្សេងទៀត។ ប្រសិនបើ ទីតាំងនៃអង្គធាតុ ឬវត្ថុនោះមិនផ្លាស់ប្តូរទេ គេនិយាយថា វានៅ**នឹងថ្កល់** ឬ**គ្មានចលនា**។ អង្គធាតុ ឬវត្ថុណាមួយដែលគេកំណត់ចលនានៃអង្គធាតុ ឬវត្ថុផ្សេងទៀតធៀបនឹងវាគេហៅ អង្គធាតុ ឬវត្ថុនោះថាជា **តម្រុយ** ។តម្រុយអាចមានតម្រុយនឹងថ្កល់ និងតម្រុយមានចលនា។ ហេតុនេះ *វត្ថុទាំងឡាយណាដែលផ្លាស់ប្តូរទីធៀបទៅនឹងវត្ថុផ្សេងទៀតដែលគេជ្រើសរើសជាតម្រុយមួយ ជាវត្ថុមានចលនា* ។ គេហៅវត្ថុដែលមានចលនាថាជា **ចល័ត**។ ប្រសិនបើចល័តមានវិមាត្រតូចធៀបនឹងបំលាស់ទីរបស់វា គេអាចចាត់ទុកចល័តបែបនេះជា **ចំណុចរូបធាតុ**បាន ដូចជា គ្រាប់កាំភ្លើងតូចមួយ )ឃ្លីលោហៈតូចមួយ ទឹកមួយតំណក់ទាំង...។ ឧទាហរណ៍៖ រថយន្តក្រុងដឹកអ្នកដំណើរមួយ( នេះសុទ្ធសឹងអាច ចាត់ទុកជាចំណុចរូបធាតុបាន កំពុងផ្លាស់ទីលើកំណាត់ផ្លូវមួយអ្នកដំណើរម្នាក់ដែលអង្គុយស្ងៀមចាត់ទុកជា *មនុស្សដែលនៅនឹង* បើធៀបទៅនឹងកៅអីដែលគាត់អង្គុយ តែជា *មនុស្សដែលមានចលនា* បើធៀបទៅនឹងអ្វីៗដែលនៅខាងក្រៅរថយន្តជាតម្រុយនឹង...ដូចជា ផ្ទះ ដើមឈើ បង្គោលភ្លើង )ថ្កល់ ។ បើ អ្នកដំណើរនោះក្រោកឈរ( ហើយដើរក្នុងរថយន្តដែលកំពុងតែផ្លាស់ទីនោះ ចលនារបស់គាត់ធៀបទៅនឹងរថយន្ត ខុសពី ចលនារបស់គាត់ធៀបទៅនឹងអ្វីៗដែលនៅខាងក្រៅរថយន្ត។ ឧទាហរណ៍នេះបានបង្ហាញថា *ភាពនៅនឹង ឬភាពមាន ចលនានៃវត្ថុគ្រាន់តែជាភាពធៀបប៉ុណ្ណោះ* ។ លុះត្រាតែគេបានកំណត់តម្រុយឱ្យច្បាស់លាស់ជាមុនសិន ទើបគេអាចនិយាយថា វត្ថុនេះនៅនឹង ឬវត្ថុនោះមានចលនាបាន។ តទៅនេះ ចលនាដែលយើងកំពុងសិក្សាសុទ្ធតែធៀបទៅនឹង តម្រុយដែលនៅជាប់នឹងផែនដី។

គេបែងចែកចលនានៃចំណុចមួយ ឬអង្គធាតុមួយជាចលនាត្រង់ ឬចលនាកោងទៅតាមរាងនៃគន្លងរបស់វា។ **គន្លង** ឬ**គន្លងចលនា** ជាសំណុំទីតាំងទាំងឡាយបន្តបន្ទាប់គ្នានៃចល័តមួយ។ ចលនាទាំងនោះចែកជាចលនាស្មើ និង ចលនាប្រែប្រួលទោះបីគន្លងរបស់វាយ៉ាងណាក៏ដោយ។

ចលនានៃអង្គធាតុមានច្រើនបែបច្រើនយ៉ាងដូចជា ចលនាត្រង់ ចលនាវង់ ចលនាកោង ចលនារង្វិល ចលនារំកិល...។ ប៉ុន្តែនៅក្នុងមេរៀននេះ យើងលើកយកតែចលនាត្រង់ មកសិក្សាប៉ុណ្ណោះ។

**ចលនាត្រង់** គឺជាចលនាដែលចល័តមានគន្លងជាបន្ទាត់។

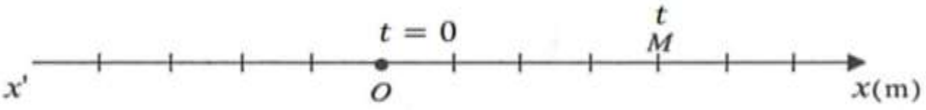
ចំពោះគន្លងនៃចលនាជាបន្ទាត់ គេអាចជ្រើសរើសយកអ័ក្សណាមួយនៃប្រព័ន្ធកូអរដោនេកែងមកសិក្សាក៏បានដូចជាអ័ក្សអាប់ស៊ីស $x'x$ ជាដើម។

ដើម្បីកំណត់ទីនៃចល័តលើគន្លងរបស់វា គេត្រូវ៖

- **ដៅទិសគន្លង** ជាទូទៅ គេច្រើនមានទិសគន្លង តាមទិសដៅនៃបំលាស់ទីរបស់ចល័ត
- **ជ្រើសរើសគល់អាប់ស៊ីស** គឺជាចំណុចសំខាន់មួយនៃគន្លងដែលចាប់ពីចំណុចនេះទៅ គេវាស់ចម្ងាយ ឬអាប់ស៊ីសនៃចល័ត

- **ជ្រើសរើសដើមពេល** គឺជាខណៈសំខាន់មួយដែលចាប់ពីខណៈនេះទៅ គេវាស់រយៈពេលនៃបំលាស់ទី។ ខណៈមួយដែលកើតមានក្រោយដើមពេលជាចំនួនវិជ្ជមាន ចំណែកឯខណៈដែលកើតមុនដើមពេលជាចំនួនអវិជ្ជមាន។ ឧបមាថា ពេលចេញដំណើរនៃចល័តមួយត្រូវបានគេយកជាដើមពេលគេសរសេរ

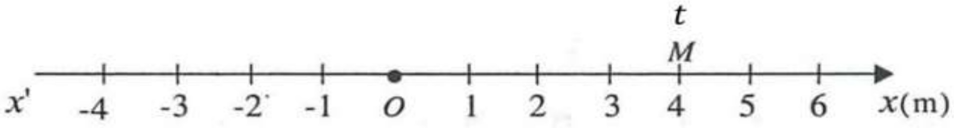
- $t = 0$ ចំពោះពេលចេញដំណើរ
- $t = 5s$ ចំពោះខណៈមួយដែលកើតមាន 5 វិនាទីក្រោយពេលចេញដំណើរ
- $t = -5s$ ចំពោះខណៈមួយដែលកើតមាន 5 វិនាទីមុនពេលចេញដំណើរ។




រូបទី២.១ ទីចល័តលើអ័ក្ស $x'x$

## ២.២.ចម្ងាយចរ វ៉ិចទ័រទីតាំង និងបំលាស់ទី

**ចម្ងាយចរ** ជាប្រវែងសរុបនៃចលនារបស់ចល័តដោយមិនគិតពីទិសដៅនៃចលនា។ ឬចម្ងាយចរជាចម្ងាយ សរុបដែលចល័តចរបានដោយមិនគិតទិសដៅ។ ចម្ងាយចរជាទំហំស្កាលែ។




រូបទី២.២ ចលនារបស់ចល័តលើអ័ក្ស $x'x$

ចំណុច $M$ មួយផ្លាស់ទីលើបន្ទាត់$x'x$ ។ យើងមានទិសដៅវិជ្ជមាន និងតាមទិសដៅបំលាស់ទីរបស់ $M$ និងជ្រើសរើសចំណុច 0 ជាគល់អាប់ស៊ីស និងខណៈមួយជាដើមពេល។ នៅខណៈ $t$ ចល័តស្ថិតនៅត្រង់ $M$ (រូបទី២.២) ។ ទីតាំងរបស់ចល័តតាំងនៅធៀបនឹងចំណុចតម្រុយ 0 ឱ្យដោយវ៉ិចទ័រ $\overrightarrow{OM} = \vec{x} = x.\vec{\imath}$ ហៅថា **វ៉ិចទ័រទីតាំង** ដែលមានតម្លៃពីជគណិត$x = \overline{OM}$ ហៅថា **អាប់ស៊ីស** ។ អាប់ស៊ីស $x$ នេះប្រែប្រួលទៅតាមពេលក្នុងចលនារបស់ $M$ គឺមានន័យថា វាជាអនុគមន៍នៃពេលដែលគេសរសេរៈ

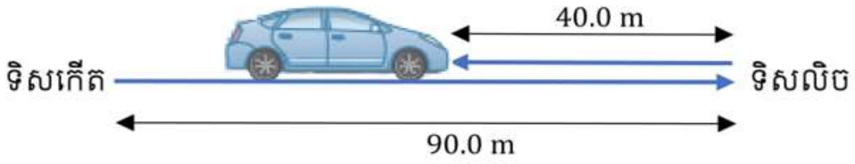
$$x = x(t) = f(t)$$

គេហៅអនុគមន៍បែបនេះថា **សមីការពេលនៃចលនា**។

បំលាស់ប្តូរទីតាំងចល័តពីទីតាំងមួយទៅទីតាំងមួយទៀតហៅថា **បំលាស់ទី** $\Delta x$។ បំលាស់ទី ជាចម្ងាយដែលគេវាស់តាមខ្សែត្រង់ និងតាមទិសដៅជាក់លាក់។ បំលាស់ទី $\Delta x = x_2 - x_1$ជាទំហំវ៉ិចទ័រដែលមានទាំងតម្លៃ(ចម្ងាយរវាង ទីតាំងដើម $x_1$ និងទីតាំងស្រេច$x_2$)និងទិសដៅ(ពីទីតាំងដើម$x_1$ ទៅទីតាំងស្រេច $x_2$)។

ក្នុងប្រព័ន្ធខ្នាតអន្តរជាតិ$(S.I)$ ចម្ងាយចរ និងបំលាស់ទីមានខ្នាតគិតជាម៉ែត្រ$(m)$។

**ឧទាហរណ៍ទី១៖** វត្ថុមួយផ្លាស់ទីពីចំណុច $A(x_1 = -1.0cm)$ ទៅចំណុច$B\ (x_2 = 4.0cm)$ លើអ័ក្ស$x'x$។បំលាស់ទីរបស់វត្ថុគឺ $\Delta x = x_2 - x_1 = 4.0cm - (-1.0cm) = 5.0cm$ និងមានទិសដៅតាមទិសដៅ $x$ វិជ្ជមាន។




រូបទី២.៣ ចលនារបស់រថយន្តក្នុងទិសកើតលិច

**ឧទាហរណ៍ទី២៖** រថយន្តមួយបានបើកបរទៅទិសខាងកើតបានចម្ងាយ $90.0m$ ។ បន្ទាប់មក រថយន្តនោះបរត្រឡប់ក្រោយបានចម្ងាយ $40.0\,m$។ ចូរគណនាចម្ងាយចរ និងបំលាស់ទីរបស់រថយន្ត។

**ដំណោះស្រាយ**

គណនាចម្ងាយចរ និងបំលាស់ទីរបស់រថយន្ត

ចម្ងាយចរ $:d = d_1 + d_2 = 90.0m + 40.0m = 130m$

បំលាស់ទី : $\Delta x = x_2 - x_1 = 90.0m - 40.0m = 50.0m$ ទៅទិសខាងលិច។

## ២.៣.ល្បឿន និងវ៉ិចទ័រល្បឿន

### ២.៣.១.ល្បឿន (ទំហំស្កាលែ)

ក្នុងជីវភាពរស់នៅ យើងតែងប្រើពាក្យ លឿន ឬ យឺត ដើម្បីសម្គាល់ចលនា។ ក្នុងរូបវិទ្យា ទំហំដែលសម្គាល់ភាព លឿន ឬយឺតហៅថា **ល្បឿន** ។ ដូច្នេះ ល្បឿនជាទំហំមួយសម្គាល់ភាពលឿន ឬយឺតនៃអង្គធាតុណាមួយដែលមានចលនា និងវាស់ដោយផលធៀបរវាងចម្ងាយចរ និងរយៈពេល។ គេសរសេរបានរូបមន្ត៖

$$\text{ល្បឿន} = \frac{\text{ចម្ងាយចរ}}{\text{រយៈពេល}}$$

*ឬ*

$$v = \frac{d}{t}$$

ដែល $d$ ជាចម្ងាយចរ គិតជាម៉ែត្រ(m) $t$ ជារយៈពេល គិតជាវិនាទី($s$) និង $v$ ជាល្បឿន គិតជាម៉ែត្រក្នុងមួយវិនាទី ($m/s$) ល្បឿននេះជាទំហំស្កាលែ។

ក្នុងជីវភាពរស់នៅ គេច្រើនប្រើខ្នាតល្បឿនជាគីឡូម៉ែត្រក្នុងមួយម៉ោង($km/h$ ) ឬម៉ាយក្នុងមួយម៉ោង ($mile/h$) ដែល

$$1km/h = \frac{1000m}{3600s} = \left(\frac{1}{3.6}\right)m/s$$

$$1mile/h = 1.609344km/h = \frac{1609.344m}{3600s} = \left(\frac{1.609344}{3.6}\right)m/s$$

**ឧទាហរណ៍ទី៣៖** រថយន្តមួយបើកបរលើផ្លូវត្រង់មួយបានចម្ងាយ $72.0km$ ក្នុងពេលមួយម៉ោង។ ចូរគណនា ល្បឿនរថយន្តគិតជា($m/s$) និង គិតជា ($mile/h$)។

**ដំណោះស្រាយ**

គណនាល្បឿនរថយន្តគិតជា($m/s$)និង គិតជា ($mile/h$)

តាមរូបមន្ត

$$v = \frac{d}{t}$$

ដោយ $d = 72.0km$ និង $t = 1h$

យើងបាន

$$v = \frac{72.0km}{1h} = 72.0km/h$$

តែ $1km/h = \left(\frac{1}{3.6}\right)m/s$

យើងបាន $v = 72.0 \times \frac{1}{3.6} m/s = 20.0m/s$

និង $1mile/h = 1.609344km/h$

ឬ $1km/h = \frac{1}{1.609344} mile/h$

យើងបាន $v = 72.0 \times \frac{1}{1.609344} mile/h = 44.7mile/h$

កាលណាអង្គធាតុមួយចរបានចម្ងាយស្មើៗគ្នាក្នុងរយៈពេលស្មើៗ គេថាអង្គធាតុនោះមានល្បឿនថេរ។ ប៉ុន្តែភាគច្រើននៃអង្គធាតុពុំមានចលនាដោយល្បឿនថេរនោះទេ ដូចជារថភ្លើងមួយចេញដំណើរពីស្ថានីយ៍ ចលនារបស់វាកាន់តែលឿនទៅៗរហូតដល់ល្បឿនថេរ បន្ទាប់មកវាកាន់តែយឺតទៅៗរហូតដល់ស្ថានីយ៍។ ហេតុនេះហើយ គេត្រូវកំណត់ល្បឿនមធ្យមនៃចលនារបស់រថភ្លើងនោះដោយរូបមន្ត

$$\text{ល្បឿនមធ្យម} = \frac{\text{ចម្ងាយចរសរុប}}{\text{រយៈពេលសរុប}}$$

ឬ

$$v_{av} = \frac{d}{t}$$

ដែល $d$ ជាចម្ងាយចរសរុប គិតជាម៉ែត្រ $(m)$ , $t$ ជារយៈពេលសរុប គិតជាវិនាទី $(s)$ និង $v_{av}$ ជាល្បឿនមធ្យម គិតជាម៉ែត្រក្នុងមួយវិនាទី $(m/s)$ ។

**ឧទាហរណ៍ទី៤៖** កីឡាករម្នាក់រត់បានចម្ងាយ $120m$ ក្នុងរយៈពេល $10.0s$ បន្ទាប់មក $200m$ ក្នុងរយៈពេល $15.0s$ ។ តើល្បឿនមធ្យមរបស់កីឡាករនោះស្មើនឹងប៉ុន្មាន ?

**ដំណោះស្រាយ**

រកល្បឿនមធ្យមរបស់កីឡាករ

តាមរូបមន្ត $v_{av} = \frac{d}{t}$

ដោយ ចម្ងាយចរសុរប $d = 120m + 200m = 320m$

រយៈពេលចរសរុប $t = 10.0s + 15.0s = 25.0s$

យើងបាន $v_{av} = \frac{320}{25} = 12.8m/s$

### ២.៣.២ វ៉ិចទ័រល្បឿន

ការស្គាល់ចម្ងាយចរ និងល្បឿនគឺមិនគ្រប់គ្រាន់សម្រាប់ការកំណត់ចលនាឱ្យបានពេញលេញទេ។ ដើម្បីកំណត់ចលនាឱ្យបានពេញលេញ ក្រៅពីចម្ងាយចរ និងល្បឿន គេត្រូវស្គាល់ទិស និងទិសដៅចលនាថែមទៀត។ គេតាងល្បឿនដោយអង្គត់ដែលមានទិសដូចទិសនៃចលនា និងប្រវែងអង្គត់តាងទំហំល្បឿនតាមមាត្រដ្ឋានដែលគេជ្រើសរើស។ ចំណែកសញ្ញាព្រួញនៅខាងចុងអង្គត់ចង្អុលទិសដៅចលនា។ ដូចនេះល្បឿនដែលមានបញ្ជាក់ទិសដៅ គេហៅថា **វ៉ិចទ័រល្បឿន** និងតាងដោយ $\vec{v}$ ។

យើងដឹងហើយថា នៅក្នុងជីវភាពរស់នៅ យើងតែងតែប្រើពាក្យល្បឿនតែមួយគត់។ ប៉ុន្តែនៅក្នុងរូបវិទ្យា គេបានញែកពាក្យនេះដាច់ចេញពីគ្នាគឺ ល្បឿន និងវ៉ិចទ័រល្បឿន។ ល្បឿន ជាចម្ងាយចរក្នុងមួយខ្នាតពេល។ ចំណែកឯ វ៉ិចទ័រល្បឿន ជាបំលាស់ទីក្នុងមួយខ្នាតពេល។ គេសរសេរ៖

$$\text{វ៉ិចទ័រល្បឿន} = \frac{\text{បំលាស់ទី}}{\text{រយៈពេលចរ}}$$

ល្បឿន ជាទំហំនៃវ៉ិចទ័រល្បឿន។ ល្បឿន ជាវ៉ិចទ័រល្បឿន កាលណាល្បឿននោះបានបញ្ជាក់ទិសដៅ និងសញ្ញា ពីជគណិតរបស់វា។ ឧទាហរណ៍៖ វ៉ិចទ័រល្បឿន $+1.0m/s$ និង $-1.0m/s$ ។ វ៉ិចទ័រល្បឿនទាំងពីរមានល្បឿន $1.0m/s$ តែមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា។

ឧបករណ៍វាស់ល្បឿន(កុងទ័រល្បឿន)របស់រថយន្ត ទោចក្រយានយន្ត (ម៉ូតូ)ប្រើសម្រាប់វាស់ល្បឿន មិនមែន វាស់វ៉ិចទ័រល្បឿនទេ ព្រោះវាមិនបានកំណត់ទិសដៅរបស់ល្បឿនឡើយ។

### ២.៣.៣ វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យម

រូបទី២.៤ វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមចន្លោះខណៈ $t_1$ និង $t_2$

ចល័ត M មួយផ្លាស់ទីលើបន្ទាត់ ឬគន្លង $x'x$ ។ នៅខណៈ $t_1$ ចល័តស្ថិតនៅត្រង់ចំណុចមួយ $M_1$ ដែលមានទីតាំង $x_1 = \overline{OM_1}$ និងនៅខណៈ $t_2$ ចល័តស្ថិតនៅត្រង់ចំណុចមួយផ្សេងទៀត $M_2$ ដែលមានទីតាំង $x_2 = \overline{OM_2}$ ។ រវាងខណៈ $t_1$ និង $t_2$ ដែលមានរយៈពេល $\Delta t = t_2 - t_1$ ចល័តមានបំលាស់ទីសរុប $\overrightarrow{M_1M_2}$ ដែលមានតម្លៃពីជគណិត $\Delta x = x_2 - x_1$ ។ ផលធៀបរវាងបំលាស់ទី $\Delta x$ និងរយៈពេលចរ $\Delta t$ ហៅថា **វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យម** ។ គេសរសេរ៖

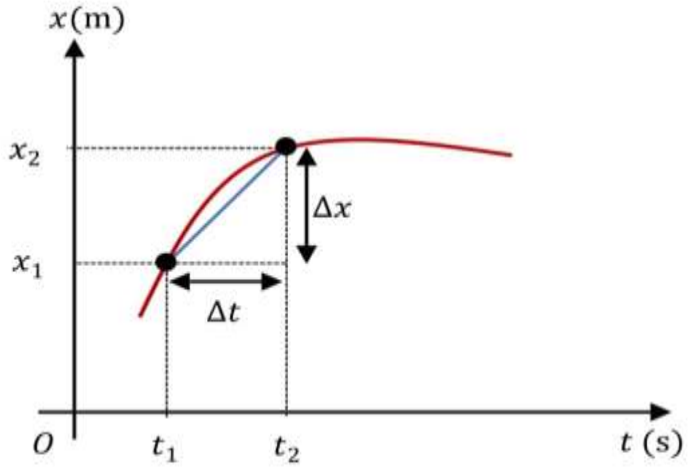
$$\text{វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យម} = \frac{\text{បំលាស់ទីសរុប}}{\text{រយពេលចរ}}$$

ឬ

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

ដែល $\Delta x$ ជាបំលាស់ទីសរុប គិតជាម៉ែត្រ(m) $\Delta t$ ជារយៈពេលចរ គិតជាវិនាទី$(s)$ និង $v_{av}$ ជាវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យម គិតជាម៉ែត្រក្នុងមួយវិនាទី(m/s)។ $v_{av}$ និង $\Delta x$ តែងមានទិសដៅ ឬសញ្ញាពីជគណិតដូចគ្នាជានិច្ច។

ពិនិត្យលើក្រាបខាងក្រោមដែលតាងឱ្យអនុគមន៍ $x(t)$ (រូបទី២.៥) វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យម $v_{av}$ ជាមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ដែលភ្ជាប់ចំណុចពីរ $(t_1, x_1)$ និង $(t_2, x_2)$ លើខ្សែកោង $x(t)$។ ដូចបំលាស់ទីដែរ វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យម $v_{av}$ មានទាំងទំហំ និងទិសដៅ។ទំហំរបស់វាគឺជាមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់។ តម្លៃពីជគណិតនៃ $v_{av}$ វិជ្ជមាន កាលណាបន្ទាត់ទ្រេតឡើងពីឆ្វេងទៅស្តាំ និង ផ្ទុយមកវិញ $v_{av}$ អវិជ្ជមាន កាលណាបន្ទាត់ទ្រេតចុះពីស្តាំទៅឆ្វេង។

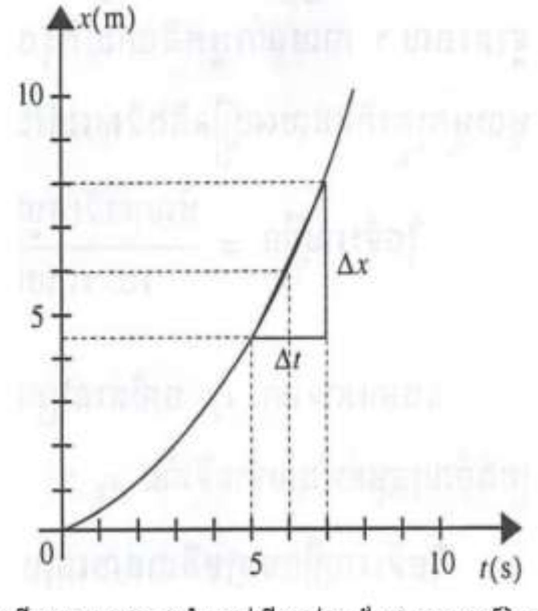



រូបទី២.៥ ក្រាបតាងបំលាស់ទីរបស់ចល័តជាអនុគមន៍នៃពេល

## ២.៣.៤ វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ

ចំណុចមួយផ្លាស់ទីលើគន្លង $x'x$ មានក្រាបតាងបំលាស់ទីជាអនុគមន៍នៃពេលដែលចាប់ផ្តើមពីចំណុចតម្រុយ $O$ (រូបទី២.៦)។ វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមក្នុងរយៈពេល 6វិនាទីគឺ

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{6.0m}{6.0s} = 1.0m/s$$




រូបទី២.៦ ក្រាបតាងបំលាស់ទីរបស់ចល័តជាអនុគមន៍នៃពេល

វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈរបស់ចល័តនៅខណៈ $t = 6.0s$ ជាមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ប៉ះខ្សែកោងត្រង់ចំណុច $t = 6.0s$ ។ក្នុងករណីនេះវ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈគឺ

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{8.0m - 4.5m}{7.0s - 5.0s} = 1.7m/s$$

វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈនេះវិជ្ជមាន ព្រោះចល័តចាប់ផ្តើមចេញពីចំណុច $O$ ក្នុងទិសដៅវិជ្ជមាននៃ $x$ ។

**សម្គាល់៖** រវាងវ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ $v$ និងវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យម $v_{av}$ ខាងលើឃើញថា $\Delta t$ ដែលមានក្នុងវ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈតូចជាង $\Delta t$ ដែលមានក្នុងល្បឿនមធ្យម។ ចំពោះវ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ បើ $\Delta t$ ខិតទៅរកសូន្យ ហេតុនេះ វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ $v$ ជាមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាប់ប៉ះនៅត្រង់ចំណុចមួយលើខ្សែកោងនៅខណៈនោះ ។

ពិនិត្យមើលខណៈពីរក្បែរគ្នា $t$ និង $t + \Delta t$ (ដែល $\Delta t$ ជាចំនួនតូច) ចល័តផ្លាស់ទីដល់ $M$ និង $M'$ លើគន្លង $x'x$ មានអាប់ស៊ីស $x$ និង $x + \Delta x$ (រូបទី២.៥) ។វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមក្នុងរយៈពេល $\Delta t$ ឱ្យតាម

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

រូបទី២.៧ វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមរយៈពេល$\Delta t$

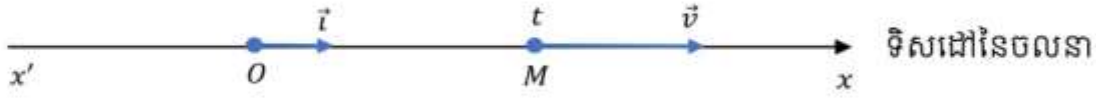
បើ $\Delta t$ ខិតជិតសូន្យ នោះ $\Delta x$ ក៏ខិតជិតសូន្យដែរ នាំឱ្យវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យម $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ ខិតទៅរកវ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ $v$ ដែលរត់កាត់តាម $M$ នៅខណៈ $t$ ។ វាស្មើនឹងដេរីវេនៃអនុគមន៍ $x$ ធៀបនឹងពេល $t$ ។ គេសរសេរ៖

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = x^{\cdot}$$

ដូច្នេះ ល្បឿនខណៈ $v$ ជាដេរីវេនៃអាប់ស៊ីស $x$ ធៀបនឹងពេល $t$ ។

វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ $\vec{v}$ នៅខណៈ $t$ (រូបទី២.៨) មានលក្ខណៈសម្គាល់៖

- គល់ ឬ ចំណុចចាប់ នៅត្រង់ទីតាំងដែលចល័តតាំងនៅ នៅខណៈ $t$
- ទិស ជាទិសនៃគន្លង $x'x$ (ឬជាទិសនៃចលនា)
- ទិសដៅ ជាទិសដៅនៃចលនា
- ម៉ូឌុល ស្មើនឹងតម្លៃដាច់ខាតនៃ $\frac{dx}{dt}$ នៅខណៈ $t$ នោះ ។




រូបទី២.៨ វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈនៅខណៈ $t$

បើប្រើទម្រង់ជាវ៉ិចទ័រ គេសរសេររូបមន្តល្បឿនខណៈខាងលើទៅជា

$$\vec{v} = \frac{d(\overrightarrow{OM})}{dt} = \frac{dx}{dt}\vec{i}$$

វ៉ិចទ័រល្បឿន ជាវ៉ិចទ័រដេរីវេនៃវ៉ិចទ័រទីតាំងធៀបនឹងពេល។

ចល័តមួយផ្លាស់ទីពីខណៈដើម $t_i$ ទៅខណៈស្រេច $t_f$ លើគន្លង $x'x$ ដោយវ៉ិចទ័រល្បឿនណាមួយ។ ពីសមីការល្បឿនខណៈ

$$v = \dot{x} = \frac{dx}{dt}$$

គេទាញបានបំលាស់ទីមានទំនាក់ទំនង

$$dx = \dot{x}\,dt = vdt$$

ពីខណៈដើម $t_i$ ដែលចល័តមានទីតាំង $x_i$ ទៅខណៈស្រេច $t_f$ ដែលមានចល័តមានទីតាំងស្រេច $x_f$ គេបានបំលាស់ទីសរុបនៅចន្លោះខណៈ $t_i$ និង $t_f$ គឺ

$$\int_{x_i}^{x_f} dx = \int_{t_i}^{t_f} \dot{x}dt$$

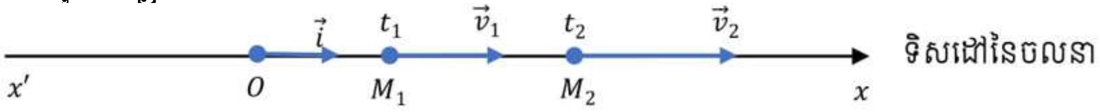
ឬ

$$\int_{x_i}^{x_f} dx = \int_{t_i}^{t_f} vdt$$

## ២.៤ សំទុះ

កាលណាវ៉ិចទ័រល្បឿននៃចល័តមួយប្រែប្រួល គេថាចល័តនោះមានសំទុះ។ ហេតុនេះ សំទុះអាចកើតមានឡើងគ្រប់ពេល កាលណាវ៉ិចទ័រល្បឿននៃចល័តនោះប្រែប្រួល ។

### ២.៤.១ សំទុះមធ្យម




រូបទី២.៩ សំទុះមធ្យមនៅចន្លោះខណៈ $t_1$ និង $t_2$

នៅខណៈ $t_1$ ចល័តមានវ៉ិចទ័រល្បឿន $\vec{v}_1$ និងនៅខណៈ $t_2$ ចល័តមានវ៉ិចទ័រល្បឿន $\vec{v}_2$ ។នៅខណៈ $t_1$ និង $t_2$ ដែលមានរយៈពេល $t_2 - t_1 = \Delta t$ ចល័តដែលមានបម្រែបម្រួលវ៉ិចទ័រល្បឿនដែលមានតម្លៃពីជគណិត $v_2 - v_1 = \Delta v$ ។ ហេតុនេះសំទុះមធ្យមនៅខណៈ $t_1$ និង $t_2$ ជាផលធៀបរវាងបម្រែបម្រួលល្បឿន $\Delta v$ ក្នុងចន្លោះពេលនោះ និងរយៈពេល $\Delta t$ ។គេសរសេរ

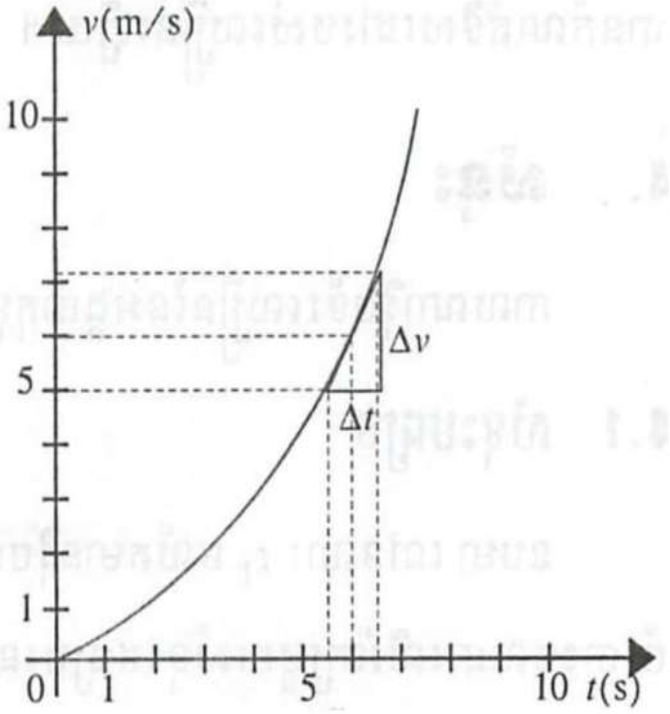
$$a_{av.} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

ក្នុងប្រព័ន្ធខ្នាតអន្តរជាតិ $S.I$ ខ្នាតនៃ $\Delta v$ គិតជា $(m/s)$ ខ្នាតនៃ $\Delta t$ គិតជា $(s)$ និង ខ្នាតនៃ $a_{av.}$ គិតជា $(m/s^2)$ ។

**២.៤.២ សំទុះខណៈ**

តាមក្រាបតាងល្បឿនជាអនុគមន៍នៃពេលដែលចាប់ផ្ដើមពីចំណុចតម្រុយ $O$ (រូបទី២.១០) សំទុះមធ្យមក្នុងរយៈពេល $6$ វិនាទីគឺ

$$a_{av.} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{6.0m/s}{6.0s} = 1.0m/s^2$$




រូបទី២.១០ ក្រាបតាងវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ចល័តជាអនុគមន៍នៃពេល

សំទុះខណៈរបស់ចល័តនៅខណៈ $t = 6.0s$ ជាមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ប៉ះខ្សែកោងត្រង់ចំណុច $t = 6.0s$ ។ក្នុងករណីនេះ យើងបានសំទុះខណៈគឺ

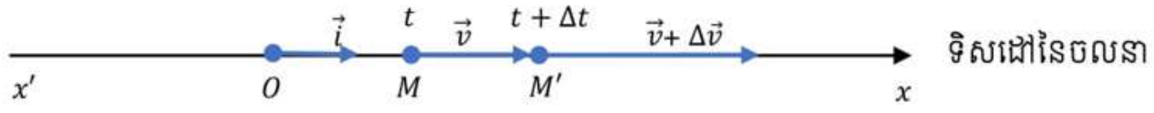
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{7.3m/s - 5.0m/s}{6.5s - 5.5s} = \frac{2.3m/s}{1.0s} = 2.3m/s^2$$

សំទុះខណៈនេះមានទិសដៅចេញពីចំណុច $O$ ក្នុងទិសដៅវិជ្ជមាននៃ $x$ ។

ដូចគ្នានឹងល្បឿនខណៈដែរ $\Delta t$ ក្នុងសំទុះខណៈតូចជាងសំទុះមធ្យម។ បើ $\Delta t$ នេះខិតទៅជិតសូន្យ សំទុះខណៈ $a$ គឺជាមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ប៉ះនៅត្រង់ចំណុចមួយលើខ្សែកោងនៅខណៈនោះ ។

នៅខណៈពីរក្បែរគ្នា $t$ និង $t + \Delta t$ (ដែល $\Delta t$ ជាចំនួនតូច) ចល័តមានវ៉ិចទ័រល្បឿន $\vec{v}$ និងវ៉ិចទ័រ ល្បឿន $\vec{v} + \Delta\vec{v}$ វ៉ិចទ័រសំទុះមធ្យមក្នុងរយៈពេល $\Delta t$ ឱ្យតាម

$$a_{av.} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$




រូបទី២.១១ សំទុះមធ្យមនៅចន្លោះខណៈពីរក្បែរគ្នា

បើ $\Delta t$ ខិតជិតសូន្យ នោះ $\Delta v$ ក៏ខិតជិតសូន្យដែរ នាំឱ្យសំទុះមធ្យម $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ ខិតទៅរកតម្លៃកម្រិតមួយ ដែលសម្គាល់បម្រែបម្រួលល្បឿនរបស់ចល័តនៅខណៈ $t$ ។តម្លៃនៃកម្រិតនេះហៅថា សំទុះខណៈ $a$ វាស្មើនឹងដេរីវេនៃអនុគមន៍ $v$ ធៀបនឹងពេល $t$ ។ គេសរសេរ៖

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v(t+\Delta t) - v(t)}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \dot{v}$$

ឬ

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x}$$

ដូច្នេះ សំទុះខណៈ $a$ ជាដេរីវេនៃល្បឿនខណៈ $v$ ធៀបនឹងពេល $t$ ឬ ជាដេរីវេទី២នៃអនុគមន៍ $x(t)$ ធៀបនឹងពេល $t$ ។ វាជាមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ប៉ះនៅត្រង់ចំណុចមួយលើខ្សែកោង $v(t)$ នៅខណៈនោះ ។

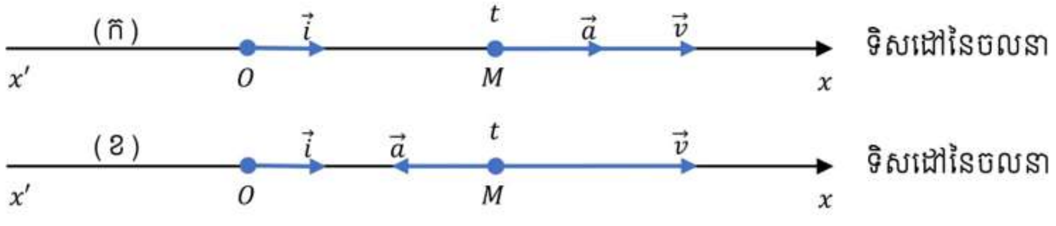
សំទុះជាទំហំវ៉ិចទ័រ ។ ក្នុងករណីនេះ គេអាចសរសេររូបមន្តសំទុះខណៈខាងលើជាទម្រង់វ៉ិចទ័រ គឺ

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}\vec{i}$$

វ៉ិចទ័រសំទុះ ជាវ៉ិចទ័រដេរីវេនៃវ៉ិចទ័រល្បឿនធៀបនឹងពេល។

វ៉ិចទ័រសំទុះខណៈ $\vec{a}$ នៅខណៈ $t$ មានលក្ខណៈសម្គាល់៖

- **គល់ ឬចំណុចចាប់** នៅត្រង់ទីដែលចល័តតាំងនៅនៅខណៈ $t$
- **ទិស** ជាទិសនៃគន្លង $x'x$ (ជាទិសនៃចលនា)
- **ទិសដៅ** តាមទិសដៅនៃវិជ្ជមាននៃគន្លង $x'x$ បើ $a>0$ ឬតាមទិសដៅអវិជ្ជមាននៃគន្លង $x'x$ បើ $a<0$
- **ម៉ូឌុល** ស្មើនឹងតម្លៃដាច់ខាតនៃ $\frac{dv}{dt}$ នៅខណៈ $t$ នោះ ។




រូបទី២.១២ សំទុះខណៈនៅខណៈ $t$

ពីសំទុះខណៈខាងលើ

$$\frac{d\dot{x}}{dt} = \ddot{x}$$

យើងទាញបានបម្រែបម្រួលល្បឿនមានទំនាក់ទំនង

$$d\dot{x} = \ddot{x}dt$$

នៅខណៈដើម $t_i$ ចល័តមានវ៉ិចទ័រល្បឿនដើម $v_i$ និងនៅខណៈស្រេច $t_f$ ចល័តមានវ៉ិចទ័រល្បឿនស្រេច $v_f$ គេបានបម្រែបម្រួលល្បឿននៅចន្លោះខណៈ $t_i$ និង $t_f$ គឺ

$$\int_{v_i}^{v_f} d\dot{x} = \int_{t_i}^{t_f} \ddot{x}dt$$

ឬ

$$\int_{v_i}^{v_f} dv = \int_{t_i}^{t_f} adt$$

ពីសំទុះខណៈនេះផងដែរ

$$a = \frac{dv}{dt}$$

គេអាចសរសេរ

$$a = \frac{dx}{dt}\frac{dv}{dx}$$

ឬ

$$a = v\frac{dv}{dx}$$

គេទាញបានទំនាក់ទំនងរវាងល្បឿន សំទុះ និងបំលាស់ទី

$$\int_{x_i}^{x_f} adx = \int_{v_i}^{v_f} vdv$$

## ២.៥ ចលនារបស់អង្គធាតុតាមមួយវិមាត្រ

ជាទូទៅបើចលនានៃចំណុចរូបធាតុមួយមានសំទុះប្រែប្រួលតាមពេល ឬមានសំទុះជាអនុគមន៍នៃពេលចលនារបស់ចំណុចរូបធាតុនោះមានភាពសាំញ៉ាំ និងពិបាកវិភាគ។ នៅក្នុងមេរៀននេះ យើងសិក្សាពីចលនាដែលមានសំទុះសូន្យ និងសំទុះថេរ ។ ចលនាលើអ័ក្សមួយ បើមានសំទុះសូន្យជា**ចលនាត្រង់ស្មើ** ប៉ុន្តែបើមានសំទុះថេរជា**ចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើ** ។

### ២.៥.១ ចលនាត្រង់ស្មើ

ចលនាត្រង់ស្មើ ជាចលនាដែលចល័តផ្លាស់ទីមានគន្លងត្រង់ដោយវ៉ិចទ័រល្បឿនថេរ (សំទុះសូន្យគ្រប់ខណៈពេល) ។

បើវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ចល័តថេរ វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈរបស់វានៅខណៈណាមួយក្នុងចន្លោះពេលមួយ $t_i$ និង $t_f$ ដូចគ្នានឹងវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមក្នុងចន្លោះពេលនោះគឺ $v = v_x = v_{x.av}$ ។យើងបាន

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

ដែល $\Delta x = x_f - x_i$

យើងបាន

$$v_x = \frac{x_f - x_i}{\Delta t}$$

យើងទាញបាន

$$x_f = x_i + v_x \Delta t$$

សមីការទីតាំង (ឬសមីការពេលនៃចលនា)នេះ ជាផលបូកទីតាំងដើម $x_i$ នៅខណៈដើមពេល $t = t_i = 0$ និងបំលាស់ទី $v_x \Delta t$ ដែលកើតមានក្នុងរយៈពេល $\Delta t$ ។

ក្នុងការអនុវត្តន៍ ជាធម្មតាយើងជ្រើសរើសខណៈដើម $t_i = 0$ត្រូវនឹងទីតាំងដើម $x_i$ ឬ $x_o$ និងខណៈស្រេច $t_f = t$ ត្រូវនឹងទីតាំងស្រេច $x_f$ ឬ $x$ ដូច្នេះសមីការខាងលើទៅជា

$$x_f = x_i + v_x t$$

ឬ

$$x = x_o + vt$$

សមីការពេលនៃចលនានេះក៏អាចទាញបានពីសមីការសំទុះ និងល្បឿនខណៈដែរ ។ ក្នុងចលនាត្រង់ស្មើ ចល័តពុំមានបម្រែបម្រួលល្បឿនទេ ហេតុនេះសំទុះសូន្យគ្រប់ខណៈ។យើងបាន

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv_o}{dt} = a = 0$$

$$(v = v_o = \text{ថេរ})$$

ល្បឿនខណៈ

$$v_o = \frac{dx}{dt}$$

នាំឱ្យ

$$\int_{x_o}^{x} dx = \int_0^t v_o dt$$

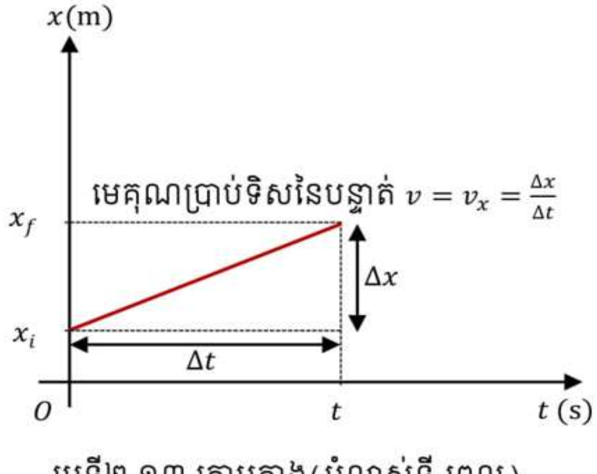
$$x - x_o = v_o t$$

យើងទាញបាន សមីការចលនានៃចលនា

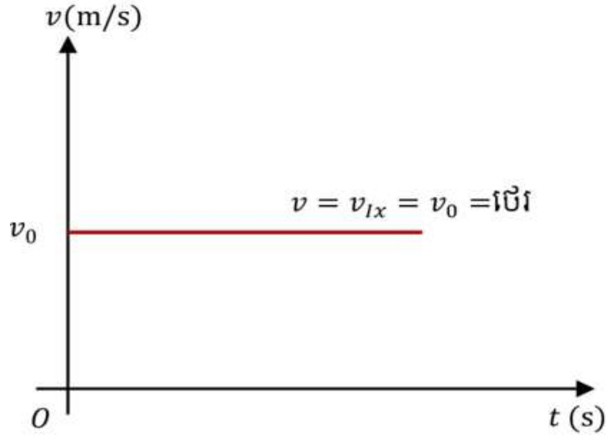
$$x = v_o t + x_o$$

ដ្យាក្រាម ជាគំនូសតាងនៃអនុគមន៍ $x(t)$ $v(t)$ និង $a(t)$ ។

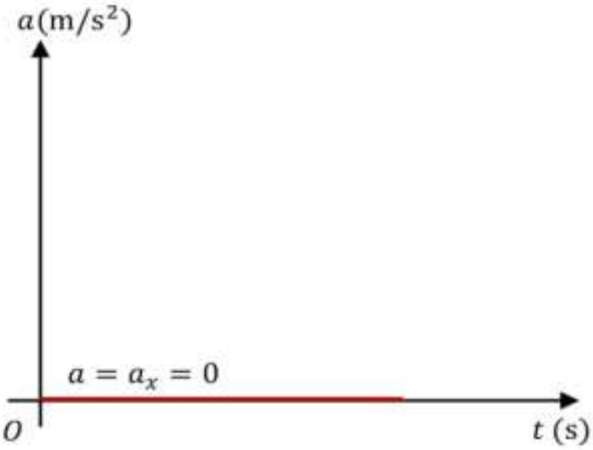
- ដ្យាក្រាមទីតាំង ឬបំលាស់ទី $x(t)$ ជាបន្ទាត់ត្រង់ដែលមានមេគុណប្រាប់ទិសស្មើនឹង $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ ។
- ដ្យាក្រាមល្បឿន $v(t)$ជាបន្ទាត់ដែលស្របនឹងអ័ក្សពេល ។
- ដ្យាក្រាមសំទុះ $a(t)$ជាបន្ទាត់ដែលត្រួតនឹងអ័ក្សពេល ។




រូបទី២.១៣ ក្រាបតាង(បំលាស់ទី-ពេល)




រូបទី២.១៤ ក្រាបតាង(វ៉ិចទ័រល្បឿន-ពេល)

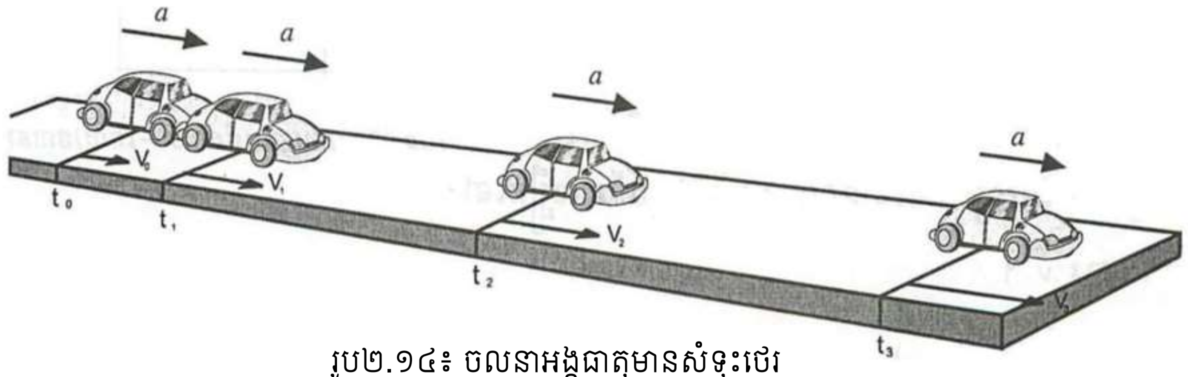



រូបទី២.១៥ ក្រាបតាង(សំទុះ-ពេល)

## ២.៥.២ ចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើ

ចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើ ជាចលនាដែលចល័តផ្លាស់ទីមានគន្លងត្រង់ដោយសំទុះថេរ ។

វត្ថុមួយមានចលនា ឧបមាថា នៅខណៈដើមពេល $t=0$ ចល័តមានទីតាំងដើម $x_o$ និង មាន វ៉ិចទ័រល្បឿនដើម $v_o$ ហើយបន្ទាប់មកនៅខណៈ $t$ ណាមួយ ចល័តមកដល់ទីតាំង $x$ មានវ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ $v$ ។ គេអាចសរសេរ សំទុះមធ្យមជាផលធៀបរវាងបម្រែបម្រួលវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យម និង




រូប២.១៤៖ ចលនាអង្គធាតុមានសំទុះថេរ

រយៈពេលនៃបម្រែបម្រួលវ៉ិចទ័រល្បឿននោះ ។ ប៉ុន្តែដោយសារសំទុះមិនប្រែប្រួល សំទុះមធ្យម និង សំទុះខណៈមានតម្លៃស្មើគ្នា គេបាន

$$a = a_{av.} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_o}{t - 0}$$

ដូច្នេះ គេបាន

$$v = v_o + at$$

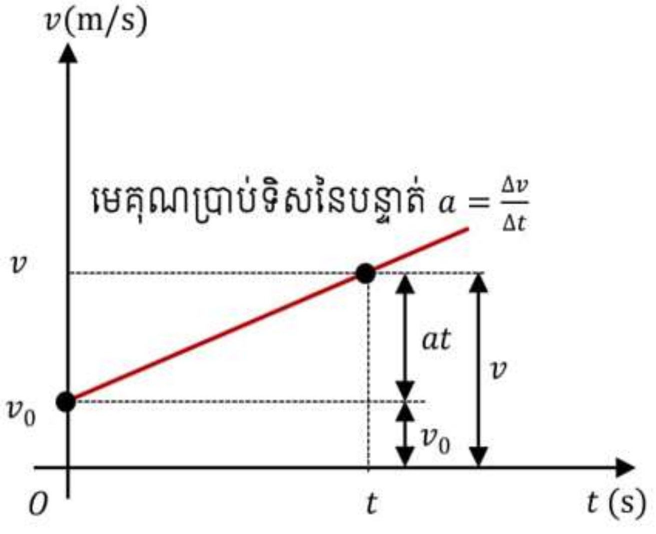
កន្សោមនេះអាចឱ្យយើងកំណត់វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈរបស់ចល័តនៅខណៈ $t$ ណាមួយបាន ប្រសិនបើយើងស្គាល់វ៉ិចទ័រល្បឿនដើម $v_o$ និងសំទុះថេរ $a$ របស់ចល័ត ។ ទំនាក់ទំនងខាងលើនេះ បង្ហាញថា វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈសមាមាត្រនឹងរយៈពេល ។ ក្រាបរបស់វា ជាបន្ទាត់ដែលមានមេគុណប្រាប់ទិសជាសំទុះ $a$ ដែល $a = \frac{dv}{dt} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ មានតម្លៃថេរ (រូបទី២.១៥) ។ តម្លៃវិជ្ជមាននៃមេគុណប្រាប់ទិសនេះបញ្ជាក់ពីតម្លៃវិជ្ជមាននៃសំទុះ ។ ប្រសិនបើសំទុះមានតម្លៃអវិជ្ជមាន មានន័យថា មេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ទ្រេតចុះពីឆ្វេងទៅស្តាំ ។

កាលណាសំទុ ... រមេគុណប្រាប់ទិសស្មើ

នឹងសូន្យ (រូបទី២.១៦)

វ៉ិចទ័រល្បឿនខ ... ៈពេល និងមានសមីការ $v = v_o + at$ ។

គេអាចសរសេ ... មនព្វន្តដែលមានវ៉ិចទ័រ ល្បឿនដើម $v_o$ និងវ៉ិចទ៌ ...




ប៉ុន្តែ វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យ ...

រូបទី២.១៥ ក្រាបតាង(ល្បឿន-ពេល)

និងវ៉ិចទ័រល្បឿននៅខណៈ $t$ គឺ

$$v = v_o + at$$

គេបាន

$$\frac{v_o + at}{2} + \frac{v_o}{2} = \frac{x - x_o}{t}$$

ដូច្នេះ

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_o t + x_o$$

ក្រាប(បំលាស់ទី – ពេល) នៃចលនាត្រង់មួយដែលមានសំទុះថេរ និង មានសមីការ $x = \frac{1}{2}at^2 + v_o t + x_o$ ខ្សែកោងនេះមានរាងប៉ារ៉ាបូល (រូបទី២.១៧) ។ មេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ប៉ះខ្សែកោងនៅខណៈ $t = 0$ ស្មើនឹងវ៉ិចទ័រល្បឿនដើម $v_o$ និងមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ប៉ះខ្សែកោងនៅខណៈ $t$ ស្មើនឹង វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ $v$ ។

តាមទំនាក់ទំនង $v = v_o + at$

នាំឱ្យ $t = \frac{v - v_o}{a}$

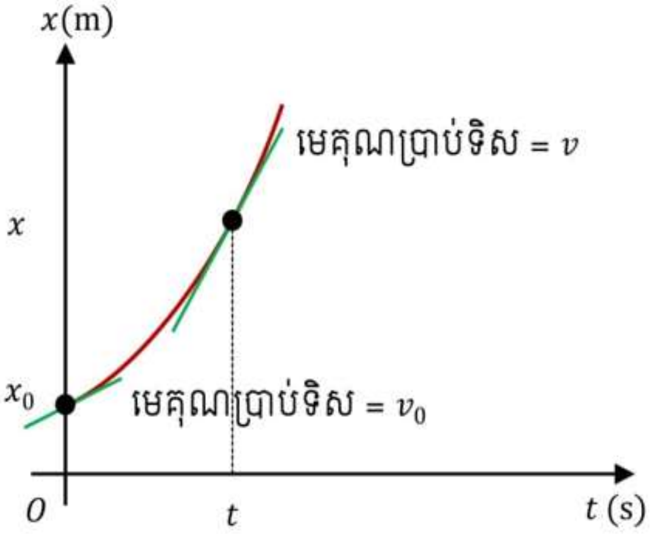
គេបាន

$$x - x_o = \frac{1}{2}at^2 + v_o t = \frac{1}{2}a\left(\frac{v - v_o}{a}\right)^2 + v_o\left(\frac{v - v_o}{a}\right)$$

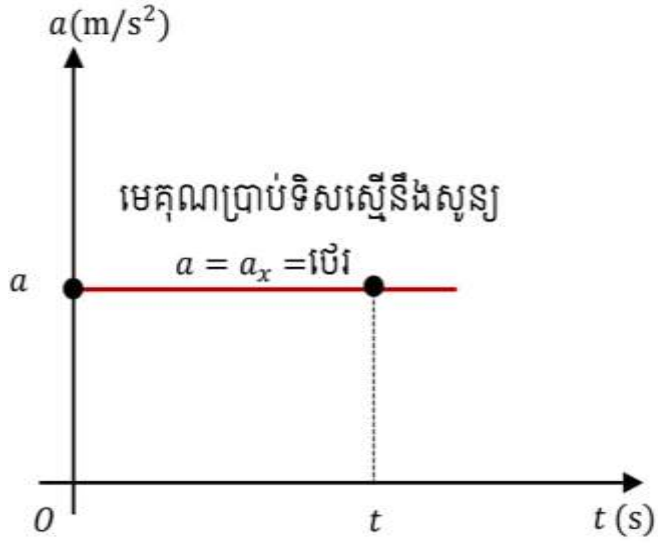
ដូចនេះ គេបានទំនាក់ទំនងរវាងល្បឿន សំទុះ និងបំលាស់ទី

$$v^2 - v_o^2 = 2a(x - x_o)$$

**ដ្យាក្រាម**




រូបទី២.១៧ ក្រាបតាង (បំលាស់ទី-ពេល)




រូបទី២.១៨ ក្រាបតាង(វ៉ិ រូបទី២.១៦ ក្រាបតាង (សំទុះ-ពេល)

ម្យ៉ាងទៀតសមីការខាងលើអាចទាញបានតាម

$$\frac{dv}{dt} = a = \text{ថេរ}$$

នាំឱ្យ $dv = adt$

ទាញបាន $\int_{v_o}^{v} dv = a\int_0^t dt$

$$v - v_o = at$$

យើងទាញបានល្បឿនខណៈ

$$v = at + v_o$$

$$\frac{dx}{dt} = at + v_o$$

នាំឱ្យ

$$\int_{x_o}^{x} dx = \int_0^t (at + v_o)dt$$

$$\int_{x_o}^{x} dx = a\int_0^t tdt + v_o\int_0^t dt$$

$$x - x_o = \frac{1}{2}at^2 + v_o t$$

យើងទាញបានសមីការចលនា

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_o t + x_o$$

ពីទំនាក់ទំនង

$$\int_{x_0}^{x} adx = \int_{v_0}^{v} vdv$$

$$a\int_{x_0}^{x} dx = \int_{x_0}^{x} vdv$$

$$a(x - x_0) = \frac{1}{2}(v^2 - v_0^2)$$

យើងទាញបាន ទំនាក់ទំនងរវាងល្បឿន សំទុះ និងបម្លាស់ទី $v^2 - v_o^2 = 2a(x - x_o)$

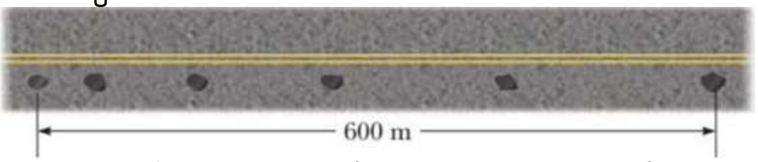
**សម្គាល់៖**

- **ចលនាត្រង់ស្មុះស្មើ** កាលណា $a.v > 0$ មានន័យថាវ៉ិចទ័រល្បឿន និងសំទុះមានទិសដៅដូចគ្នា។
- **ចលនាត្រង់យឺតស្មើ** កាលណា $a.v < 0$ មានន័យថាវ៉ិចទ័រល្បឿន និងសំទុះមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា។

## ២.៦. សំណួរ និងលំហាត់

1. តើឧបករណ៍វាស់ល្បឿនរបស់រថយន្តវាស់ល្បឿន ឬវាស់វ៉ិចទ័រល្បឿន (កុងទ័រល្បឿន)? ចូរពន្យល់។
2. បើវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមរបស់វត្ថុមួយស្មើសូន្យក្នុងចន្លោះពេលណាមួយ តើអ្នកនិយាយដូចម្ដេចពីបំលាស់ទីរបស់វត្ថុក្នុងចន្លោះពេលនោះ?
3. ប្រសិនបើរថយន្តមួយកំពុងបរឆ្ពោះទៅទិសខាងកើត តើគេអាចធ្វើឱ្យសំទុះរបស់វាឆ្ពោះទៅទិសខាងលិចបានដែរឬទេ? ចូរពន្យល់?
4. បើវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ភាគល្អិតមួយស្មើសូន្យ តើសំទុះរបស់ភាគល្អិតនោះអាចស្មើសូន្យឬទេ? ចូរពន្យល់?
5. បើវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ភាគល្អិតមួយមិនស្មើសូន្យ តើសំទុះរបស់ភាគល្អិតនោះអាចស្មើសូន្យឬទេ? ចូរពន្យល់?
6. ក. តើវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់វត្ថុមួយនៅខណៈណាមួយអាចមានតម្លៃធំជាងតម្លៃនៃវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមក្នុងចន្លោះពេលមួយដែលមានខណៈនោះឬទេ?
   ខ. តើវាអាចតូចជាងដែរឬទេ?
7. រថយន្តពីរកំពុងបរក្នុងទិសដៅដូចគ្នាក្នុងប្លង់ស្របតាមបណ្ដោយផ្លូវហាយវ៉េ (highway) មួយ។ នៅខណៈណា មួយ វ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់រថយន្ត $A$ នាំមុខវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់រថយន្ត $B$ ។ តើមានន័យថាសំទុះរបស់រថយន្ត $A$ ធំជាងសំទុះរបស់រថយន្ត $B$ ឬទេ? ចូរពន្យល់។

8. រូបខាងក្រោមបង្ហាញពីតំណក់ប្រេងមួយធ្លាក់(ចុះត្រង់)ទៅលើផ្លូវពីម៉ាស៊ីនរថយន្តដែលកំពុងផ្លាស់ទីរៀងរាល់៥វិនាទី។ តើល្បឿនមធ្យមរបស់រថយន្តលើផ្នែកនៃចលនានេះស្មើនឹងប៉ុន្មាន?




9. រថយន្តមួយចរក្នុងទិសដៅ $x$ វិជ្ជមានលើផ្លូវត្រង់មួយ។ ចំពោះ 4.00 s ដំបូងនៃចលនាវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមរបស់វាគឺ6.25 m/s ។ តើរថយន្តចរបានចម្ងាយប៉ុន្មានក្នុងរយៈពេល 4.00 s?

10. ទីតាំងជាអនុគមន៍នៃពេលចំពោះភាគល្អិតមួយដែលផ្លាស់ទីតាមអ័ក្ស x បង្ហាញដូចរូបខាងក្រោម។ ចូររកវ៉ិចទ័រក្នុងចន្លោះពេលពី

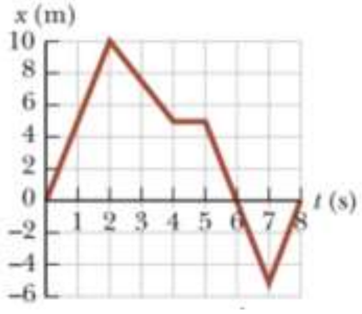
ក. 0 ទៅ 2 $s$

ខ. 0 ទៅ 4 $s$

គ. 2 $s$ ទៅ 4 $s$

ឃ. 4 $s$ ទៅ 7 $s$

ង. 0 $s$ ទៅ 8 $s$




11. មនុស្សម្នាក់ដើរដំបូងដោយល្បឿនថេរ $5.00m/s$ តាមខ្សែត្រង់ពីចំណុច $A$ ទៅចំណុច $B$ ហើយបន្ទាប់មកត្រឡប់តាមខ្សែនោះពី $B$ ទៅ $A$ វិញដោយល្បឿនថេរ $3.00\ m/s$ ។

ក.តើល្បឿនមធ្យមរបស់គាត់ក្នុងការធ្វើដំណើរទាំងទៅទាំងមកស្មើនឹងប៉ុន្មាន ?

ខ.តើវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមរបស់គាត់ក្នុងការធ្វើដំណើរទាំងទៅទាំងមកស្មើនឹងប៉ុន្មាន ?

12. ភាគល្អិតមួយផ្លាស់ទីយោងតាមសមីការ $x=10t^2$ ដែល $x$ គិតជាម៉ែត្រ និង $t$ គិតជាវិនាទី។

ក. ចូររកវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមក្នុងចន្លោះពេលពី $2.00s$ ទៅ $3.00s$ ។

ខ. ចូររកវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមក្នុងចន្លោះពេលពី $2.00s$ ទៅ $2.10s$ ។

13. ទីតាំងរបស់រថយន្តដឹកដើមស្រស់មួយត្រូវបានគេសង្កេតនៅខណៈផ្សេងៗគ្នា លទ្ធផលត្រូវបានបង្ហាញដូចក្នុងតារាងខាងក្រោម។

| $t(s)$ | 0 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $x(m)$ | 0 | 2.3 | 9.2 | 20.7 | 36.8 | 57.5 |

ចូររកវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមនៃរថយន្តចំពោះ:

ក.មួយវិនាទីដំបូង

ខ.បីវិនាទីចុងក្រោយ និង

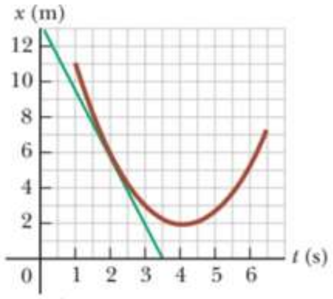
គ.រយៈពេលសង្កេតទាំងមូល

14. ទីតាំងរបស់ភាគល្អិតមួយដែលកំពុងផ្លាស់ទីតាមអ័ក្ស $x$ ប្រែប្រួលតាមពេលយោងតាមសមីកា $x=3t^2$ ដែល $x$ គិតជាម៉ែត្រ និង $t$ គិតជាវិនាទី។

ក.ចូររកទីតាំងរបស់វានៅខណៈ $3.00s$ និង $3.00s+\Delta t$ ។

ខ.ចូររកលីមីតនៃ $\Delta x/\Delta t$ នៅពេលដែល $\Delta t$ ខិតជិតសូន្យដើម្បីរកល្បឿននៅខណៈ $t=3.00s$ ។

15. ក្រាបទីតាំងពេលចំពោះភាគល្អិតមួយដែលកំពុងផ្លាស់ទីតាមអ័ក្ស $x$ ត្រូវបានបង្ហាញដូចរូបខាងក្រោម




ក.ចូររកវិចទ័រល្បឿនមធ្យមក្នុងចន្លោះពេលពី $t=1.50s$ ទៅ $t=4.00s$ ។

ខ.ចូររកវិចទ័រល្បឿនខណៈនៅខណៈ $t=2.00s$ តាមរយៈមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ប៉ះខ្សែកោងដូចដែលបានបង្ហាញក្នុងក្រាប ។

គ. តើនៅខណៈ $t$ ណាដែលវិចទ័រល្បឿនស្មើសូន្យ ?

16. អត្តពលិកម្នាក់ហែលចេញពីចុងម្ខាងនៃអាងហែលទឹកដែលមានប្រវែង $L$ នៅខណៈ $t=0$ និងមកដល់ចុងម្ខាងទៀតនៅខណៈ $t_1$ ។ នាងហែលត្រឡប់ និង មកដល់ទីតាំងចាប់ផ្តើមវិញនៅខណៈ $t_2$ ។ បើនៅខណៈដើមនាងកំពង់ហែលក្នុងទិសដៅ $x$ វិជ្ជមាន

ក.ចូររកវិចទ័រល្បឿនមធ្យមរបស់នាងក្នុង

១. ពេលចាប់ហែលពីចុងម្ខាងទៅដល់ចុងម្ខាងទៀតនៃអាង

២. ពេលចាប់ពីហែលត្រឡប់ទៅដល់ទីចាប់ផ្តើម។ ពាក់កណ្តាលជុំទីពីរនៃការហែល និង

៣.ពេលហែលទាំងទៅទាំងមក ។

ខ.ចូររកល្បឿនមធ្យមរបស់នាង ។

17.ចូររកវិចទ័រល្បឿនខណៈរបស់ភាគល្អិតមួយដែលបានពណ៌នាដូចរូបខាងក្រោមនៅខណៈដូចតទៅ

ក. $t=1.0s$

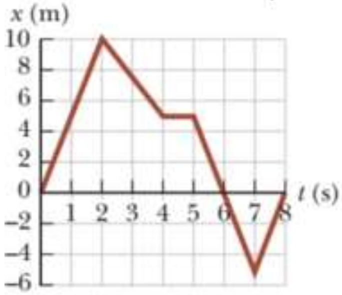
ខ. $t=1.5s$

គ. $t=2.0s$

ឃ. $t=3.0s$

ង. $t=4.5s$

ច. $t=7.5s$




18. មនុស្សម្នាក់ធ្វើដំណើរកម្សាន្តដោយបើកបរដោយល្បឿន $89.5km/h$ លើកលែងតែឈប់សម្រាកចំណាយពេលអស់ $22.0\min$ ។ ប្រសិនបើល្បឿនមធ្យមរបស់គាត់ស្មើនឹង $77.8km/h$

ក.តើរយៈពេលវេលាប៉ុន្មានដែលត្រូវចំណាយលើដំណើរកម្សាន្តនេះ ?

ខ. តើគាត់ធ្វើដំណើរបានចម្ងាយប៉ុន្មាន ?

19. ប្រសិនបើអ្នកកំពុងបើកបរដោយល្បឿន 95 $km/h$ តាមបណ្តោយផ្លូវត្រង់មួយហើយអ្នកក្រឡេកទៅចំហៀង2.0 s តើអ្នកធ្វើដំណើរបានចម្ងាយប៉ុន្មានក្នុងរយៈពេលនេះ ?

20. តើល្បឿនមធ្យមរបស់រថយន្តរបស់អ្នកស្មើនឹងប៉ុន្មានក្នុងការធ្វើដំណើរ 235 $km$ ក្នុងរយៈពេល 2.75 $h$ ?

21. ភាគល្អិតមួយនៅខណៈ $t_1 = -2.0\ s$ ស្ថិតនៅត្រង់ $x_1 = 4.8\ cm$ និងនៅខណៈ $t_2 = 4.5\ s$ ស្ថិតនៅត្រង់ $x_2 = 8.5\ cm$ ។

ក. តើវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមក្នុងចន្លោះពេលនេះស្មើនឹងប៉ុន្មាន?

ខ. តើអ្នកអាចគណនាល្បឿនមធ្យមរបស់វាបានដែរឬទេពីទិន្នន័យទាំងនេះ? បើបានហេតុអ្វី? ឬបើមិនបានហេតុអ្វី?

22. បាល់មៀលមួយផ្លាស់ទីពី $x_1 = 8.4\ cm$ ទៅ $x_2 = -4.2\ cm$ ក្នុងអំឡុងពេលពី $t_1 = 3.0\ s$ ទៅ $t_2 = 6.1\ s$ ។ តើវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមរបស់វាស្មើនឹងប៉ុន្មានក្នុងចន្លោះពេលនេះ?

23. បក្សីមួយអាចហើរដោយល្បឿន 25 km/h ។ តើវាប្រើពេលស្មើនឹងប៉ុន្មានដើម្បីហើរបាន 3.5 km?

24. អ្នកកំពុងបើកបរមកផ្ទះពីសាលារៀនជាប្រចាំនៅល្បឿន 95 km/h ក្នុងចម្ងាយ 180 km ។ បន្ទាប់មេឃចាប់ផ្តើមភ្លៀង ហើយអ្នកបន្ថយល្បឿនទៅដល់ 65 km/h ។ អ្នកមកដល់ផ្ទះបន្ទាប់ពីការបើកបរអស់រយៈពេល 4.5 h ។

ក. តើផ្ទះរបស់អ្នកមានចម្ងាយប៉ុន្មានពីសាលារៀន?

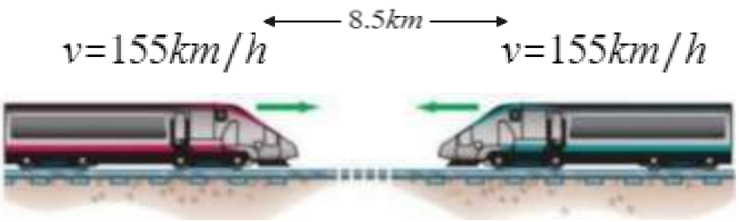
ខ. តើល្បឿនមធ្យមរបស់អ្នកស្មើនឹងប៉ុន្មាន?

25. សេះមួយក្បាលដើរត្រឹកៗចេញពីគ្រូបង្វឹករបស់វាក្នុងគន្លងត្រង់ដោយផ្លាស់ទីបានចម្ងាយ 38 m ក្នុងរយៈពេល 9.0 s ។ បន្ទាប់មកវាបត់ ហើយផាយត្រឡប់មកដល់ពាក់កណ្ដាលវិញក្នុងរយៈពេល $1.8\ s$ ។ ដោយយក " ទិស ដៅចេញពីគ្រូបង្វឹក" ជាទិសដៅវិជ្ជមាន ចូរគណនា

ក. ល្បឿនមធ្យម និង

ខ. វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមរបស់វាចំពោះការធ្វើដំណើរទាំងមូល។

26. ក្បាលរថភ្លើងពីរផ្លាស់ទីសំដៅទៅរកគ្នានៅលើគន្លងផ្លូវស្របគ្នា។ រថភ្លើងនីមួយៗមានល្បឿន 155 km/h ធៀបនឹងដី។ ប្រសិនបើ ដំបូងរថភ្លើងទាំងពីរនៅចម្ងាយ 8.5 km ពីគ្នា តើវានឹងមានរយៈពេលប៉ុន្មានមុនពេលដែលរថភ្លើងទាំងពីរមកជួបគ្នា?




27. រថយន្តមួយដែលកំពុងធ្វើដំណើរដោយល្បឿន $95\ km/h$ វ៉ារថភ្លើងមួយដែលមានប្រវែង $1.30\ km$ ដែលកំពុងធ្វើ ដំណើរក្នុងទិសដៅតែមួយនៅលើផ្លូវដែកស្របទៅនឹងផ្លូវដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។ ប្រសិនបើល្បឿនរបស់រថភ្លើង $75\ km/h$

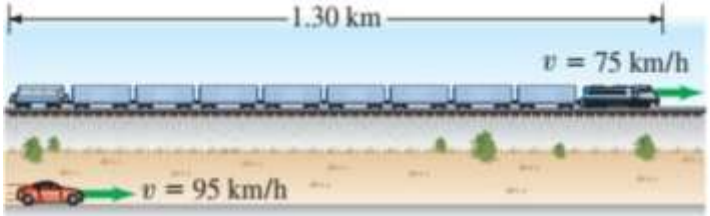
ក. តើរថយន្តត្រូវចំណាយពេលប៉ុន្មានដើម្បីឆ្លងកាត់រថភ្លើង?

ខ. តើរថយន្តនោះនឹងចរបានចម្ងាយប៉ុន្មានក្នុងរយៈពេលនេះ?

គ. តើសំណួរទាំងពីរខាងលើមានលទ្ធផលដូចម្ដេចបើរថយន្ត និងរថភ្លើងធ្វើដំណើរក្នុងទិសដៅផ្ទុយគ្នា?

28. រថយន្តស្ព័រមួយស្ទុះពីសៀមរហូតទៅដល់ល្បឿន 95 km/h ក្នុងរយៈ $4.3\ s$ ។ តើសំទុះមធ្យមស្មើ

នឹងប៉ុន្មានម៉ែត្រក្នុងមួយវិនាទីការេ?



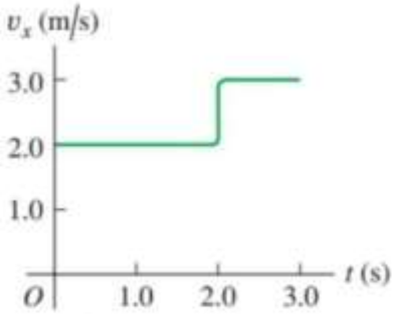

29. រថយន្តស្ព័រមួយដែលកំពុងផ្លាស់ទីដោយវិចទ័រល្បឿនថេរចរបានចម្ងាយ $120\,m$ ក្នុងរយៈពេល $5.0\,s$ ។ បន្ទាប់មកប្រសិនបើវាចាប់ហ្វ្រាំងហ្វឹងហើយឈប់ក្នុងរយៈពេល $4.0s$ តើតម្លៃសំទុះរបស់វាស្មើនឹងប៉ុន្មានម៉ែត្រក្នុង(សន្ទតថេរ)មួយវិនាទីការេ?

30. រថយន្តមួយដែលកំពុងផ្លាស់ទីតាមខ្សែត្រង់ចាប់ផ្តើមនៅត្រង់ $x=0$ និងនៅខណៈ $t = 0$ ។ វាឆ្លងកាត់ចំណុច$x = 25.0\,m$ ដោយល្បឿន $11.0\,m/s$ នៅខណៈ $3.00\,s$ ។ វាឆ្លងកាត់ចំណុច $x = 385\,m$ ដោយល្បឿន $45.0\,m/s$ នៅខណៈ $20.0\,s$ ។ ចូររក

ក. វិចទ័រល្បឿនមធ្យម និង

ខ. សំទុះមធ្យមរវាងខណៈ$3.00\,s$ និង $20.0\,s$ ។

31. បាល់មួយផ្លាស់ទីតាមគន្លងត្រង់( អ័ក្ស$x$)។ ក្រាបក្នុងរូបខាងក្រោមបង្ហាញពីវិចទ័រល្បឿនរបស់បាល់ជាអនុគមន៍ នៃពេល។




ក. តើល្បឿនមធ្យម និងវិចទ័រល្បឿនមធ្យមស្មើនឹងប៉ុន្មានក្នុងរយៈពេល$3.0\,s$ ដំបូង?

ខ.ឧបមាថា បាល់នោះបានផ្លាស់ទីតាមរបៀបមួយដែលផ្នែកក្រាបបន្ទាប់ពី$2.0\,s$ មានល្បឿន $-3.0\,m/s$ ជំនួស ឱ្យល្បឿន $+3.0\,m/s$ ។ ចូររកល្បឿនមធ្យម និងវិចទ័រល្បឿនមធ្យមរបស់បាល់ក្នុងករណីនេះ។

32. ទីតាំងរបស់រថយន្តមួយត្រូវបានគេសង្កេតនៅខណៈផ្សេងៗគ្នាមានទិន្នន័យដូចបង្ហាញក្នុងតារាងខាងក្រោម។

| $t$ (s) | 0 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $x$ (m) | 0 | 2.3 | 9.2 | 20.7 | 36.8 | 57.5 |

ក. ចូរប្រើទិន្នន័យក្នុងតារាងដើម្បីសង់ក្រាបទីតាំងជាអនុគមន៍នៃពេល។

ខ. តាមការសង់បន្ទាត់ប៉ះនឹងខ្សែកោង$x(t)$ចូររកវិចទ័រល្បឿនខណៈរបស់រថយន្តនៅខណៈបន្តបន្ទាប់។

គ. ចូរគូសក្រាបវិចទ័រល្បឿនខណៈជាអនុគមន៍នៃពេល និងពីព័ត៌មាននេះ ចូរកំណត់សំទុះមធ្យមរបស់រថយន្ត។

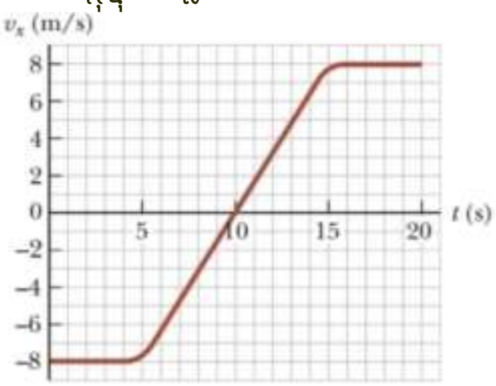
ឃ. តើវ៉ិចទ័រល្បឿនដើមរបស់រថយន្តស្មើនឹងប៉ុន្មាន?

33. ក្រាបល្បឿនពេលចំពោះវត្ថុមួយដែលផ្លាស់ទីតាមអ័ក្ស $x$ ត្រូវបានបង្ហាញដូចក្នុងរូបខាងក្រោម។

ក. ចូរគូសក្រាបតាងឱ្យសំទុះជាអនុគមន៍នៃពេល។

ខ. ចូរកំណត់សំទុះមធ្យមរបស់វត្ថុក្នុងចន្លោះពេលពី $t = 5.00\,s$ ទៅ $t = 15.0\,s$ ។

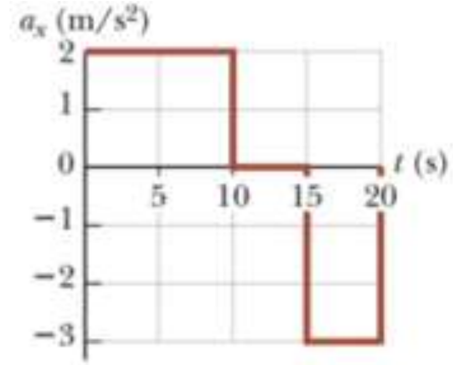
គ .ចូរកំណត់សំទុះមធ្យមរបស់វត្ថុក្នុងចន្លោះពេលពី $t = 0$ ទៅ $t = 20.0\,s$ ។




34. ភាគល្អិតមួយចាប់ផ្តើមពីសៀម ហើយមានសំទុះដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។ ចូររក

ក. ល្បឿនរបស់ភាគល្អិតនៅខណៈ $t = 10.0\,s$ និងនៅខណៈ $t = 20.0\,s$ និង

ខ. ចម្ងាយដែលបានក្នុងរយៈពេល $20.0\,s$ ដំបូង។




35. វត្ថុមួយផ្លាស់ទីតាមអ័ក្ស x យោងតាមសមីការ $x = 3.00t^2 - 2.00t + 3.00$ ដែល $x$ គិតជាម៉ែត្រ$(m)$ និងគិតជាវិនាទី$(s)$។ ក. ចូររក

១. ល្បឿនមធ្យមរវាងខណៈ $t = 2.00\,s$ និង $t = 3.00\,s$

២. ល្បឿនខណៈនៅខណៈ $t = 2.00\,s$ និងនៅខណៈ $t = 3.00\,s$

៣. សំទុះមធ្យមនៅចន្លោះខណៈ $t = 2.00\,s$ និង $t = 3.00\,s$ និង

៤. សំទុះខណៈនៅខណៈ $t = 2.00\,s$ និងនៅខណៈ $t = 3.00\,s$ ។

ខ. តើនៅខណៈណាដែលវត្ថុនោះនៅសៀម?

36. ភាគល្អិតមួយផ្លាស់ទីតាមអ័ក្ស $x$ យោងតាមសមីការ $x = 2.00 + 3.00t - 1.00t^2$ ដែល $x$ គិតជាម៉ែត្រ$(m)$ និងគិតជាវិនាទី$(s)$។ នៅខណៈ $t = 3.00\,s$ ចូររក

ក. ទីតាំង

ខ. វ៉ិចទ័រល្បឿន និង

គ. សំទុះរបស់ភាគល្អិត។

37. ចម្ងាយអប្បបរមាដែលត្រូវការដើម្បីបញ្ឈប់រថយន្តមួយដែលកំពុងផ្លាស់ទីដោយល្បឿន

$35.0\ mi/h$ គឺ $40.0\ ft$ ។តើចម្ងាយអប្បបរមាដែលឈប់ចំពោះរថយន្តដដែល ដែលកំពុងផ្លាស់ទីដោយល្បឿន$70.0\ mi/h$ ស្មើនឹងប៉ុន្មាន ?

38. អេឡិចត្រុងមួយក្នុងបំពង់កាំរស្មីកាតូតស្ទុះស្មើពី $2.00 \times 10^4\ m/s$ ទៅ $6.00 \times 10^6\ m/s$ ក្នុងចម្ងាយ $1.50\ cm$ ។

ក. តើក្នុងរយៈពេលណាដែលអេឡិចត្រុងចរបានចម្ងាយ $1.50\ cm$ នេះ ?

ខ. តើសំទុះរបស់អេឡិចត្រុងស្មើនឹងប៉ុន្មាន ?

39. ទូកល្បឿនមួយផ្លាស់ទីដោយល្បឿន $30.0\ m/s$ ខិតទៅជិតសញ្ញាសម្គាល់( ពោង )នៅចម្ងាយ $100\ m$ នៅខាងមុខ។ អ្នកបើកនាវានោះបន្ថយល្បឿនដោយសំទុះថេរ $-3.50\ m/s^2$ ។

ក. តើទូកនោះប្រើរយៈពេលស្មើនឹងប៉ុន្មានដើម្បីទៅដល់ពោងនោះ ?

ខ.តើវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ទូកស្មើនឹងប៉ុន្មាននៅពេលវាទៅដល់ពោងនោះ ?

# មេរៀនទី៣ ៖ បន្ទុកអគ្គិសនី និងដែនអគ្គិសនី

## ៣.១.បន្ទុកអគ្គិសនី

### ៣.១.១.ដើមកំណើតអេឡិចត្រូស្តាទិច

កាលពី 600ឆ្នាំមុនគ្រិស្តសករាជ ជនជាតិក្រិចឈ្មោះ Thales (624-546 BC)ដែលជាអ្នកដំបូងគេ បានរកឃើញជ័រឈើរឹងម្យ៉ាង(amber រូបទី៣.១)ត្រដុសជាមួយរោមសត្វ។ ជ័រឈើនោះអាចធក់ទាញវត្ថុស្រាលៗឱ្យតោងជាប់នឹងវាបាន(រូបទី៣.១ ក.ខ)។សព្វថ្ងៃ គេថាជ័រឈើនោះផ្ទុកអគ្គិសនី។ ពាក្យ electric(អគ្គិសនី)ចេញពីពាក្យក្រិច electron ដែលមានន័យថា amber ។

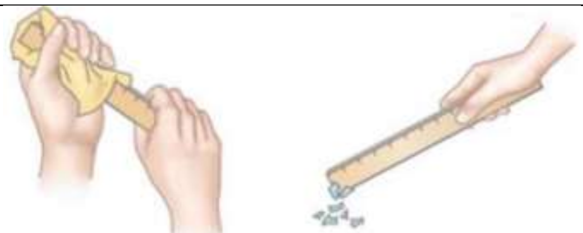
រូប៣.១ជ័រឈើរឹង(amber)។ (ក)ចង្កឹះជ័រ(ឬ amber)ត្រដុសនឹងរោមសត្វ ។(ខ)ចង្កឹះជ័រខាត់រួចធក់ទាញវត្ថុស្រាលៗ។

នៅដើមទសវត្សឆ្នាំ 1600 លោកWilliam Gilbert (1544-1603) ជនជាតិអង់គ្លេស បានរកឃើញ amber មិនត្រឹមតែជាសារធាតុមានបន្ទុកអគ្គិសនីអាចធក់ទាញវត្ថុផ្សេងៗប៉ុណ្ណោះទេ គាត់ថែមទាំងបានហៅសារធាតុដែលមានបន្ទុកអគ្គិសនីថា elektriks និងសារធាតុដែលគ្មានបន្ទុកអគ្គិសនីថា nonelektriks។

នៅឆ្នាំ1752 មានពិសោធន៍ល្បីល្បាញបំផុតមួយពីអគ្គិសនី ។ក្នុងឆ្នាំនោះលោក Benjamin Franklin (1706-1790) ជនជាតិអាមេរិចកាំង បានប្រើខ្លែង និងកូនសោរដាក់បង្ហោះដើម្បីទាក់ទាញផ្លេកបន្ទោរពីមេឃបានដោយជោគជ័យ។ គាត់បានខិតខំព្យាយាមបង្ហាញឱ្យឃើញថាអគ្គិសនីគឺជាសន្ទនីយ៍មួយ។ ពីពិសោធន៍ទាំងនេះ និងពិសោធន៍ដទៃទៀត Benjamin Franklin ត្រូវបានគេជឿថាបង្កើតទ្រឹស្តីបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមាន និងបន្ទុកអគ្គិសនីអវិជ្ជមានដោយការកំណត់ហៅឈ្មោះសញ្ញានៃបន្ទុកអគ្គិសនីលើ *ចង្កឹះកែវខាត់រួច* (ជាមួយនឹងសំពត់សូត្រ)ថា វិជ្ជមាន និងចង្កឹះជ័រខាត់រួច(ជាមួយនឹងរោមសត្វ)ថាអវិជ្ជមានហូតមកដល់សព្វថ្ងៃនេះ។

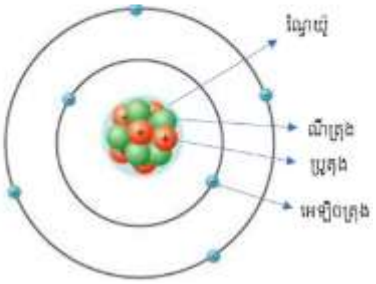
### ៣.១.២. បន្ទុក និងម៉ាសរបស់ភាគល្អិតនៃអាតូម(អេឡិចត្រុង ប្រូតុង និងណឺត្រុង)

នៅពេលអ្នកដោះស្បែកជើងចេញ(ជើងស្ងួត) រួចដើរកាត់កម្រាលព្រំនីឡុងមួយ អ្នកនឹងមានបន្ទុកអគ្គិសនី។ម្យ៉ាងទៀត បើអ្នកយកក្រាសជ័រទៅសិតសក់ស្ងួតនៅពេលមានអាកាសធាតុក្តៅស្ងួតក្រាសជ័រនោះក៏ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីដែរ។ ដូចគ្នាដែរ បើអ្នកយកបន្ទាត់ជ័រ ឬចង្កឹះអេបូនីតទៅខាត់នឹងរោមសត្វ ឬសំពត់ឡែន(រូបទី៣.២)កែវទៅខាត់ នឹងសំពត់សូត្រ វត្ថុទាំងអស់នេះនឹងផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនី។ នៅពេលវត្ថុទាំងនេះខាត់ត្រដុសគ្នា មានបណ្តូរអេឡិចត្រុងរវាងវត្ថុទាំងនេះដែលជាហេតុចង្កឹះកែវ រោមសត្វ និងសំពត់ឡែនបាត់អេឡិចត្រុងផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមាន ឯសំពត់សូត្រ ចង្កឹះអេបូនីត និងបន្ទាត់ជ័រលើសអេឡិចត្រុងផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីអវិជ្ជមាន។




រូបទី៣.២ បន្ទាត់ជ័រត្រដុសខាត់ជាមួយសំពត់ទ្បែន

យើងដឹងថាអេឡិចត្រុងមាននៅគ្រប់រូបធាតុទាំងអស់ រូបធាតុកើតពីអាតូមច្រើន។ អាតូមនីមួយៗមាន ភាគល្អិតបង្កបីគឺអេឡិចត្រុង ប្រូតុងនិងណឺត្រុង(លើកលែងតែអាតូមអ៊ីដ្រូសែនធម្មតា)។ នៅចំកណ្ដាលអាតូមមាន ណួយ៉ូដែលមានប្រូតុងផ្ទុកបន្ទុកវិជ្ជមាន និងណឺត្រុង(គ្មានបន្ទុក)ហើយនៅជុំវិញណ្វៃយ៉ូមានអេឡិចត្រុងផ្ទុកបន្ទុក អវិជ្ជមានធ្វើចលនាជុំវិញណ្វៃយ៉ូនោះ (រូបទី៣.៣)។ ដូចនេះបើអាតូមមួយនៃរូបធាតុបាត់អេឡិចត្រុង រូបធាតុនោះផ្ទុក បន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមាន ហើយបើលើសអេឡិចត្រុងផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីអវិជ្ជមាន។




រូបទី ៣.៣ ទម្រង់នៃអាតូមកាបូនណឺត

នេះជាតារាងតម្លៃបន្ទុក និងម៉ាសរបស់ភាគល្អិតនៃអាតូម៖

| បន្ទុក និងម៉ាសរបស់អេឡិចត្រុង ប្រូតុង និងណឺត្រុង | | | |
|---|---|---|---|
| ភាគល្អិត | អេឡិចត្រុង | ប្រូតុង | ណឺត្រុង |
| បន្ទុក | $-e=-1.602\times10^{-19}$ C | $e=1.602\times10^{-19}$ C | 0 (ណឺត) |
| ម៉ាស | $m_e=9.109\times10^{-31}$ kg | $m_p=1.673\times10^{-27}$ kg | $m_n=1.675\times10^{-27}$ kg |

តម្លៃបន្ទុកលើប្រូតុង និងអេឡិចត្រុងស្មើគ្នាដូចក្នុងតារាង។ បរិមាណនៃបន្ទុកនោះ ហៅថា បន្ទុកដំបូង e ដែល e = $1.602\times10^{-19}C$។ ក្នុងប្រព័ន្ធខ្នាតអន្តរជាតិS.I បន្ទុកអគ្គិសនី គិតជា គូឡុំ (C) ដែលជាឈ្មោះរូបវិទូជនជាតិបារាំង។

គ្រប់អាតូមនៃជាតុគីមីបន្ទុកអគ្គិសនីរបស់ណ្វៃយ៉ូនៃអាតូមណាមួយកំណត់ដោយ

$$Q = Ze \qquad (៣.១)$$

ដែល Z ជាលេខលំដាប់អាតូម និង e = $1.602\times10^{-19}C$ ជាបន្ទុកប្រូតុង។

បរិមាណបន្ទុកអគ្គិសនីសរុបលើអង្គធាតុមួយអាចសរសេរ

$$Q = (N_P - N_e)e \qquad (៣.២)$$

ដែល$N_p$ជាចំនួនប្រតុង $N_e$ជាចំនួនអេឡិចត្រុង និង $e = 1.602\times10^{-19}C$ ជាបន្ទុកដំបូង ។

- បើ $N_p = N_e$ អង្គធាតុពុំមានបន្ទុកអគ្គិសនីទេ $Q=0$ (អង្គធាតុណឺត)
- បើ $N_p > N_e$ អង្គធាតុបាត់អេឡិចត្រុងចំនួន$N$ មានបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមាន

$$Q = +Ne \qquad (៣.៣)$$

- បើ $N_p < N_e$ អង្គធាតុលើសអេឡិចត្រុងចំនួន$N$ មានបន្ទុកអគ្គិសនីអវិជ្ជមាន

$$Q = -Ne \qquad (៣.៤)$$

នៅឆ្នាំ១៩០៩លោកRobert Millikan (1868-1953)ជារូបវិទូជនជាតិអាមេរិច បានរកឃើញថា បន្ទុកអគ្គិសនីរបស់អង្គធាតុតែងតែជាពហុគុណគត់នៃ $e$ ជានិច្ច។

## ៣.១.៣.ច្បាប់រក្សាបន្ទុកអគ្គិសនី

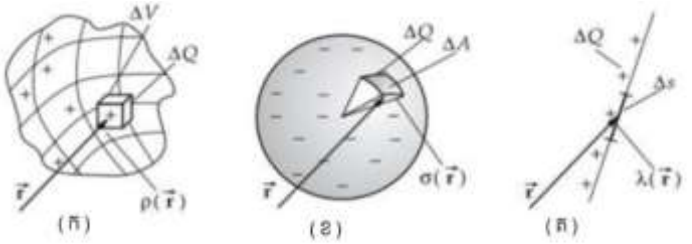
ការខាត់ត្រដុសចង្កឹះកែវជាមួយនឹងសំពត់សូត្រធ្វើឱ្យវាទាំងពីរផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីមានតម្លៃស្មើគ្នាតែមានសញ្ញាផ្ទុយគ្នា។ ដំបូង វត្ថុទាំងពីរពុំមានបន្ទុកទេ បរិមាណបន្ទុកអគ្គិសនីសរុបស្មើសូន្យ ហើយក្រោយពេលខាត់រួច ផលបូកបរិមាណបន្ទុកអគ្គិសនីរបស់វត្ថុទាំងពីរនៅតែសូន្យដដែល រូបទី៣.៥ ។

ដូចនេះ ផលបូកពីជគណិតនៃបន្ទុកអគ្គិសនីទាំងអស់ក្នុងប្រព័ន្ធបិទណាមួយមានតម្លៃ

$$\sum_i Q_i = \text{ថេរ} \qquad (៣.៥)$$

## ៣.១.៤.ដង់ស៊ីតេបន្ទុកអគ្គិសនី

ដង់ស៊ីតេបន្ទុកអគ្គិសនីពណ៌នាពីរបាយបន្ទុកអគ្គិសនីដែលរាយលើអង្គធាតុរាងផ្សេងៗ ដូចជាបន្ទុករាយតាមប្រវែង បន្ទុករាយលើផ្ទៃ បន្ទុករាយលើមាឌ (រូប ៣.៤)។




រូបទី៣.៤ ដង់ស៊ីតេបន្ទុកអគ្គិសនី

### ១.ដង់ស៊ីតេបន្ទុកលើមាឌ

ដង់ស៊ីតេបន្ទុកលើមាឌ ជាបន្ទុកក្នុងមួយខ្នាតមាឌនៃអង្គធាតុ។អង្គធាតុមួយមានមាឌV និងផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមាន $Q$ ។ឥឡូវចូរពិនិត្យមើលលើធាតុមាឌ $\Delta V$ ណាមួយត្រង់ទីតាំង $\vec{r}$ ។ ធាតុមាឌនោះមានបរិមាណបន្ទុកអគ្គិសនី $\Delta Q$ ។ ផលធៀប $\frac{\Delta Q}{\Delta V}$ ប្រាប់យើងឱ្យដឹងពីតម្លៃ $\rho$ របស់បន្ទុកក្នុងមួយខ្នាតមាឌ $\Delta V$ ។ បន្ទុករាយលើអង្គធាតុមិនស្មើគ្នាទេ ដូច្នេះដង់ស៊ីតេបន្ទុកនៅគ្រប់ចំណុចទាំងអស់របស់អង្គធាតុប្រែប្រួលទៅតាមទីតាំងក្នុងប្រព័ន្ធកូអរដោនេ។ បើបដង់ស៊ីតេបន្ទុកអាស្រ័យនឹងទីតាំងមាឌ $\Delta V$ ចាំបាច់ត្រូវបន្ថយ $(\Delta V \to 0)$ រហូតដល់បន្ទុកដែលមានក្នុងមាឌនេះត្រូវបានគេចាត់ទុកថារាយយ៉ាងស្មើ។ នេះត្រូវទម្រង់លីមីតយើងបានដង់ស៊ីតេបន្ទុកលើមាឌ

$$\rho(\vec{r}) = \lim_{\Delta v \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta V} = \frac{dQ}{dV} \qquad (៣.៦)$$

ក្នុងប្រព័ន្ធខ្នាតអន្តរជាតិ S.I ខ្នាតនៃបន្ទុកអគ្គិសនី(C) ខ្នាតនៃមាឌ($mm^3$) ដូចនេះខ្នាតនៃ $\rho$ គឺ ($C/m^3$) ។ បរិមាណបន្ទុកអគ្គិសនីសរុបក្នុងមាឌទាំងមូលនៃអង្គធាតុ

$$Q = \int_v \rho(\vec{r})\,\mathrm{dv} \qquad (៣.៧)$$

បើបន្ទុក $Q$ រាយស្មើៗគ្នាលើមាឌ V ដង់ស៊ីតេបន្ទុកលើមាឌនោះគឺ

$$\rho = \frac{dQ}{dV} = \frac{\Delta Q}{\Delta V} = \frac{Q}{v} \qquad (៣.៨)$$

## ២.ដង់ស៊ីតេបន្ទុកលើផ្ទៃ

ស្រដៀងគ្នាដែរ ដង់ស៊ីតេបន្ទុកលើផ្ទៃ គឺជាបន្ទុកក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃនៃអង្គធាតុ។ ដូចនេះដង់ស៊ីតេបន្ទុកដែល រាយលើផ្ទៃ S មួយដែលមានផ្ទៃ A (ផ្ទៃក្រឡា)

$$\sigma(\vec{r}) = \lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta A} = \frac{dQ}{dA} \qquad (៣.៩)$$

ក្នុងប្រព័ន្ធខ្នាតអន្តរជាតិS.Iខ្នាតនៃបន្ទុកអគ្គិសនី($C$)ខ្នាតផ្ទៃក្រឡា($m^2$)ដូចនេះខ្នាតនៃ$\sigma$ គឺ ($C/m^2$)។ បរិមាណបន្ទុកអគ្គិសនីសរុបលើផ្ទៃទាំងមូលនៃអង្គធាតុ

$$Q = \iint_s \sigma(\vec{r})\,dA \qquad (៣.១០)$$

ចំពោះរបាយនៃបន្ទុក Q រាយស្មើៗគ្នាលើផ្ទៃ A ដង់ស៊ីតេបន្ទុកលើផ្ទៃនោះគឺ

$$\sigma = \frac{dQ}{dA} = \frac{\Delta Q}{\Delta A} = \frac{Q}{A} \qquad (៣.១១)$$

## ៣.ដង់ស៊ីតេបន្ទុកលើប្រវែង

ដង់ស៊ីតេបន្ទុកអគ្គិសនីលើប្រវែង ជាបន្ទុកក្នុងមួយខ្នាតប្រវែង។ ដូចនេះដង់ស៊ីតេបន្ទុកលើប្រវែងគឺ

$$\lambda(\vec{r}) = \lim_{\Delta S \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta s} = \frac{dQ}{ds} \qquad (៣.១២)$$

ដែល A គិតជា( $C/m^2$ )។

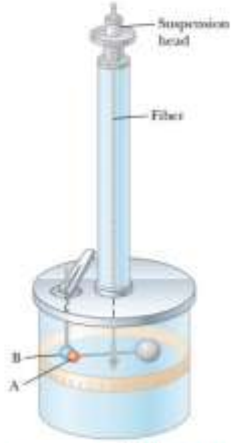
បន្ទុកអគ្គិសនីសរុបលើប្រើវែងទាំងមូលនៃអង្គធាត

$$Q = \int_{line} \lambda(\vec{r})\,ds \qquad (៣.១៣)$$

បើបន្ទុក $Q$ រាយស្មើៗគ្នាលើប្រវែង $l$ នោះដង់ស៊ីតេបន្ទុក

$$\lambda = \frac{dQ}{dl} = \frac{\Delta Q}{\Delta l} = \frac{Q}{l} \qquad (៣.១៤)$$

## ៣.២.ច្បាប់គូឡុំ (Charles-Augustin de Coulomb( 1736 - 1806 ) )




រូប៣.៥ ជញ្ជីងរមួលគូឡុំប្រើដើម្បីបង្កើតច្បាប់ចម្រាសការេនៃចម្ងាយចំពោះកម្លាំងអគ្គិសនី

នៅឆ្នាំ១៧៨៥ លោក Coulomb ដែលជារូបវិទូជនជាតិបារាំង បានធ្វើការសិក្សាពីកម្លាំងអន្តរកម្មអគ្គិសនីរវាងភាគល្អិតពីរផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីដោយប្រើជញ្ជីងរមួល រូបទី៣.៥។

ច្បាប់គូឡុំពណ៌នាពីកម្លាំងអគ្គិសនី (ឬកម្លាំងអេឡិចត្រូស្តាទិច) រវាងបន្ទុកអគ្គិសនីពីរ $q_1$ និង $q_2$ ស្ថិតនៅ ចម្ងាយ $r$ ពីគ្នា។ ច្បាប់នេះពោលថា តម្លៃកម្លាំងអគ្គិសនី រវាងចំណុចបន្ទុកពីរសមាមាត្រនឹងតម្លៃដាច់ខាតនៃផលគុណបន្ទុកទាំងពីរ $|q_1 \times q_2|$ និងចម្រាសការេនៃចម្ងាយរវាងបន្ទុកទាំងពីរ $\frac{1}{r^2}$ ហើយអាស្រ័យនឹងមជ្ឈដ្ឋានឌីអេឡិចទ្រិចដែលបន្ទុកទាំងពីរស្ថិតនៅ។

### ៣.២.១.តម្លៃនៃកម្លាំងអគ្គិសនី

តម្លៃកម្លាំងអគ្គិសនីរវាងចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីពីរ $q_1$ និង $q_2$ ស្ថិតក្នុងសុញ្ញកាសដែលមានចម្ងាយ $r$ ពីគ្នា( រូបទី៣.៦ ) ឱ្យតាមច្បាប់គូឡុំ

$$F = F_{12} = F_{21} = k\frac{|q_1 \times q_2|}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_1 \times q_2|}{r^2} \qquad (៣.១៥)$$

ដែល $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_r} = (10^{-7} N.s^2/C^2)c^2 = 8.99\times10^9 N.m^2/C^2 \approx 9.0\times10^9 N.m^2/C^2$ ជាថេរគូឡុំ ឬថេរអេឡិចត្រូស្តាទិច( ដែល $c = 2.99792458\times10^8 \ m/s$ ល្បឿនពន្លឺជាលក្នុងសុញ្ញកាស ) និង $\varepsilon_0 = 8.85\times10^{-12} C^2/(N.m^2)$ ជាពែមីទីវីតេនៃសុញ្ញាកាស។

បើចំណុចបន្ទុក $q_1$ និង $q_2$ ស្ថិតក្នុងមជ្ឈដ្ឋានឌីអេឡិចទ្រិចនៃសារធាតុណាមួយដែលមានថេរឌីអេឡិចទ្រិច $\varepsilon_r$ (ឬពែមីទីវីតេធៀប) តម្លៃកម្លាំងអគ្គិសនីលើបន្ទុកនីមួយៗឱ្យតាមច្បាប់គូឡុំសរសេរ

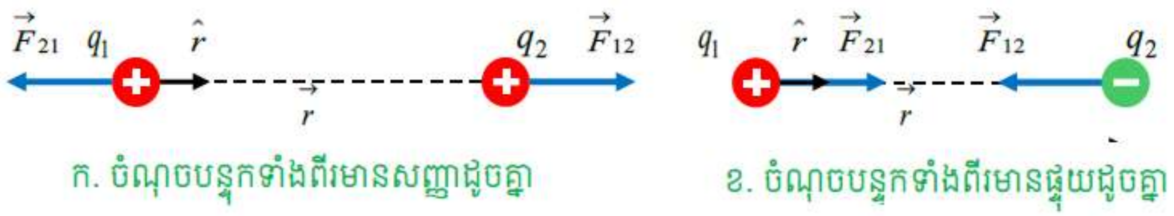
$$F = F_{12} = F_{21} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_1 \times q_2|}{\varepsilon_r r^2} = k\frac{|q_1 \times q_2|}{\varepsilon_r r^2} \qquad (៣.១៦)$$

- $q_1$ និង $q_2$ ជាចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីគិតជា ( $C$ )
- $F_{12}$ ជាតម្លៃកម្លាំងអគ្គិសនីមានអំពើលើបន្ទុក $q_2$ គិតជា ( $N$ )

- $F_{21}$ ជាតម្លៃកម្លាំងអគ្គិសនីមានអំពើលើបន្ទុក $q_1$ គិតជា ( $N$ )
- $F$ ជាតម្លៃកម្លាំងអន្តរកម្មអគ្គិសនីរវាងចំណុចបន្ទុកទាំងពីរ គិតជា ( $N$ )
- $r$ ជាចម្ងាយរវាងចំណុចបន្ទុកទាំងពីរ គិតជា ( $m$ )
- $\varepsilon_0 = 8.85\times10^{-12} C^2/(\mathrm{N.m^2})$ ជាពែមីទីវីតេនៃសុញ្ញកាស
- $\varepsilon_r$ ជាពែមីទីវីតេធៀប គ្មានខ្នាត (ឬថេរឌីអេឡិចទ្រិច)

ចំណាំ៖ សមីការ(៣.១៥) និង (៣.១៦) ប្រើបានចំពោះចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនី ឬអង្គធាតុផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីមាន រាងស្វ៊ែរតែប៉ុណ្ណោះ។

## ៣.២.២.កន្សោមវ៉ិចទ័រកម្លាំងអគ្គិសនី




រូប៣.៦ កម្លាំងអគ្គិសនីរវាងចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីពីរ

កម្លាំងជាទំហំវ៉ិចទ័រ ហេតុនេះដើម្បីសរសេរកម្លាំងតាមច្បាប់កូឡុំទម្រង់វ៉ិចទ័រចំពោះចំណុចបន្ទុក $q_1$ មានអំពើលើចំណុចបន្ទុក $q_2$ គេជ្រើសរើសវ៉ិចទ័រឯកតា $\hat{r}$ មានទិសដៅពី $q_1$ និង $q_2$ រូបទី៣.៦។ ដូចនេះកន្សោមវ៉ិចទ័រកម្លាំងអគ្គិសនីដែល $q_1$ មានអំពើលើ $q_2$ សរសេរ

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1\times q_2}{r^2}=\hat{r} \text{ (សុញ្ញកាស)} \qquad (៣.១៧)$$

- ➢ បើ $q_1$ និង $q_2$ មានសញ្ញាដូចគ្នាផលគុណ $(q_1\times q_2)>0$ នោះ $\vec{F}_{12}$ មានទិសដៅដូច $\hat{r}$ និង ជាកម្លាំងអគ្គិសនីចម្រានចេញ(រូប ៣.១៦ ក)។
- ➢ បើ $q_1$ និង $q_2$ មានសញ្ញាដូចផ្ទុយគ្នាផលគុណ $(q_1\times q_2)<0$ នោះ $\vec{F}_{12}$ មានទិសដៅផ្ទុយពី $\hat{r}$ និងជាកម្លាំងអគ្គិសនីទំនាញចូល (៣.១៦ ខ)។

កន្សោមវ៉ិចទ័រកម្លាំងអគ្គិសនីដែល $q_2$ មានអំពើលើ $q_1$ ឱ្យតាមច្បាប់ទី៣ញូតុន(គោលការណ៍ និងប្រតិកម្ម)គេបាន $\vec{F}_{12}=-\vec{F}_{21}$

## ៣.២.៣.កន្សោមវ៉ិចទ័រកម្លាំងអគ្គិសនីក្នុងតម្រុយដេកាត

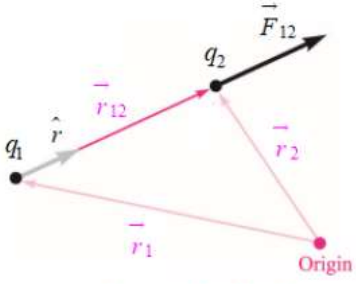
បើចំណុចបន្ទុក $q_1$ និង $q_2$ ស្ថិតក្នុងសុញ្ញកាសត្រង់ទីតាំង $\vec{r}_1$ និង $\vec{r}_2$ រៀងគ្នា និងឃ្លាតពីគ្នាចម្ងាយ $r_{12}$ កម្លាំងអគ្គិសនីដែល $q_1$ មានអំពើលើ $q_2$ មានកន្សោមវ៉ិចទ័រតាមច្បាប់គូឡុំសរសេរ

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1\times q_2}{r_{12}^{\ 2}}\hat{r} \qquad (៣.១៨)$$

តែវ៉ិចទ័រឯកតា $\hat{r} = \dfrac{\vec{r}_{12}}{r_{12}} = \dfrac{\vec{r}_2-\vec{r}_1}{r_{12}}$

ដូច្នេះកម្លាំងអគ្គិសនីលើ $q_2$ សរសេរ

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 \times q_2}{r_{12}^{\ 3}}\left(\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right) \quad (៣.១៩)$$




រូប៣.៧ កម្លាំងអគ្គិសនីក្នុងតម្រុយដេកាត។

ដែល $\vec{r}_1 = x_1\hat{i} + y_1 j + z_1 k$ , $\vec{r}_2 = x_2\hat{i} + y_2 j + z_2 k$

$\vec{r}_2 - \vec{r}_1 = (x_2 - x_1)\hat{i} + (y_2 - y_1)j + (z_2 - z_1)k$

និង $r_{12} = \left|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$

### ៣.២.៤.បន្ទុំកម្លាំងអគ្គិសនីច្រើន(អនុវត្តគោលការណ៍តម្រួត)

បើចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនី $q_0$ ស្ថិតក្នុងលំហនៃចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីច្រើន $q_1, q_2, ..., q_N$ វារងនូវកម្លាំងអគ្គិសនី $\vec{F}_1, \vec{F}_2, ..., \vec{F}_N$ ពីបន្ទុកនីមួយៗរៀងគ្នា ដូចនេះកម្លាំងអគ្គិសនីផ្គួប $\vec{F}$ ដែលមានអំពើលើ $q_0$ ជាផលបូកវ៉ិចទ័រ នៃកម្លាំងអគ្គិសនីផ្ទុំនីមួយៗដែលមានអំពើលើវា គេសរសេរ

$$\vec{F}_1, \vec{F}_2, ..., \vec{F}_N = \sum_{i=1}^{N}\vec{F}_i = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{N}\frac{q_i}{r_i^2}r_i \quad (៣.២០)$$

ឧទាហរណ៍៖ ចំណុចបន្ទុក $q_1 = +25\ nC$ ស្ថិតត្រង់គល់ $0$ ចំណុចបន្ទុក $q_1 = -15\ nC$ ស្ថិតត្រង់ $x = 2.0m$ និងចំណុចបន្ទុក $q_0 = +20nC$ ស្ថិត $x = 2.0m$ និង $y = 2.0m$ ។ ចូរកតម្លៃ និងទិសដៅនៃកម្លាំងអគ្គិសនីផ្គួបលើ $q_0$ ។

## ៣.៣. ដែនអគ្គនិសនី

### ៣.៣.១.និយមន័យ

យើងដឹងថានៅជុំវិញបន្ទុកអគ្គិសនីជាមជ្ឈដ្ឋានរូបជាតុមួយ។ បើនៅត្រង់ចំណុចមួយនៃមជ្ឈដ្ឋានរូបជាតុនោះ គេដាក់បន្ទុកអគ្គិសនី បន្ទុកនេះនឹងរងនូវកម្លាំងអគ្គិសនី (តាមច្បាប់គូឡុំ)។ គេហៅមជ្ឈដ្ឋានរូបជាតុនោះថាដែនអគ្គិសនី។ ដូចនេះ ដែនអគ្គិសនីជាមជ្ឈដ្ឋានរូបជាតុនៅជុំវិញបន្ទុកអគ្គិសនីនៅនឹងដែលនៅក្នុងមជ្ឈដ្ឋាន នោះបន្ទុកអគ្គិសនីដទៃទៀតរងនូវកម្លាំងអគ្គិសនី។

នៅត្រង់ចំណុច $P$ មួយក្នុងលំហជុំវិញចង្កឹះកែវខាត់រួចគេដាក់បន្ទុកសាក $q_0$ ឬដាក់ជាបន្តបន្ទាប់ $q_1, q_2, ..., q_N$ វារងនូវកម្លាំងអគ្គិសនី $\vec{F}$ ឬ $\vec{F}_1, \vec{F}_2 ..., \vec{F}_N$ រៀងគ្នា។ ផលធៀបរវាងកម្លាំងអគ្គិសនីដែលមានអំពើ លើបន្ទុកសាកជាមួយបន្ទុកសាកមានតម្លៃថេរ។ គេសរសេរ

$$\frac{\vec{F}_1}{q_1}=\frac{\vec{F}_2}{q_2}=...=\frac{\vec{F}_N}{q_n}=\frac{\vec{F}}{q_0}=\text{ ថេរ}$$

យើងដឹងហើយថា កម្លាំងជាទំហំវ៉ិចទ័រហើយបន្ទុកអគ្គិសនីជាតម្លៃពីជគណិត ដូច្នេះតម្លៃថេរនេះក៏ជាទំហំវ៉ិចទ័រដែរតាងដោយ $E$ ហៅថាវ៉ិចទ័រដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំណុចនោះ

$$\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q_0} \qquad (៣.២១)$$

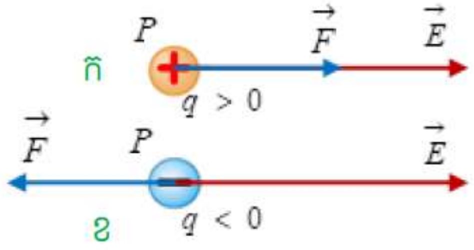
ដែនអគ្គិសនីជាកម្លាំងអគ្គិសនីក្នុងមួយខ្នាតបន្ទុក។ ក្នុងប្រព័ន្ធខ្នាតអន្តរជាតិ $S.I$ ខ្នាតនៃកម្លាំងអគ្គិសនី( $N$ ) ហើយខ្នាតបន្ទុកអគ្គិសនី( $C$ ) ដូច្នេះខ្នាតនៃដែនអគ្គិសនីគឺ $(N/C)$។

ប្រាសមកវិញ បើគេស្គាល់ដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ នៅត្រង់ចំណុចមួយ បន្ទុក $q$ ឬ មួយដាក់ត្រង់ចំណុចនោះ រងនូវកម្លាំងអគ្គិសនី

$$\vec{F}=q\vec{E} \qquad (៣.២២)$$

ជាម៉ូឌុល

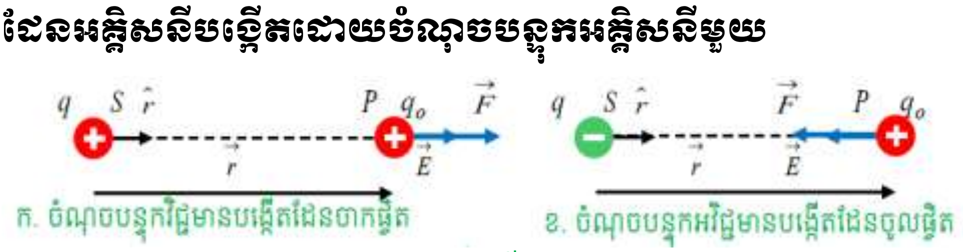
$$F=|q|E \qquad (៣.២៣)$$




រូប៣.៨ ទិសដៅកម្លាំង និងដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំណុច P

- $F$ ជាតម្លៃកម្លាំងអគ្គិសនីមានអំពើលើបន្ទុក $q$ គិតជា $(N)$
- $q$ ជាបន្ទុកអគ្គិសនីស្ថិតក្នុងដែន $\vec{E}$ គិតជា $(C)$
- $E$ ជាតម្លៃដែនអគ្គិសនី គិតជា $(N/C)$
- បើ $q>0$ នោះ $\vec{E}$ និង $\vec{F}$ មានទិសដៅដូចគ្នា (រូបទី៣.៨ក)។
- បើ $q<0$ នោះ $\vec{E}$ និង $\vec{F}$ មានទិសដៅផ្ទុយគ្នា ( រូបទី៣.៨ខ)។

## ៣.៣.២.ដែនអគ្គិសនីបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីមួយ




រូបទី៣.៩ ដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនី

យើងនឹងរកដែនអគ្គិសនីពេលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកអគ្គីសនីមួយ។ ត្រង់ទីតាំង $S$ គេដាក់ចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីមួយ $q>0$ ដែលនឹងបង្កើតដែនអគ្គិសនីនៅគ្រប់ចំណុចទាំងអស់ជុំវិញវា។ ត្រង់ទីតាំង $P$ ដែលមានវ៉ិចទ័រទីតាំង $\vec{r}$ ធៀបនឹង $S$ គេដាក់បន្ទុកសាក $q_0$ មួយវិជ្ជមាន រូបទី៣.៩។ កម្លាំងអគ្គិសនីដែលបន្ទុក $q$ មានអំពើ លើបន្ទុក $q_0$ មានកន្សោមវ៉ិចទ័រសរសេរតាម៖

- តាមច្បាប់គូឡំ $\vec{F}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q\times q_0}{r^2}\hat{r}$ (សុញ្ញាកាស)
- តាមនិយមន័យដែន $\vec{F}=q_0\vec{E}$

ផ្ទឹមកម្លាំងទាំងពីរនឹងបានកន្សោមវ៉ិចទ័រដែនអគ្គិសនី

$$\vec{E}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\hat{r} \qquad (៣.២៤)$$

អាំងតង់ស៊ីតេនៃដែនអគ្គិសនី

$$E=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q|}{r^2} \qquad (៣.២៥)$$

បើក្នុងមជ្ឈដ្ឋានឌីអេឡិចទ្រិចនៃសារធាតុណាមួយ កន្សោមវ៉ិចទ័រដែនអគ្គិសនី

$$\vec{E}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\varepsilon_r r^2}$$

អាំងតង់ស៊ីតេនៃដែនអគ្គិសនី

$$E=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q|}{\varepsilon_r r^2} \qquad (៣.២៦)$$

- $k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}=9\times10^9 N.m^2/C^2$ ជាថេរគូឡំ
- $\varepsilon_r$ ជាពែមីទីវីតេធៀប គ្មានខ្នាត (ឬថេរឌីអេឡិចទ្រិច)
- $q$ ជាចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីបង្កើតដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ គិតជា ( $C$ )
- $r$ ជាចម្ងាយពីផ្ចិតនៃបន្ទុក $q$ ទៅចំណុចកំណត់ដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ គិតជា ( $m$ )
- $E$ ជាតម្លៃដែនអគ្គិសនី គិតជា $(N/C)$ ឬ ( $V/m$ )

➢ បើ $q>0$ នោះ $\vec{E}$ និង $\hat{r}$ មានទិសដៅដូចគ្នា គេថា $\vec{E}$ ជាដែនចាកផ្ចិត $(q>0)$ បង្កើតដែនចាកផ្ចិត(រូប៣.៩ ក)។

➢ បើ $q<0$ នោះ $\vec{E}$ និង $\hat{r}$ មានទិសដៅផ្ទុយគ្នា គេថា $\vec{E}$ ជាដែនចូលផ្ចិត$(q<0)$បង្កើតដែនចូលផ្ចិត(រូប៣.៩ ខ)។

* តម្លៃដែនអគ្គិសនីខាងលើអាស្រ័យនឹងចម្ងាយ $r$ តាមច្បាប់ចម្រាសការេនៃចម្ងាយ ( $1/r^2$ ) ។ $r$ កាន់តែធំ ដែនកាន់តែខ្សោយ និងប្រាសមកវិញ។

### ៣.៣.៣.ដែនអគ្គិសនីបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីច្រើន

គេមានចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីច្រើន $q_1,q_2,...,q_N$ ដែលបន្ទុកអគ្គិសនីនីមួយៗបង្កើតដែនអគ្គិសនី $E_1,E_2,...,E_N$ រៀងគ្នា នៅត្រង់ចំណុច $P$ ។ ដូចនេះដែនអគ្គិសនីផ្តួប $\vec{E}$ នៅត្រង់ចំណុច $P$ ជាផលបូកវ៉ិចទ័រនៃដែនអគ្គិសនីផ្ទុំនីមួយៗ ។

$$\vec{E}=\vec{E}_1+\vec{E}_2+...+\vec{E}_N=\sum_{i=1}^{N}\vec{E}_i=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{N}\frac{q_i}{r_i^2}\hat{r}_i \qquad (៣.២៨)$$

ឧទាហរណ៍៖ ចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីពីរ $q>0$ និង $q<0$ ស្ថិតលើអ័ក្ស $x$ ស្ថិតត្រង់ $-a$ និង $b$ រៀងគ្នាពីគល់ 0 ។ ចូររក៖

ក .កំប៉ូសង់នៃដែនអគ្គិសនីផ្ចួបត្រង់ចំណុច $P(0, y)$

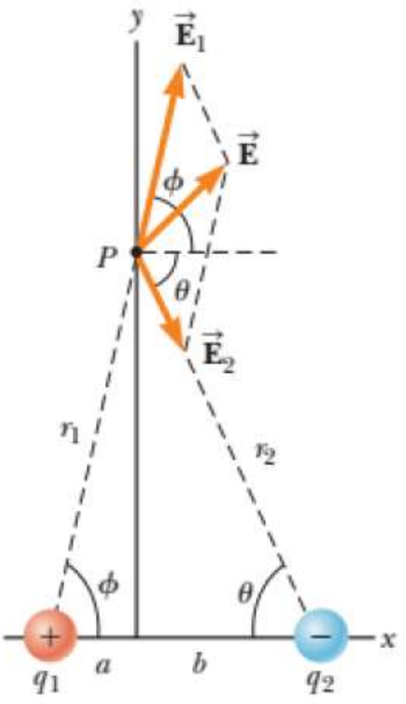
ខ. តម្លៃដែនអគ្គិសនីនៅត្រង់ចំណុច $P(0, y)$ ក្នុងករណីពិសេស$|q_1| = |q_2| = q$ និង $a = b$ ។

គ តម្លៃដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយឌីប៉ូលអគ្គិសនីនៅពេលចំណុច $P(0, y)$ ស្ថិតនៅចម្ងាយ $y \gg a$ ពីគល់ $0$ ។

## ដំណោះស្រាយ

ក. កំប៉ូសង់នៃដែនអគ្គិសនីផ្ចួបត្រង់ចំណុច $P(0, y)$

វ៉ិចទ័រដែនអគ្គិសនីនៅត្រង់ចំណុច $P$ ដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុក $q_1$ និង $q_2$ ៖




- $$\vec{E}_1 = k\frac{q_1}{r_1^2}\hat{r}_1 = k\frac{q_1}{(a^2+y^2)}(\cos\phi\,\hat{\imath} + \sin\phi\,\hat{\jmath})$$

$$= k\frac{q_1}{(a^2+y^2)}\left(\frac{a}{\sqrt{a^2+y^2}}\hat{i} + \frac{y}{\sqrt{a^2+y^2}}j\right)$$

$$= k\left(\frac{aq_1}{(a^2+y^2)^{3/2}}\hat{i} + \frac{yq_1}{(a^2+y^2)^{3/2}}\hat{j}\right)$$

$$\vec{E}_2 = k\frac{q_2}{r_2^2}\hat{r}_2 = k\frac{q_2}{(b^2+y^2)}(\cos\theta\hat{i} + \sin\theta\, j)$$

$$= k\frac{q_2}{(b^2+y^2)}\left(\frac{b}{\sqrt{b^2+y^2}}\hat{i} + \frac{y}{\sqrt{b^2+y^2}}j\right)$$

$$= k\left(-\frac{bq_2}{(b^2+y^2)^{3/2}}\hat{i} + \frac{yq_2}{(b^2+y^2)^{3/2}}j\right)$$

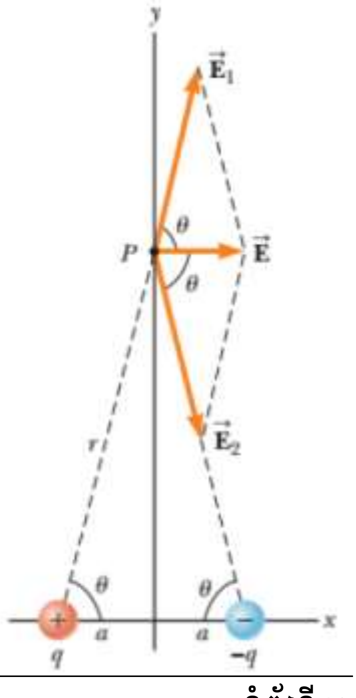
វ៉ិចទ័រដែនអគ្គិសនីផ្ចួបត្រង់ចំណុច $P$ :

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = k\left(\frac{aq_1}{(a^2+y^2)^{3/2}}\hat{i} + \frac{yq_1}{(a^2+y^2)^{3/2}}j\right) + k\left(-\frac{bq_2}{(b^2+y^2)^{3/2}}\hat{i} + \frac{yq_2}{(b^2+y^2)^{3/2}}j\right)$$

ដូចនេះកំប៉ូសង់នៃដែនអគ្គីសនីផ្ចួបត្រង់ចំណុច $P$

$$\vec{E}_x = \vec{E}_{1x} + \vec{E}_{2x} = k\left(\frac{aq_1}{(a^2+y^2)^{3/2}} - \frac{bq_1}{(b^2+y^2)^{3/2}}\right)$$

$$\vec{E}_y = \vec{E}_{1y} + \vec{E}_{2y} = ky\left(\frac{q_1}{(a^2+y^2)^{3/2}} - \frac{q_1}{(b^2+y^2)^{3/2}}\right)$$




ខ. រកតម្លៃដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំណុច $P(0, y)$ ក្នុងករណី $|q_1| = |q_2| = q$ និង $a = b$ ដោយ $a = b$ និង$|q_1| = |q_2| = q$ នោះ $q_1 = +q, q_2 = -q$ និង$\phi = \theta$ ដូចរូប។ ពីចម្លើយក្នុងសំណួរ ក យើងបាន:

$$E_y = ky\left(\frac{q}{(a^2+y^2)^{3/2}} - \frac{q}{(a^2+y^2)^{3/2}}\right) = 0$$

$$E_x = k\left(\frac{aq}{(a^2+y^2)^{3/2}} + \frac{aq}{(a^2+y^2)^{3/2}}\right) = k\frac{2aq}{(a^2+y^2)^{3/2}}$$

តម្លៃដែនអគ្គិសនីផ្ចួបត្រង់ចំណុច $P$ :

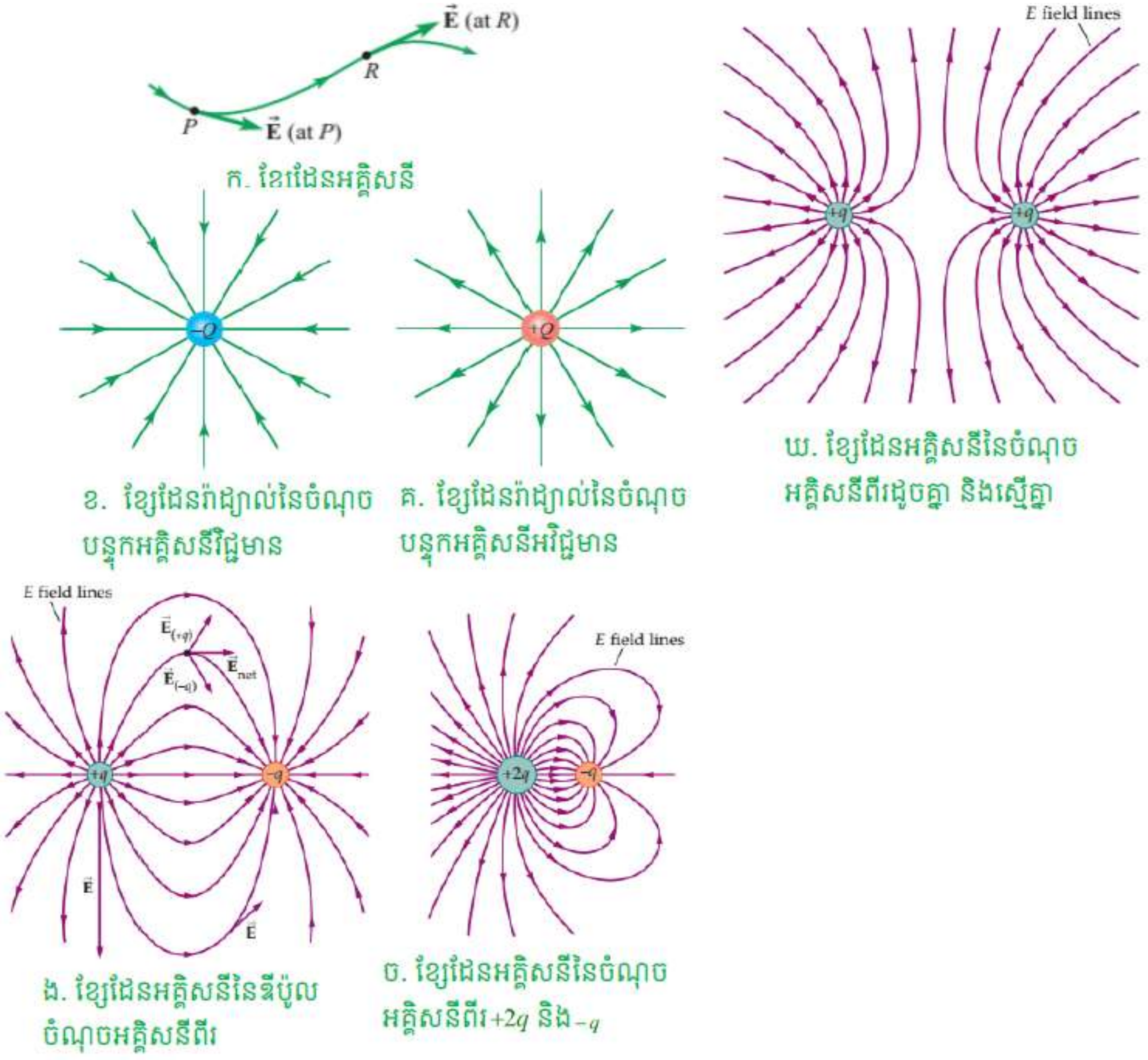
$$E = \sqrt{E_x^{\ 2} + E_y^{\ 2}} = E_x = k\frac{2aq}{(a^2+y^2)^{3/2}}$$

គ. រកតម្លៃដែនអគ្គិសនីនៅពេលចំណុច $P(0,y)$ ស្ថិតនៅចម្ងាយ $y \gg 0$ ពីគល់ 0

ពីចម្លើយក្នុងសំណួរ ខ កាលណា $y > a$ នោះ $a^2$ មិនគិតធៀបនឹង $y^2$ នាំឱ្យ $(a^2+y^2)^{3/2} \approx y^3$ ដូចនេះដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយឌីប៉ូលអគ្គិសនីគឺ $E_p \approx k\frac{2aq}{y^3}$ ។

## ៣.៣.៤. ខ្សែដែនអគ្គិសនី

ខ្សែដែនអគ្គិសនី គឺជាខ្សែដែលវ៉ិចទ័រដែនអគ្គិសនី ប៉ះនៅត្រង់គ្រប់ចំណុចទាំងអស់របស់វា។ គេកំណត់ យកទិសដៅខ្សែដែនទៅតាមទិសដៅវ៉ិចទ័រដែន រូបទី៣.១០ខាងក្រោម។




រូប៣.១០ ខ្សែដែនអគ្គិសនី

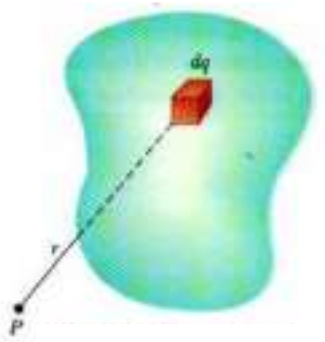
## ៣.៣.៥. ដែនអគ្គិសនីបង្កើតដោយរបាយបន្ទុកអគ្គិសនីជាប់ៗគ្នា

យើងបានរកដែនអគ្គិសនីនៃចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីមួយ និងដែនអគ្គិសនីនៃចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីច្រើនដាច់ៗពីគ្នារួចហើយ។ ឥឡូវយើងនឹងរកដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយអង្គធាតុផ្ទុកអគ្គិសនី(របាយបន្ទុក ជាប់ៗគ្នា) ដោយចែកអង្គធាតុនោះជាធាតុបន្ទុក $dq$ (ចំណុចបន្ទុករាយជាប់ៗ គ្នា)។ ដែនអគ្គិសនីនៅត្រង់ចំណុចណាមួយដែលមានចម្ងាយ $r$ ពី $dq$ $P$

$$d\vec{E} = k\frac{dq}{r}\hat{r} \qquad (៣.២៩)$$

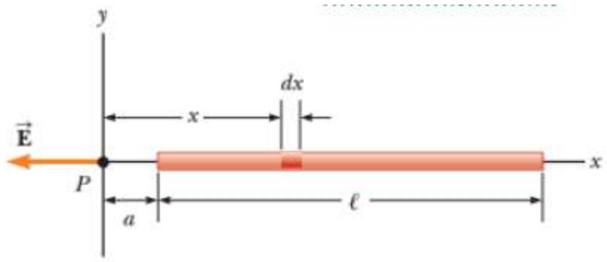
ដូចនេះដែនអគ្គិសនីសរុបនៅត្រង់ចំណុច $P$ ឱ្យតាមការគណនា តាមអាំងតេក្រាលនៃកន្សោមខាងលើលើរបាយបន្ទុកទាំងមូល

$$\vec{E} = k\int\frac{dq}{r^2}\hat{r} \qquad (៣.៣០)$$



រូប៣.១១ ដែនអគ្គិសនីរបស់អង្គធាតុផ្ទុកបន្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនី

ឧទាហរណ៍ទី១៖ របារមួយមានប្រវែង$l$ ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមានសរុប $Q$ ដែលមានបន្ទុកក្នុងមួយខ្នាតប្រវែង $\lambda$ ថេរ។ ចូររកដែនអគ្គិសនីនៅត្រង់ចំណុច $P$ ស្ថិតតាមបណ្តោយអ័ក្សនៃរបារ និងមានចម្ងាយ $a$ ពីចុងម្ខាងដូចរូប។ រួចពិភាក្សាចំពោះ $a \to 0$ និង$a \gg l$ ។



ដំណោះស្រាយ

រកដែនអគ្គិសនីនៅត្រង់ចំណុច $P$

យើងចែករបារដែលផ្ទុបន្ទុកអគ្គិសនីជាធាតុប្រវែង $dx$ ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនី $dQ = \lambda dx$ នៅចម្ងាយ $x$ ពី ចំណុច $P$ ។ ដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំណុច $P$ ដែលបង្កើតដោយ $dq$ ឱ្យដោយ

$$d\vec{E} = k\frac{dQ}{x^2} = -k\frac{\lambda dx}{x^2}\hat{i}$$

ដែនអគ្គិសនីសរុបដែលបង្កើតដោយបន្ទុកទាំងមូលលើរបារគឺ $\vec{E} = -k\lambda\int_a^{a+l}\frac{dx}{x^2}\hat{i} = -k\lambda\left[\frac{1}{x}\right]_a^{a+l}\hat{i}$

$$= k\lambda\left(\frac{1}{a+l} - \frac{1}{a}\right)\hat{i} = -k\left(\frac{\lambda l}{a(a+l)}\right)\hat{i} = k\frac{Q}{a(a+l)}\hat{i}$$

ដូចនេះដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំណុច $P$ មានតម្លៃ $E = k\frac{Q}{a(a+l)}$ ក្នុងទិសដៅ $x$ អវិជ្ជមាន។ តាមតម្លៃដែនខាងលើ ចំពោះ $a \to 0$ នោះតម្លៃដែន $E \to \infty$ ។ ប៉ុន្តែបើ $a \gg l$ នោះ $l$ អាចចោលបានធៀបនឹង $a$ ដូច្នេះតម្លៃដែន $E \approx k\frac{Q}{a^2}$ (របារផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីអាចចាត់ទុកជាចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនី)។

ឧទាហរណ៍ទី២៖ កងមួយមានកាំ $a$ ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមាន $Q$ រាយយ៉ាងស្មើ។

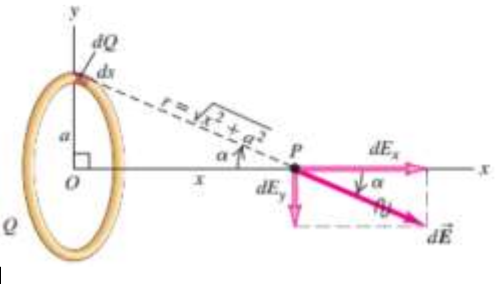
ក. ចូររកដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំណុចP ស្ថិតលើអ័ក្សដែលកែងនឹងប្លង់នៃកង និងមានចម្ងាយ x ពីផ្ចិតរបស់វាដូច រូប។ រួចពិភាក្សាចំពោះ $x = 0$ និង $x \gg a$ ។

ខ.ឧបមាថា ចំណុចបន្ទុកអវិជ្ជមាន $-q$ ត្រូវបានគេដាក់ត្រង់ផ្ចិតកង រួចផ្លាស់ទីតិចៗបានចម្ងាយ $x \ll a$ តាមបណ្តោយអ័ក្ស $x$ ។ កាលណាគេលែងវា តើវាធ្វើចលនាប្រភេទអ្វី?

<u>ដំណោះស្រាយ</u>

ក. $P$ រកដែនអគ្គិសនីនៅត្រង់ចំណុច

យើងចែកកងផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីជាធ្នូ $ds$ មានបន្ទុកអគ្គិសនី $dQ$ ស្ថិតនៅចម្ងាយ $r\sqrt{x^2+y^2}$ ពីចំណុច $P$ ។ ដែនអគ្គិសនីត្រង់ $P$ ដែលបង្កើតដោយ $dQ$ សរសេរ




$$d\vec{E} = k\frac{dQ}{x^2+a^2}\hat{r}$$
$$= k\frac{dQ}{x^2+a^2}r\left(\hat{i}\cos\alpha + \mathrm{j}\sin\alpha\right)$$
$$= k\frac{dQ}{x^2+a^2}r\left(\frac{x}{\sqrt{x^2+a^2}}\hat{i} - \frac{a}{\sqrt{x^2+a^2}}\mathrm{j}\right)$$

ដែនអគ្គិសនីសរុបត្រង់ $P$ ដែលបង្កើតដោយបន្ទុកទាំងមូលលើកងគឺ $E = \frac{k}{(x^2+a^2)^{3/2}}\left(x\hat{i} - aj\right)\int_0^Q dQ$

តាមភាពស៊ីមេទ្រីនៃ $dQ$ កំប៉ូសង់តាមអ័ក្ស $y$ នៃដែនអគ្គិ $E_y = -k\frac{a}{\left(x^2+a^2\right)^{3/2}} j\int_0^Q dQ = 0$

យើងបាន $E = E_x - k\frac{x}{(x^2+a^2)^{3/2}}\hat{i}\int_0^Q dQ = k\frac{Q}{\left(x^2+a^2\right)^{3/2}}x\hat{i}$

ដូចនេះដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំណុ $P$ ដែលបង្កើតដោយកងផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីមានតម្លៃ $E = E_x = k\frac{Q}{\left(x^2+a^2\right)^{3/2}}x$ ក្នុងទិសដៅ $x$ វិជ្ជមាន។

ពិភាក្សា

ចំពោះ $x=0$ នោះ $E=0$ និង $x \gg a$ នោះ $E = k\frac{Q}{x^2}$ កងផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីអាចចាត់ទុកដូចចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីដែរ។

ខ .រកប្រភេទចលនារបស់ $-q$

ពីចម្លើយក្នុងសំណួរ ក $E_x = k\frac{xQ}{\left(x^2+a^2\right)^{3/2}}$

នៅចម្ងាយ $x \ll a$ យើងបាន $E_x = k\frac{Q}{a^3}x$

បន្ទុក $-q$ នៅត្រង់ទីតាំងនោះរងនូវកម្លាំងអគ្គិសនី $F_x = -k\frac{qQ}{a^3}x$

កម្លាំងនេះមានទម្រង់ដូចគ្នានឹងច្បាប់ហ៊ុក ដូចនេះ $-q$ ធ្វើចលនាអាកម៉ូនិចងាយ។

<u>ឧទាហរណ៍ទី៣៖</u> ថាសមួយមានកាំ $R$ និងមានដង់ស៊ីតេបន្ទុកវិជ្ជមានថេរ $\sigma$ ។ ចូររកដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំណុច $P$ ស្ថិតលើអ័ក្សដែលកែងនឹងប្លង់នៃថាស និងមានចម្ងាយ $x$ ពីផ្ចិតរបស់វាដូចរូប។ រួចពិភាក្សាចំពោះ៖

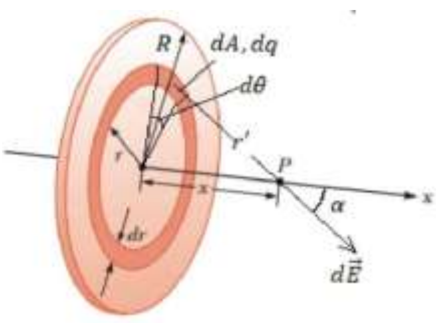
ក. $x \to 0$ $x \gg R$ និង $x \ll R$ ។

ខ. កាំថាសធំខ្លាំងដើម្បីឱ្យថាសក្លាយជាប្លង់ធំអនន្ត។

ដំណោះស្រាយ

រកដែនអគ្គិសនីនៅត្រង់ចំណុច $P$

យើងចៀរថាសជាកងដែលមានកាំក្នុង $r$ និងកាំក្រៅ $r+dr$ រួចចែកផ្នែកងនោះជាផ្នែកតូចៗ




$dA$ ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនី $dq=\sigma dA=\sigma(rdrd\theta)$ ហើយមានចម្ងាយ $r=\sqrt{x^2+r^2}$ ពីចំណុច P ។ ដែនអគ្គិសនីនៅត្រង់ ចំណុច $P$ ដែលបង្កើតដោយ $dq$ គឺ $d\vec{E}=k\frac{dq}{x^2+r^2}r'$

$d\vec{E}=k\frac{dq}{x^2+r^2}(\cos\alpha\hat{\imath}+\sin\alpha j)$ ដូច្នេះ ដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយថាស

$$\vec{E}_p=k\int\frac{dq}{x^2+r^2}(\cos\alpha\hat{\imath}+\sin\alpha j)=k\int\frac{dq}{x^2+r^2}\cos\alpha\hat{\imath}+k\int\frac{dq}{x^2+r^2}\sin\alpha j$$

តាមភាពស៊ីមេទ្រីនៃ $dq$ កំប៉ូសង់នៃដែនអគ្គិសនីតាមអ័ក្ស $y$ ស្មើសូន្យ យើងបាន

$\vec{E}_p=k\int\frac{dq}{x^2+r^2}\cos\alpha\hat{\imath}$ ដែល $\cos\alpha=x/(x^2+a^2)^{1/2}$

យើងបាន $\vec{E}_p=kx\sigma\int_0^{2\pi}d\theta\int_0^R\frac{rdr}{(x^2+r^2)^{3/2}}\hat{\imath}$

$$=\pi kx\sigma\int_0^R\frac{d(x^2+r^2)}{(x^2+r^2)^{3/2}}\hat{\imath}=2\pi kx\sigma\left(\frac{1}{\sqrt{x^2}}-\frac{1}{\sqrt{x^2+R^2}}\right)\hat{\imath}$$

$$\vec{E}_p=2\pi k\sigma\left[1-\frac{1}{\sqrt{1+(R/x)^2}}\right]\hat{\imath}$$

ពិភាក្សាចំពោះ៖

ក.

- $x\to o$ យើងបាន $\vec{E}_p=lim\left\{2\pi k\sigma\left[1-\frac{1}{\sqrt{1+\left(R/x\right)^2}}\right]\right\}\hat{\imath}=2\pi k\sigma i=\left(\sigma/2\varepsilon_0\right)\hat{\imath}$
- $x\gg R$ នោះ $(R/x)^2$ មានតម្លៃតូច តាមទ្រឹស្តីទ្វេរជា( **B**inomial Theory )

  $(1\pm x)^n=1\pm\frac{nx}{1!}\pm\frac{n(n-1)x^2}{2!}\pm...$ បើ $x\ll 1$ នោះ $(1\pm x)^n\simeq 1\pm nx$

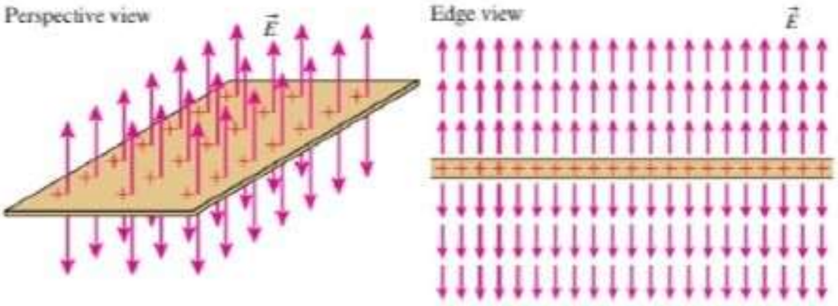
  យើងបាន $\vec{E}_p=2\pi k\sigma\left[1-\left(1+\left(R+x\right)^2\right)^{-1/2}\right]\hat{\imath}=2\pi k\sigma\left[1-1+\frac{1}{2}(R+x)^2\right]\hat{\imath}=k\frac{Q}{x^2}\hat{\imath}$

  ( ថាសផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីអាចចាត់ទុកជាចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនី(
- $x\ll R$ នោះ $\frac{1}{\sqrt{1+(R/x)^2}}\simeq 0$ យើងបាន $\vec{E}_p=2\pi k\sigma\hat{\imath}=\left(\sigma/2\varepsilon_0\right)\hat{\imath}$

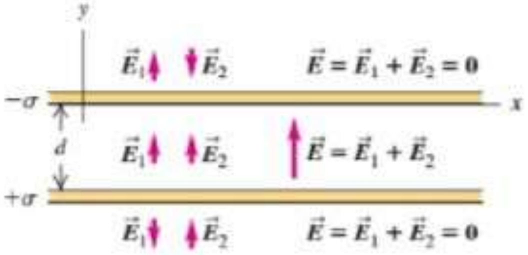
ខ. កាំថាសធំខ្លាំងដើម្បីឱ្យថាសក្លាយជាប្លង់ធំអនន្ត មានន័យថា $R\to+\infty$ យើងបាន

$$\vec{E}_p=\lim\left\{2\pi k\sigma\left[1-1/\left(\sqrt{1+\left(R+x\right)^2}\right)\right]\right\}\hat{\imath}=\left(\sigma/2\varepsilon_0\right)\hat{\imath}$$

មិនអាស្រ័យនឹងទីតាំង$x$ របស់ចំណុច $P$ ដែលយើងចង់រកដែនអគ្គិសនីទេ ហេតុនេះដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើត ដោយប្លង់ធំអនន្តផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីជា ដែនអគ្គិសនីឯកសណ្ឋាន ក្នុងតំបន់លំហានោះដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាង ក្រោម។




ឧទាហរណ៍ទី៤៖ បន្ទះប្លង់ពីរធំអនន្តដែលមានដង់ស៊ីតេបន្ទុកថេរ $+\sigma$ និង$-\sigma$ ត្រូវបានគេដាក់ស្របគ្នា និង ឃ្លាតពីគ្នាចម្ងាយ ដូចរូប។ ចូររកដែនអគ្គិសនីនៅផ្នែកខាងលើបន្ទះខាងលើ នៅផ្នែកខាងក្រោមបន្ទះខាង ក្រោម និងនៅចន្លោះបន្ទះទាំងពីរ។




ដំណោះស្រាយ

រកដែនអគ្គិសនី

ដែនអគ្គិសនីត្រូវអនុវត្តតាមគោលការណ៍តម្រួត

## ៣.៣.៦. ដែនអគ្គិសនីឯកសណ្ឋាននៅចន្លោះបន្ទះលោហៈពីរដាក់ស្របគ្នា

ដែន $E$ នៅចន្លោះបន្ទះលោហៈពីរដាក់ស្របគ្នា និងផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីសញ្ញាផ្ទុយគ្នាក្រោមតង់ស្យុង$V$ មាន លក្ខណៈ៖

- ទិសជាបន្ទាត់ស្របៗគ្នាហើយកែងនឹងបន្ទះលោហៈទាំងពីរ
- ទិសដៅពីបន្ទះវិជ្ជមាន(+) ទៅបន្ទះអវិជ្ជមាន(-)
- អាំងតង់ស៊ីតេ ឬតម្លៃ (សមាមាត្រនឹងផលសងប៉ូតង់ស្យែលរវាងបន្ទះលោហៈទាំងពីរនិងប្រាសមាមាត្រនឹង ចម្ងាយរវាងបន្ទះលោហៈទាំងពីរ)

$$E = \frac{V}{d} \qquad (៣.៣០)$$

ដែល $E$ គិតជា ($N/C$ ឬ$V/m$ ) $V$ គិតជា ($V$ ) $d$ គិតជា ($m$)។

## សំណួរ និងលំហាត់

1. តើអេឡិចត្រូស្តាទិចសិក្សាពីអ្វី?
2. ដូចម្ដេចដែលហៅថាអង្គធាតុឈើត?
3. ចូរពន្យល់ពីអគ្គិសនីកម្មដោយកកិត អគ្គិសនីកម្មដោយប៉ះ និងអគ្គិសនីកម្មដោយឥទ្ធិពល។
4. តើបន្ទុកអគ្គិសនីមានប៉ុន្មានប្រភេទ? អ្វីខ្លះ?
5. តើបន្ទុកអគ្គិសនីមានអំពើទៅវិញទៅមកដូចម្ដេច? (ចំពោះអង្គធាតុមានបន្ទុកអគ្គិសនី)
6. ចំពោះអង្គធាតុចម្លងស្មើសាច់ តើបន្ទុកអគ្គិសនីរាយដូចម្ដេច?
7. តើបន្ទុកអគ្គិសនីរាយនៅលើផ្ទៃផតដែរឬទេ?
8. ចំពោះអង្គធាតុចម្លងមិនស្មើសាច់ តើបន្ទុកអគ្គិសនីច្រើនផ្តុំនៅត្រង់ណា?
9. ចូរពណ៌នាអំពីអេឡិចត្រូទស្សន៍ និងបម្រើបម្រាស់វា។
10. គេមានស្វ៊ែរលោហៈ B មួយណឺតដាក់ក្បែរស្វ៊ែរលោហៈ A មួយផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមាន។ តើគេប្រើវិធីដូចម្ដេច? ដើម្បីឱ្យស៊ែរលោហៈB មានបន្ទុកអគ្គិសនីអវិជ្ជមានដោយពុំមានកំណែប្រែបន្ទុកអគ្គិសនីនៃស៊ែរ A?
11. តើអ្នកអាចបង្កើតបន្ទុកអគ្គិសនីទាំងពីរប្រភេទបានយ៉ាងដូចម្ដេច? បើសិនគេឱ្យចង្កឹះកែវមួយចង្កឹះអេបូនីតមួយ  រោមសត្វ និងសំពត់សូត្រទៅអ្នក។
12. តើច្បាប់គូឡុំពោលដូចម្ដេច?
13. នៅក្នុងសុញ្ញាកាស តើកម្លាំងអគ្គិសនីឱ្យដោយច្បាប់គូឡុំមានរូបមន្តដូចម្ដេច?
14. តើកម្លាំងញូតុន និងកម្លាំងគូឡុំមានលក្ខណៈដូចគ្នាត្រង់ណា ហើយខុសគ្នាត្រង់ណា?
15. តើទំនាក់ទំនងណាដែលអាចឱ្យគេកំណត់ខ្នាតនៃដែនអគ្គិសនី?
16. ចូរឱ្យនិយមន័យដែនអគ្គិសនី។ តើវ៉ិចទ័រដែនអគ្គិសនីមានរូបមន្តដូចម្ដេច?
17. ចូរអ្នកសរសេរកន្សោមវ៉ិចទ័រនៃដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំណុចមួយដែលបង្កើតដោយចំនុចបន្ទុកអគ្គិសនីមួយ។
18. បើអ្នកធ្វើឱ្យក្រាសសិតសក់ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីដោយត្រដុសជាមួយកន្សែងសូត្រ។ តើអ្នកអាចកំណត់បានថាតើក្រាសនោះផ្ទុកបន្ទុកវិជ្ជមាន ឬអវិជ្ជមាន?
19. ហេតុអ្វីបានជាអាវ (shirt/blouse) ដែលយកចេញពីម៉ាស៊ីនសម្ងួតខោអាវពេលខ្លះជាប់នឹងខ្លួនអ្នក?
20. អាតូមទង់ដែងមួយមានលេខលំដាប់ 29 ។ ចូរគណនាបន្ទុកអគ្គិសនីនៃណៃយ៉ូអាតូមនោះ។ គេឱ្យ $e=1.6\times10^{-19}C$ ។
21. តើមានអេឡិចត្រុងចំនួនប៉ុន្មានដែលបង្កើតបានបន្ទុកអគ្គិសនី $-30.0\mu C$ ? គេឱ្យ: $-e=-1.6\times10^{-19}C$ ។
22. តើមានអេឡិចត្រុងចំនួនប៉ុន្មានក្នុងបន្ទុក $-1C$ ? តើម៉ាសរបស់អេឡិចត្រុងទាំងនេះមានតម្លៃស្មើប៉ុន្មាន? គេឱ្យ៖ $-e=-1.6\times10^{-19}C$ និង $m_e=9.1\times10^{-31}kg$ ។
23. តើក្នុង $1.00kg$ នៃទឹកមានអេឡិចត្រុងចំនួនប៉ុន្មាន? គេឱ្យ ចំនួនបន្ទុកអាតូមអ៊ីដ្រូសែន1 ចំនួនបន្ទុកអាតូមអុកស៊ីសែន8 $M(H)=1g/mol$, $M(O)=16g/mol$ និង $N_A=6.022\times10^{23}mol^{-1}$ ។

24. ចូររកបន្ទុកអគ្គិសនីសរុបរបស់អេឡិចត្រុងទាំងអស់ដែលមានក្នុង $1.00kg$ នៃ $H_2O$ ។គេឱ្យចំនួនបន្ទុកអាតូមអ៊ីដ្រូសែន ចំនួនបន្ទុកអាតូមអុកស៊ីសែន8 $M(H) = 1g/mol, M(O) = 16g/mol$ $N_A = 6.022\times10^{23} mol^{-1}$ និង $-e = -1.6\times10^{-19} C$ ។

25. ចូររកបន្ទុកអគ្គិសនីសរុបរបស់ប្រូតុងទាំងអស់ដែលមានក្នុង $1.0mol$ នៃ $O_2$ ។គេឱ្យ: ចំនួនប្រូតុងនៃអាតូមអុកស៊ីសែន8 $N_A = 6.022\times10^{23}\ mol^{-1}$ និង $e = 1.6\times10^{-19} C$ ។

26. ក្មេងស្រីតូចម្នាក់ដែលកំពុងឈូសជើងរបស់ខ្លួនចុះឡើងៗលើព្រំរោមសត្វនៅពេលថ្ងៃហួតហែង ទទួលបានបន្តិចម្តងៗនូវបន្ទុកសរុប $-42\mu C$ ។តើនាងទទួលបានអេឡិចត្រុងដែលលើសចំនួនប៉ុន្មាន?និងកើនបានម៉ាសប៉ុន្មាន?គេឱ្យ៖ បន្ទុកនិងម៉ាសរបស់អេឡិចត្រុងមួយគឺ $-e = -1.6\times10^{-19} C$ និង $m_e = 9.1\times10^{-31} kg$ ។

27. គេធ្វើអគ្គិសនីកម្មដោយកកិតលើចង្កឹះពីរ។ចង្កឹះទីមួយជាចង្កឹះកែវផ្ទុកអគ្គិសនី $+8.0nC$ ឯចង្កឹះទីពីរជាចង្កឹះប្លាស្ទិចផ្ទុកអគ្គិសនី $-12nC$ ។១.តើចង្កឹះនីមួយៗលើសឬខ្វះអេឡិចត្រុង?២.ចូររកចំនួនអេឡិចត្រុងដែលលើស ឬខ្វះនោះ។គេឱ្យ: មួយបន្ទុកអគ្គិសនីដំបូង $\pm e = \pm1.6\times10^{-19} C$ ។

28. ស្វ៊ែរសំណតូចមួយមានម៉ាស $8.00g$ ត្រូវបានគេធ្វើឱ្យលើសអេឡិចត្រុងដើម្បីឱ្យមានបន្ទុកសរុប $-3.2\ nC$ ។ ចូររក

១. ចំនួនអេឡិចត្រុងដែលលើសលើស្វ៊ែរនោះ។

២. ចំនួនអេឡិចត្រុងក្នុងមួយអាតូមសំណ។

គេឱ្យ៖ $-e = -1.6\times10^{-19}C$ លេខលំដាប់នៃអាតូមសំណ 82 និង ម៉ាសម៉ូលរបស់វា $207\ g/mol$ និងចំនួនអាវ៉ូកាដ្រូ $N_A = 6.02\times10^{23} mol^{-1}$។

29. ចូរគណនាតម្លៃកម្លាំងអគ្គិសនីរវាងចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនី $3.60\mu C$ ពីរដែលឃ្លាតពីគ្នា $9.3cm$ ។ គេឱ្យ៖ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\times10^9 Nm^2C^{-2}$ ។

30. ចូររកតម្លៃកម្លាំងចម្រានអគ្គិសនីរវាងប្រូតុងពីរដែលស្ថិតនៅចម្ងាយ $5.0\times10^{-15} m$ ពីគ្នា។ គេឱ្យ៖ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\times10^9 Nm^2C^{-2}$ ។

31. តើកម្លាំងដែលបន្ទុក $+25\mu C$ បញ្ចេញលើបន្ទុក $+30mC$ ស្ថិតនៅចម្ងាយ $35cm$ ពីគ្នាមានតម្លៃប៉ុន្មាន? គេឱ្យ៖ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\times10^9 Nm^2C^{-2}$

32. ចូររកតម្លៃកម្លាំងទំនាញអគ្គិសនីរវាងណៃយ៉ុងដែក (q = +26e) និងអេឡិចត្រុងមួយដែលស្ថិតលើស្រទាប់ក្នុងបំផុតបើចម្ងាយរវាងវា $1.5pm$ ។គេឱ្យ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\times10^9 Nm^2C^{-2}$ និង $e = 1.6\times10^{-19} C$ ។

33. លំអងធូលីពីរផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនី បញ្ចេញកម្លាំងអគ្គិសនី $3.2\times10^{-2} N$ លើគ្នាទៅវិញទៅមក។តើកម្លាំងអគ្គិសនីនឹងមានតម្លៃប៉ុន្មានវិញ? បើវាទាំងពីរឃ្លាតគ្នាចម្ងាយ1/8 នៃចម្ងាយមុន។

34. ស្វ៊ែរពីរផ្ទុកអគ្គិសនី ស្ថិតនៅចម្ងាយពីគ្នា8.45cm។ស្វ៊ែរទាំងពីរផ្លាស់ទី ហើយកម្លាំងអគ្គិសនីលើស្វ៊ែរនីមួយៗត្រូវបានគេដឹងថាមានតម្លៃបីដងនៃកម្លាំងដែលត្រូវនឹងចម្ងាយមុន។តើស្វ៊ែរទាំងពីរគួរស្ថិតនៅចម្ងាយប៉ុន្មានពីគ្នា។

35. គ្រាប់អង្កាំតូចមួយធ្វើពីកែវផ្ទុកអគ្គិសនី $+20nC$ ។គ្រាប់លោហៈមួយដែលភ្ជាប់នៅចម្ងាយ $1.0cm$ ពីលើគ្រាប់អង្កាំរងកម្លាំងអគ្គិសនី $0.018N$ មានទិសដៅចុះក្រោម។ចូររកតម្លៃពីជគណិតនៃបន្ទុករបស់គ្រាប់លោហៈនោះ។គេឱ្យ៖ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}=9\times10^9 Nm^2C^{-2}$ ។

36. គេមានចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីពីរ $+4nC$ និង $-1nC$ ស្ថិតរៀងគ្នាត្រង់ $A$ និង $B$ ដែល $|AB|=2cm$ ក្នុងសុញ្ញកាស។ គេ ឱ្យ៖ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}=9\times10^9 Nm^2C^{-2}$ ។

១. ចូរគូសវ៉ិចទ័រកម្លាំងដែលមានអំពើលើបន្ទុកនីមួយៗ។

២. ចូរគណនាតម្លៃនៃកម្លាំងនោះ។

37. ស្វ៊ែរតូចពីរស្ថិតនៅចម្ងាយពីគ្នា $20.0cm$ មានបន្ទុកស្មើគ្នា។តើស្វ៊ែរនីមួយៗលើសអេឡិចត្រុងចំនួនប៉ុន្មាន? បើតម្លៃកម្លាំងចម្រានអគ្គិសនីរវាងវាគឺ $4.57\times10^{-21}N$ ។ គេឱ្យ៖ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}=9\times10^9 Nm^2C^{-2}$ និង $e=1.6\times10^{-19}C$ ។

38. ស្វ៊ែរប្លាស្ទិចតូចពីរត្រូវបានគេផ្តល់ឱ្យមានបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមាន។ពេលស្វ៊ែរទាំងពីរឃ្លាតគ្នាចម្ងាយ $15.0cm$ កម្លាំងច្រានរវាងវាទាំងពីរមានតម្លៃ $0.220N$ ។ គេឱ្យ៖ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}=9\times10^9 Nm^2C^{-2}$ ។ ចូររកបន្ទុកអគ្គិសនីលើស៊ែរនីមួយៗ៖

១. បើបន្ទុកទាំងពីរស្មើគ្នា។

២. បើស្វ៊ែរមួយមានបន្ទុកបួនដងនៃស្វ៊ែរមួយទៀត។

39. ស្វ៊ែរប្លាស្ទិចតូចពីរដែលនីមួយៗមានម៉ាស $2.0g$ និងមានបន្ទុក $-50.0nC$ ត្រូវបានគេដាក់ឃ្លាតគ្នាចម្ងាយ $2.0cm$ (ពីផ្ចិតទៅផ្ចិត)។

១. តើកម្លាំងអគ្គិសនីលើស្វ៊ែរនីមួយៗមានតម្លៃប៉ុន្មាន?

២. តើកម្លាំងអគ្គិសនីលើស៊ែរមួយធំជាងទម្ងន់របស់វាប៉ុន្មានដង?

គេឱ្យ៖ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}=9\times10^9 Nm^2C^{-2}$ និង $g=9.80Nkg^{-1}$ ។

40. ម៉ាស $1.0kg$ ចំនួនពីរដាក់ឃ្លាតពីគ្នា $1.0m$ (ពីផ្ចិតទៅផ្ចិតលើផ្ទៃតុដែលគ្មានកកិត។( នីមួយៗមានបន្ទុក $+10\mu C$ ។ គេឱ្យ៖$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}=9\times10^9 Nm^2C^{-2}$ ។

១. តើកម្លាំងអគ្គិសនីដែលមានអំពើលើម៉ាសមួយមានតម្លៃប៉ុន្មាន?

២. តើសំទុះរបស់ម៉ាសនេះមានតម្លៃប៉ុន្មាន? បើគេលែងវាឱ្យផ្លាស់ទី។

41. ស្វ៊ែរអាលុយមីញមតូចពីរ ដែលនីមួយៗមានម៉ាស $0.0250\,kg$ ត្រូវបានគេដាក់ឃ្លាតគ្នាចម្ងាយ $80.0cm$។

១ .តើស្វរនីមួយៗមានអេឡិចត្រុងចំនួនប៉ុន្មាន?

២. ចូររកចំនួនអេឡិចត្រុងដែលគេយកចេញពីសស្វ៊ែរមួយផ្តល់ទៅឱ្យស៊ែរមួយទៀត ដើម្បីធ្វើឱ្យមានកម្លាំងទំនាញរវាងពួកវាទាំងពីរមានតម្លៃ $1.00\times10^4 N$ ។

គេឱ្យ៖ លេខលំដាប់នៃអាតូមអាលុយមីញម 13 និង ម៉ាសម៉ូលរបស់វា $26.982g/mol$ និងចំនួនអាវ៉ូកាដ្រូ $N_A=6.02\times10^{23}mol^{-1}$ ។

42. ភាគល្អិតបីផ្ទុកអគ្គិសនី $+75\mu C, +48\mu C$ និង $-85\mu C$ ត្រូវបានគេដាក់ជាជួររៀងគ្នាត្រង់ចំណុច $A, B$ និង $C$ ដែល B ជាចំណុចកណ្ដាលមានចម្ងាយ $0.35m$ ពី $A$ ឬ $C$ ។ ចូរគណនាតម្លៃកម្លាំងអគ្គិសនីសរុបលើបន្ទុកនីមួយៗពីបន្ទុកពីរផ្សេងទៀត។
43. ភាគល្អិតបីផ្ទុកអគ្គិសនី $+11.0\mu C$ ដូចគ្នាត្រូវបានគេដាក់ជាបន្តបន្ទាប់លើកំពូលនីមួយៗនៃត្រីកោណសម័ង្ស $ABC$ មួយដែលមានជ្រុង $15.0cm$ ។ ចូរគណនាតម្លៃកម្លាំងអគ្គិសនីផ្ទួបលើភាគល្អិតមួយពីភាគល្អិតពីរផ្សេងទៀត។
44. ចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីពីរ $+60\mu C$ និង $+90\mu C$ ដាក់ត្រង់ចំណុច $A$ និង $B$ ក្នុងសុញ្ញកាសដែល $|AB| = 4cm$ ។ ចូរគណនាតម្លៃកម្លាំងអគ្គិសនីផ្ទួបដែលមានអំពើលើចំណុចបន្ទុក $-1nC$ ដាក់ត្រង់៖
    ១. ចំណុច$O$ កណ្ដាល $[AB]$ ។
    ២. ចំណុច$N$ ដែលជាមេដ្យាទ័រនៃ $[AB]$ ហើយមានចម្ងាយ $2cm$ ពី $[AB]$ ។
    ៣. ចំណុច$P$ ដែលមានចម្ងាយ $6cm$ ពី $A$ និង $8cm$ ពី $B$ ។
45. គេមានចំណុចបន្ទុកពីរ $q_1 = 1\mu C$ និង $q_1 = 4\mu C$ ស្ថិតនៅរៀងគ្នាត្រង់ចំណុច $A$ និង $B$ ដែល $AB = 12cm$ ។ ចូរកំណត់ចំណុចមួយលើអង្កត់ $[AB]$ ដើម្បីឱ្យបន្ទុក $-1nC$ ដាក់ត្រង់ចំណុច $O$ រងកម្លាំងអគ្គិសនីផ្ទួបស្មើសូន្យ។

# មេរៀនទី៤ ៖ ដែនម៉ាញេទិច

## ៤.១. មេដែក និងដែនម៉ាញេទិច

### ៤.១.១. មេដែក

**មេដែក** គឺជាអង្គធាតុដែលអាចធក់ដែកបាន។ លក្ខណៈដែលអាចធក់ទាញ ឬស្រូបដែកបានហៅថា លក្ខណៈម៉ាញេទិច ។ មេដែកមានពីរយ៉ាងគឺ

- **មេដែកធម្មជាតិ** ជាសំណាកអុកស៊ីតម៉ាញេទិច($Fe_3O_4$)។
- **មេដែកសិប្បនិម្មិត** ជាមេដែកដែលមនុស្សបង្កើតឡើងដោយយកដែកថែបទៅបន្ស៊ីនឹងមេដែក ឬបន្ស៊ីនឹងចរន្តអគ្គិសនី។

មេដែកមានប៉ូលពីរគឺ ប៉ូលត្បូង តាងដោយអក្សរ( s) និងប៉ូលជើង តាងដោយអក្សរ( $N$ )។ **ប៉ូលមេដែក** ជាផ្នែក ឬតំបន់ចុងទាំងពីរនៃមេដែកដែលអាចធក់ដែកបានខ្លាំង។

រូបទី1: រាងនៃមេដែក

មេដែកមានរាងច្រើនប្រភេទ។ មេដែកដែលគេនិយមប្រើដូចជា របារមេដែក ម្ជុលមេដែក មេដែករាងU រូបទី1។

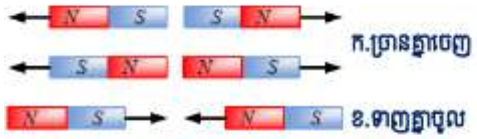
- បើគេយកម្ជុលមេដែកមួយដាក់ឱ្យចល័តក្នុងប្លង់ដេកលើបង្គោលឈរមួយ ឬបើគេព្យួររបារមេដែកមួយដោយខ្សែដែលគ្មានរមួលគេបាន *ត្រីវិស័យ* មួយដូចរូបទី2។ ពេលមានលំនឹង វាចង្អុលតែជើង ទោះបីគេ-ទិសមួយជាក់លាក់គឺទិសត្បូង ខំបង្វិលវាយ៉ាងណាក៏ដោយ នៅទីបំផុតវាចង្អុលតែទិសត្បូងជើងជានិច្ច។-

រូបទី2: ត្រីវិស័យ

- **អន្តរកម្មម៉ាញេទិច**

  តាមពិសោធន៍នៃមេដែកពីរដាក់ក្បែរគ្នា គេសង្កេតឃើញ៖

  - *ប៉ូលមេដែកពីរមានឈ្មោះដូចគ្នា ច្រានគ្នាចេញ* រូបទី3.ក។
  - *ប៉ូលមេដែកពីរមានឈ្មោះខុសគ្នា ទាញគ្នាចូល* រូបទី3.ខ។



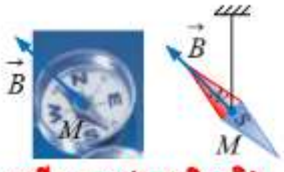

រូបទី3: អន្តរកម្មម៉ាញេទិចនៃរបារមេដែកពីរ

### ៤.១.២.សញ្ញាណដែនម៉ាញេទិច

- ដែនម៉ាញេទិចមានបីគឺ ***ដែនម៉ាញេទិចនៃមេដែក ដែនម៉ាញេទិចនៃផែនដី*** និង ***ដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តអគ្គិសនី***។
- ***ដែនម៉ាញេទិច*** ជាមជ្ឈដ្ឋានរូបធាតុលំហជុំវិញមេដែក ឬផែនដី ឬចរន្តអគ្គិសនីដែលត្រង់ចំណុចមួយក្នុងលំហនោះម្ជុលមេដែកនៃត្រីវិស័យរងកម្លាំងម៉ាញេទិច។

### ក. វ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច

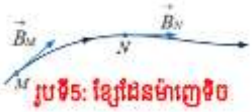
- ត្រង់ចំណុចនីមួយៗនៃដែនម៉ាញេទិច គេសម្គាល់ដោយវ៉ិចទ័រ $\vec{B}$ ហៅថា ***វ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច***។
- តម្លៃអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច $\vec{B}$ វាស់ដោយ***តេស្លាម៉ែត*** ហើយមានខ្នាតក្នុងប្រព័ន្ធខ្នាតអន្តរជាតិ $S.I$ គឺ ***តេស្លា*** $(T)$។
- ដើម្បីកំណត់ទិស និងទិសដៅនៃវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុចម៉ាញេទិច $\vec{B}$ ត្រង់ចំណុចមួយនៃដែនម៉ាញេទិច គេព្យួរម្ជុលលមេដែក ឬដាក់ត្រីវិស័យត្រង់ចំណុចនោះ ពេលម្ជុលមេដែកមានលំនឹង ទិសនៃវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិសដៅ $\vec{B}$ ត្រង់ចំណុចមួយ ទិច $\vec{B}$ ដូចទិសម្ជុលមេដែក ហើយ ទិសដៅពីប៉ូលត្បូងទៅប៉ូលជើងនៃម្ជុលមេដែក រូបទី 4។



រូបទី4:ការបង្ហាញទិសនិងទិសដៅ $\vec{B}$ ត្រង់ចំណុចមួយ

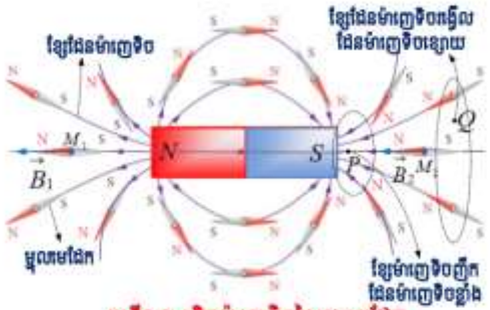
### ខ. ខ្សែដែនម៉ាញេទិច

- **ខ្សែដែនម៉ាញេទិច** ជាខ្សែដែលប៉ះនឹងវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច $\vec{B}$ នៅគ្រប់ចំណុចនីមួយៗរបស់វា។ គេដៅទិសដៅខ្សែដែនម៉ាញេទិចតាមទិសដៅនៃវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច $\vec{B}$ ដូចរូបទី5។



រូបទី5: ខ្សែដែនម៉ាញេទិច

រូបទី6.ក:ស្ប៉ិចម៉ាញេទិចនៃរបារមេដែកដែលរាយដោយកំទេចដែក



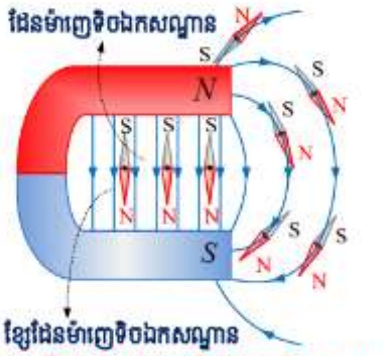
រូបទី6.ខ:ស្ប៉ិចម៉ាញេទិចនៃរបារមេដែក

- **ស្ប៉ិចម៉ាញេទិច** ជាសំណុំ ឬជាបណ្តុំខ្សែដែនម៉ាញេទិច។
- ស្ប៉ិចម៉ាញេទិចត្រូវបានគេបង្ហាញក្នុងពិសោធន៍ដោយប្រើកំទេចដែករូបទី6.ក។ កំទេចដែកតំរៀបគ្នាជាខ្សែៗយ៉ាងច្រើន ដែលខ្សែនីមួយៗជាខ្សែដែនម៉ាញទិច។ កំទេចដែកស្ថិតក្នុងដែនម៉ាញេទិចនៃមេដែកអាចក្លាយជាម្ជុលមេដែកតូចៗ ហើយវាប្រកាន់យកទិសដៅតាមវ៉ិចទ័រ $\vec{B}$ ត្រង់ចំណុចដែលវាស្ថិតនៅ ដូច្នេះផ្នែកខាងក្រៅនៃរបារមេដែក ខ្សែដែនម៉ាញេទិចមានទិសដៅចេញតាមប៉ូលជើង និងចូលតាមប៉ូលត្បូងរូបទី6ខ។ ស្ប៉ិចម៉ាញេទិចប្រាប់ឱ្យដឹងពីអាំងតង់ស៊ីតេនៃ.

អាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច$\vec{B}$ បើខ្សែដែនញឹក (ម្តុំតំបន់ប៉ូលមេដែក)$\vec{B}$ មានតម្លៃធំ ហើយបើខ្សែដែនរង្វើល (ឆ្ងាយពីប៉ូលមេដែក)$\vec{B}$ មានតម្លៃតូច។

### គ. ដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋាន

**ដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋាន** គឺជាដែនដែលវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច $\vec{B}$ មានទិស ទិសដៅនិងអាំងតង់ស៊ីតេដូចៗគ្នាគ្រប់ចំណុចទាំងអស់នៃលំហដែនម៉ាញេទិចនោះ។



រូបទី7:ស្សិចម៉ាញេទិចនៃមេដែករាងU

ដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋានសម្គាល់ដោយខ្សែដែនជាបន្ទាត់ស្របៗគ្នា និងឃ្លាតពីគ្នាដោយចម្ងាយស្មើៗគ្នារូបទី 7។

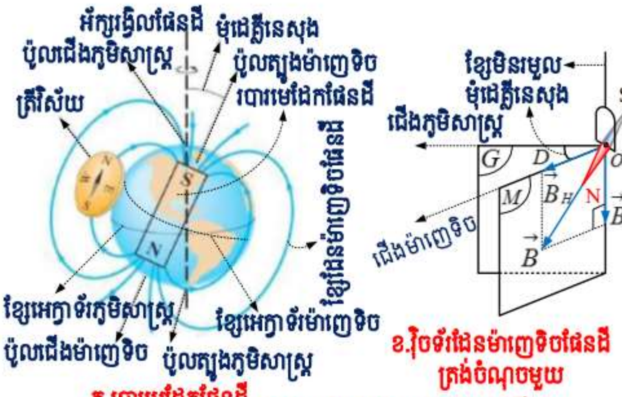
ដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋានកើតមាននៅ :

- ចន្លោះប៉ូលទាំងពីរនៃមេដែករាងU។
- ចន្លោះបូប៊ីនហ៊ុមហ៊ុល។

ផ្ទៃកខាងក្នុងសូលេណូអ៊ីតឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គីសនី។

## ៤.២. ដែនម៉ាញេទិចនៃផែនដី

បើគេព្យួរម្ជុលមេដែកត្រង់ចំណុចមួយក្នុងលំហនៃផែនដីដោយដាក់វាឆ្ងាយពីមេដែក ឬពីចរន្តអគ្គិសនី ឬពីគ្រប់ឧបករណ៍ធ្វើពីដែក ពេលមានលំនឹងវាស្ថិតក្នុងទិសមួយដាក់លាក់ គឺប៉ូលជើងរបស់វាចង្អុល ប៉ូលជើងភូមិសាស្ត្រនៃផែនដី ដូច្នេះម្ជុលមេដែកស្ថិត ក្នុងដែនម៉ាញេទិចមួយហៅថា ដែនម៉ាញេទិចផែនដី។ ផែនដីត្រូវបានគេចាត់ទុកថាជាមេដែកមួយដ៏ធំ ដែលមានប៉ូលជើងនៅអឌ្ឍគោលខាងត្បូង ឯប៉ូលត្បូងនៅអឌ្ឍគោលខាងជើងរូបទី8។



រូបទី8: ដែនម៉ាញេទិចផែនដី

**ប្លង់បណ្តោយម៉ាញេទិច** ( $M$ ) ជាប្លង់ឈរដែលក្នុងនោះមានវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច $\vec{B}$។

**ប្លង់បណ្តោយភូមិសាស្ត្រ**( $G$ ) ជាប្លង់ឈរដែលកាត់តាមប៉ូលជើង និងប៉ូលត្បូងភូមិសាស្ត្រផែនដី។

ប្លង់ទាំងពីរមិនត្រួតស៊ីគ្នាទេហើយផ្តុំគ្នាបង្កើតបានមុំ $D$ មួយហៅថា ***ដេគ្លីនេសុង*** ។ ម្ជុលមេដែកមិនស្ថិតតាមប្លង់ដេកទេ រូបទី8ខ គេអាចបំបែកវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច $\vec{B}$ នៃផែនដីជាពីរគឺ

- អាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចផ្តុំដេក $\vec{B}_H$ ដែល $B_H = 2\times 10^{-5}T$ ។
- អាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចផ្តុំឈរ $\vec{B}_V$ ។

ដូច្នេះ វ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចនៃផែនដី $\vec{B} = \vec{B}_H + \vec{B}_V$ ។

## ៤.៣. ដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តអគ្គិសនី

### ៤.៣.១. ដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តត្រង់

ខ្សែចម្លងត្រង់មួយឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី $I$ នៅជុំវិញវាមានដែនម៉ាញេទិចដែលវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច $\vec{B}$ ត្រង់ចំណុច $M$ មាន៖

- ចំណុចចាប់ត្រង់ $M$
- ទិសកែងនឹងប្លង់ដែលបង្កើតដោយខ្សែចម្លង និងចំណុច $M$
- ទិសដៅឱ្យតាមវិធានដៃស្តាំ ( ពំនោល៖ *ដៃស្តាំក្តោបខ្សែចម្លងយ៉ាងណាឱ្យមេដៃកន្ទែក ចង្អុលទិសដៅចរន្ត ហើយម្រាមទាំងបួនចង្អុលទិសដៅខ្សែដែនម៉ាញេទិចឬដែនម៉ាញេទិច។* )

រូបទី9: ដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តត្រង់

- តម្លៃអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច$\vec{B}$ សមាមាត្រនឹងអាំងតង់ស៊ីតេចរន្ត $I$ ហើយច្រាសសមាមាត្រនឹងចម្ងាយ $d$ ពីខ្សែចម្លងទៅចំណុច $M$ :

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi d}$$

( សុញ្ញកាស )

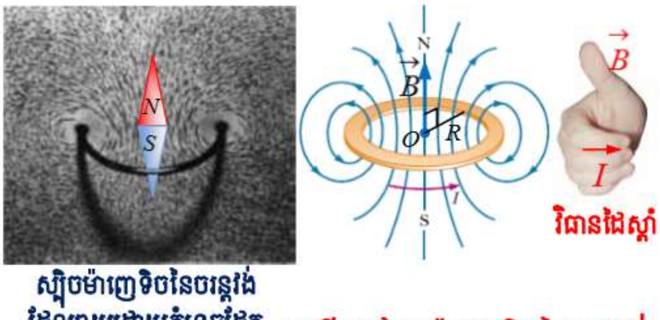
- $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$S.I $= 4\pi \times 10^{-7}$T.m.A$^{-1}$ ជាជម្រាបម៉ាញេទិច ឬពែម៉េអាប៊ីលីតេនៃសុញ្ញកាស ឬខ្យល់
- $I$ ជាអាំងតង់ស៊ីតេចរន្តអគ្គិសនីឆ្លងកាត់ខ្សែចម្លង គិតជា $A$
- $d$ ជាចម្ងាយពីខ្សែចម្លងទៅ $M$ ( ចំណុចចង់កំណត់ដែនម៉ាញេទិច ) គិតជា $m$
- $B$ ជាតម្លៃអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច គិតជា $T$

ខ្សែរង់ៗជាច្រើនជុំវិញខ្សែចម្លងមានផ្ចិតរួមគ្នាត្រង់ $O$ ជា ***ខ្សែដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តត្រង់*** ។

### ៤.៣.២. ដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តវង់

ខ្សែចម្លងវង់មួយឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី $I$ កើតមានដែនម៉ាញេទិចដែលវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច B ត្រង់ចំណុច $O$ មាន៖

- ចំណុចចាប់ត្រង់ $O$
- ទិសកែងនឹងប្លង់នៃខ្សែចម្លង
- ទិសដៅឱ្យតាមវិធានដៃស្តាំ (ពំនោល៖ *ដៃស្តាំក្តោបខ្សែចម្លងវង់យ៉ាងណាឱ្យម្រាមទាំងបួនចង្អុលតាមទិសដៅ*

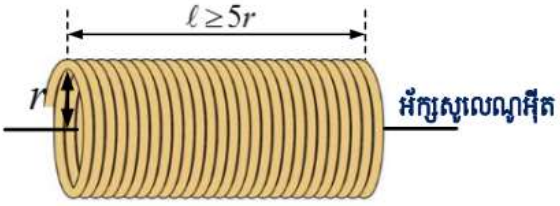


រូបទី10:ដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តវង់

*ចរន្ត ហើយមេដៃកកកែងនឹងម្រាមទាំងបួនចង្អុលទិសដៅដែនម៉ាញេទិច។* )

- តម្លៃអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច $\vec{B}$ សមាមាត្រនឹងអាំងតង់ស៊ីតេចរន្ត I ហើយច្រាសសមាមាត្រនឹងកាំ R នៃរង្វង់ : $B = \mu_0 \frac{I}{2R}$ (សុញ្ញកាស)
  - $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$S.I $= 4\pi \times 10^{-7}$T.m.A$^{-1}$ ជាជម្រាបម៉ាញេទិច ឬពែម៉េអាប៊ីលីតេនៃសុញ្ញកាស ឬខ្យល់
  - $I$ ជាអាំងតង់ស៊ីតេចរន្តអគ្គិសនីឆ្លងកាត់ខ្សែចម្លង គិតជា $A$
  - $R$ ជាកាំនៃស្នៀវង់(គឺខ្សែវង់) គិតជា$m$
  - $B$ ជាតម្លៃអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច គិតជា $T$

ចំពោះ***បូប៊ីនសំប៉ែត*** ដែលមាន $N$ស្នៀ រាងជារង្វង់មានកាំមធ្យម $R$ អាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច $\vec{B}$ ត្រង់ផ្ចិត $O$ មានតម្លៃ : $B = \mu_0 \frac{NI}{2R}$ ។




រូបទី11: សូលេណូអ៊ីតដែលមានNស្នៀ

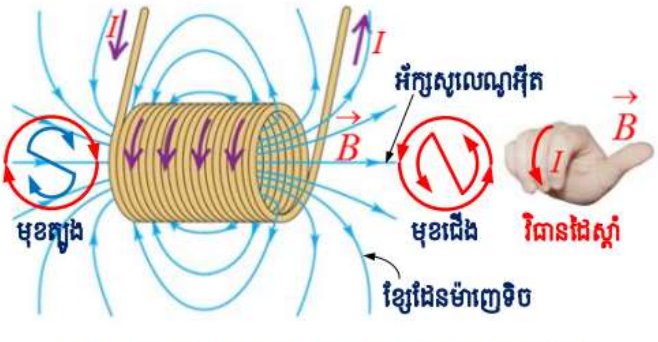
## ៤.៣.៣. ដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តសូលេណូអ៊ីត

**សូលេណូអ៊ីត** គឺជាបូប៊ីនដែលមានប្រវែងចាប់ពីប្រាំដងកាំ ( $\ell \geq 5r$ ) រូបទី11។

កាលណាសូលេណូអ៊ីតឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី $I$ នៅខាងក្នុងវាមានដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋាន $\vec{B}$ ។ វ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច $\vec{B}$ មាន៖

- ទិសស្របនឹងអ័ក្សបូប៊ីន
- ទិសដៅឱ្យតាមវិធានដៃស្តាំ(ពំនោល៖ *ដៃស្តាំក្តោបសូលេណូអ៊ីតយ៉ាងណាឱ្យម្រាមទាំងបួនចង្អុលតាមទិសដៅចរន្ត ហើយមេដៃកន្ទៃកកែងនឹងម្រាមទាំងបួនចង្អុលទិសដៅដែនម៉ាញេទិច។*)
- តម្លៃ (*សមាមាត្រនឹងអាំងតង់ស៊ីតេចរន្ត $I$ និងចំនួនស្នៀ $n$ ក្នុងប្រវែងមួយម៉ែត្រ* ):

$$B = \mu_0 n I = \mu_0 \frac{N}{\ell} \mathrm{I}$$




រូបទី12: សូលេណូអ៊ីតឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី

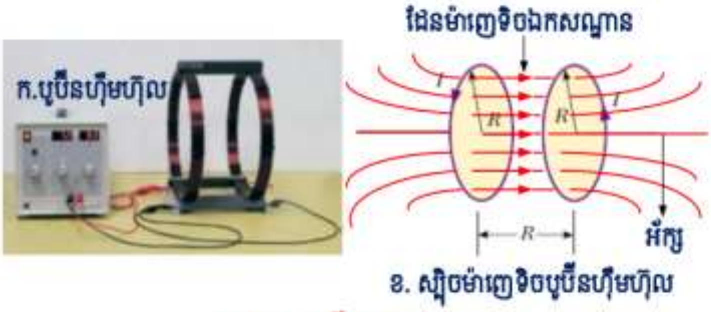
- $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$S.I $= 4\pi \times 10^{-7}$T.m.A$^{-1}$ ជាជម្រាបម៉ាញេទិច ឬពែម៉េអាប៊ីលីតេនៃសុញ្ញកាស
- $n$ ជាចំនួនស្នៀក្នុងប្រវែងមួយម៉ែត្រ គិតជា $m^{-1}$

- $N$ ជាចំនួនស្ពៀសរុបនៃបូប៊ីន (ឬសូលេណូអ៊ីត)
- $\ell$ ជាប្រវែងបូប៊ីន(រឺសូលេណូអ៊ីត) គិតជា$m$
- $I$ ជាអាំងតង់ស៊ីតេចរន្តអគ្គិសនីឆ្លងកាត់បូប៊ីន(ឬសូលេណូអ៊ីត) គិតជា$A$

❖ បូប៊ីនឆ្លងកាត់ដោយចរន្តមានប៉ូល ឬមុខពីរដូចប៉ូលមេដែកដែរ។ គេអាចស្គាល់មុខត្បូង ឬមុខជើងដោយដាក់ ជាអក្សរ $N$ ឬ $S$ តាមទិសដៅនៃចរន្តដែលរត់តាមស្ពៀនៃមុខបូប៊ីន(រូប១២)។ ផ្នែកខាងក្រៅនៃបូប៊ីនខ្សែដែនម៉ាញេទិចមានទិសដៅចេញតាមមុខជើងហើយចូលតាមមុខត្បូង ដូច្នេះស្ប៉ិចម៉ាញេទិចនៃសូលេណូអ៊ីតដូចស្ប៉ិចម៉ាញេទិចនៃរបារមេដែក។

### ៤.៣.៤. បូប៊ីនហ៊ឹមហ៊ុល (Helmholtz)

បូប៊ីនហ៊ឹមហ៊ុល ជាបូប៊ីនសំប៉ែតពីរមានអ័ក្សរួមគ្នារាងជារង្វង់មានកាំ $R$ និងស្ថិតនៅចម្ងាយ $R$ ពីគ្នា ហើយឆ្លងកាត់ដោយចរន្តដែលមានទិសដៅ និងអាំងតង់ស៊ីតេដូចគ្នា។




រូបទី13: បូប៊ីនហ៊ឹមហ៊ុល

# សំណួរ និងលំហាត់

1. តើមេដែកជាអ្វី?
2. តើមេដែកអាចចក់អង្គធាតុមួយណា?
3. តើលក្ខណៈអ្វីដែលអាចចក់ទាញ ឬស្រូបដែកបាន?
4. តើមេដែកមានប៉ុន្មានប្រភេទ?
5. តើមេដែកមានប៉ុន្មាន?
6. ដូចម្ដេចដែលហៅថាប៉ូលមេដែក?
7. តើគេធ្វើដូចម្ដេចដើម្បីស្គាល់ប្រភេទប៉ូលនៃមេដែកមួយដោយប្រើម្ជុលមេដែកដែលចល័តលើបង្គោលឈរមួយ?
8. តាមពិសោធន៍ តើគេសង្កេតឃើញដូចម្ដេចនៅពេលគេដាក់មេដែកពីរក្បែរគ្នា?
9. តើម្ជុលមេដែកគេប្រើសម្រាប់ធ្វើអ្វី? តើវាចង្អុលដូចម្ដេច?
10. តើដែនម៉ាញេទិចមានប៉ុន្មានបែប?
11. ត្រង់ចំណុចនីមួយៗនៃដែនម៉ាញេទិចសម្គាល់ដោយវ៉ិចទ័រ $\vec{B}$ ។ តើគេតាងវ៉ិចទ័រ $\vec{B}$ យ៉ាងដូចម្ដេច?
12. នៅត្រង់ចំណុចណាមួយនៃដែនម៉ាញេទិចមានវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងប៉ុន្មាន? មានខ្សែអាំងឌុចស្យុងប៉ុន្មាន? តើវ៉ិចទ័រនិងខ្សែនោះទាក់ទងគ្នាយ៉ាងដូចម្ដេច?
13. តើខ្សែដែនម៉ាញេទិចមានទិសដៅយ៉ាងដូចម្ដេច?
14. ក្នុងដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋាន វ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងត្រង់ចំណុចនីមួយៗជាវ៉ិចទ័រដូចម្ដេច?
15. តើគេតាងវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចនៃផែនដីបានយ៉ាងដូចម្ដេច?
16. តើអ្វីខ្លះជាប្រភពនៃដែនម៉ាញេទិច? ហើយអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចត្រូវបានគិតជាអ្វី?
17. តើម្ជុលមេដែកនៃត្រីវិស័យចង្អុលទិសជើងត្បូងចំឬទេ? តើវាស្ថិតក្នុងប្លង់ដេកឬទេ?
18. ដូចម្ដេចដែលហៅថាប្លង់បណ្ដោយភូមិសាស្ត្រ?
19. ដូចម្ដេចដែលហៅថាប្លង់បណ្ដោយម៉ាញេទិច?
20. តើប្លង់បណ្ដោយភូមិសាស្ត្រ និងប្លង់បណ្ដោយម៉ាញេទិចផ្គុំគ្នាបង្កើតបានមុំមួយហៅថាមុំអ្វី?
21. តើគេប្រើវិធានដៃស្ដាំយ៉ាងដូចម្ដេចដើម្បីកំណត់ទិសដៅខ្សែដែនម៉ាញេទិចករណីចរន្តត្រង់ ចរន្តវង់ និងចរន្តក្នុងសូលេណូអ៊ីត?
22. ខ្សែចម្លងត្រង់វែងមួយឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនីដែលមានអាំងតង់ស៊ីតេ $5A$ ដាក់ក្នុងសុញ្ញកាស។ ចូររកតម្លៃនៃវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច $\vec{B}$ ត្រង់ចំណុចមួយដែលមានចម្ងាយ $10\,cm$ ពីខ្សែចម្លងនោះ។
23. ខ្សែចម្លងត្រង់យ៉ាងវែងមួយឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនីដែលមានអាំងតង់ស៊ីតេ $12\,A$ ក្នុងសុញ្ញកាស។ ចូររកតម្លៃនៃវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច $\vec{B}$ ត្រង់ចំណុច $M$ ដែលមានចម្ងាយ $5\,cm$ ពីខ្សែចម្លងនោះ ព្រមទាំងគូសបង្ហាញវ៉ិចទ័រ $\vec{B}$ និងទិសដៅខ្សែដែនម៉ាញេទិចជុំវិញខ្សែចម្លងត្រង់ចំណុច $M$ នោះ។
24. ខ្សែចម្លងត្រង់មួយវែងអនន្តឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី ដែលមានអាំងតង់ស៊ីតេ $10\,A$ ស្ថិតក្នុងសុញ្ញកាស។ ចូរឱ្យលក្ខណៈសម្គាល់នៃវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច $\vec{B}$ ត្រង់ចំណុច $M$ ដែលមានចម្ងាយ $10\,cm$ ពីខ្សែចម្លងនោះ។

25. ខ្សែចម្លងត្រង់ពីរវែងដាក់ស្របគ្នាឃ្លាតពីគ្នាចម្ងាយ $10\,cm$ ក្នុងសុញ្ញកាស។ ខ្សែទាំងពីរឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី $20\,A$ ដូចគ្នា។ ចូររកតម្លៃនៃវ៉ិចទ័រដែនម៉ាញេទិចផ្តបត្រង់ចំណុចកណ្តាលនៃចម្ងាយរវាងខ្សែចម្លងទាំងពីរក្នុងករណី៖
 ១. ចរន្តមានទិសដៅដូចគ្នា។
 ២. ចរន្តមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា។
26. ខ្សែចម្លងត្រង់ពីរយ៉ាងវែងដាក់ស្របគ្នាឃ្លាតពីគ្នាចម្ងាយ $10\,cm$ ក្នុងសុញ្ញកាស ឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី $10\,A$ ដូចគ្នា និងមានទិសដៅដូចគ្នា។ ចូររកតម្លៃនៃវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចផ្តបត្រង់ចំណុច៖
 ១. $M$ ស្ថិតនៅចន្លោះខ្សែទាំងពីរចម្ងាយ $4cm$ ពីខ្សែចម្លងទីមួយ។
 ២. $N$ ស្ថិតនៅក្រៅខ្សែចម្លងទាំងពីរចម្ងាយ $6\,cm$ ពីខ្សែចម្លងទីមួយ និង $8cm$ ពីខ្សែចម្លងទីពីរ។
27. ខ្សែចម្លងត្រង់វែងពីរស្របគ្នាស្ថិតនៅចម្ងាយ $1m$ ពីគ្នាហើយឆ្លងកាត់ដោយចរន្តដែលមានទិសដៅ និងអាំងតង់ស៊ីតេ ដូចគ្នា $I = 1A$ ។ ចូរគណនាតម្លៃអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចផ្តបត្រង់ចំណុច $M$ មួយដែលស្ថិតនៅចម្ងាយ $1m$ ស្មើគ្នាពីខ្សែចម្លងទាំងពីរ។
28. ខ្សែចម្លងត្រង់វែងពីរស្របគ្នាស្ថិតនៅចម្ងាយ $0.5m$ ពីគ្នាហើយឆ្លងកាត់ដោយចរន្តដែលមានទិសដៅផ្ទុយគ្នាហើយមានអាំងតង់ស៊ីតេស្មើគ្នា $I = 0.5\,A$ ។ ចូរគណនាតម្លៃអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចផ្តបត្រង់ចំណុច $M$ មួយដែលស្ថិតនៅចម្ងាយ $0.5\,m$ ស្មើគ្នាពីខ្សែចម្លងទាំងពីរ។
29. ខ្សែចម្លងត្រង់វែងពីរ $A_1$ និង $A_2$ ស្របគ្នាស្ថិតចម្ងាយ $d = 10\,cm$ ពីគ្នាហើយឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី $I_1 = I_2 = 4.8\,A$ ដូចគ្នា និងមានទិសដៅដូចគ្នា។ ចូររកតម្លៃនៃវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចផ្តបត្រង់ចំណុច $M$ មួយដែលស្ថិតនៅចម្ងាយ $6\,cm$ ពី $A_1$ និង $8\,cm$ ពី $A_2$ ។ ខ្សែចម្លងត្រង់ពីរវែងអនន្តដាក់ស្របគ្នាឃ្លាតពីគ្នាចម្ងាយ $8\,cm$ ក្នុងសុញ្ញកាសឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី $20\,A$ ដូចគ្នា និងមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា។ ចូររកតម្លៃនៃវ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចផ្តបត្រង់ចំណុច៖
 ១. O ស្ថិតនៅចំណុចកណ្តាលនៃចម្ងាយរវាងខ្សែចម្លងទាំងពីរ។
 ២. $N$ ស្ថិតនៅស្មើចម្ងាយពីខ្សែចម្លងទាំងពីរ $5\,cm$ ។
30. ខ្សែចម្លងរង្វង់មួយមានកាំ $5\,cm$ ឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនីដែលមានអាំងតង់ស៊ីតេ $50\,mA$ ។ ចូររកតម្លៃនៃវ៉ិចទ័រដែនម៉ាញេទិចត្រង់ផ្ចិតនៃខ្សែចម្លងរង្វង់។
31. ខ្សែចម្លងរង្វង់មួយមានអង្កត់ផ្ចិត $10\,cm$ ឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $100\,mA$ ។ ចូរកំណត់លក្ខណៈនៃវ៉ិចទ័រដែនម៉ាញេទិចត្រង់ផ្ចិតខ្សែចម្លងរង្វង់។
32. គេមានស្ពៀរង្វង់ពីរប៉ុនគ្នាមានកាំ $10\,cm$ ដូចគ្នា។ ស្ពៀរង្វង់មួយឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $I_1 = 5\,A$ ត្រូវបានដាក់ផ្តេក ហើយស្ពៀរង្វង់មួយទៀតឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $I_2 = 10\,A$ ត្រូវបានដាក់បញ្ឈរយ៉ាងណាឱ្យផ្ចិតវារួមគ្នាត្រង់ $O$ ។ ចូរគណនាអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចផ្តបត្រង់ (ប្លង់នៃស្ពៀរង្វង់ទាំងពីរកែងគ្នា) ផ្ចិត $O$ ។(គេមិនគិតអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចនៃផែនដី)
33. ខ្សែចម្លងត្រង់ឈរមួយឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $I_1 = 50\,A$ ដែលមានទិសដៅពីក្រោមទៅលើ ។ នៅក្នុងប្លង់ឈរកាត់តាមខ្សែចម្លង គេដាក់ស្ពៀរង្វង់មួយមានកាំ $5cm$ មានផ្ចិត $O$ នៅខាងស្តាំខ្សែចម្ងាយ

$10cm$ ពីចំនុចកណ្ដាល $A$ នៃខ្សែចម្លង។ ស្ពៀរង់នេះឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $I_2 = 10A$ ដែលមានទិសដៅតាមទ្រនិចនាឡិកា ។ ចូរគណនាតម្លៃនៃអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចផ្ចួប $\vec{B}$ ត្រង់ $O$ ។

34. ខ្សែចម្លងត្រង់វែងឈរមួយ $A$ ឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $I_1 = 5A$ ។នៅចម្ងាយ$|AO| = a = 20\ cm$ ពីខ្សែ គេដាក់ស្ពៀការេមួយដែលជ្រុងមានរង្វាស់ $b = 10\ cm$ ហើយប្លង់វាកែងនឹង $(AO)$ ត្រង់ $O$ ផ្ចិតនៃការេ។ ស្ពៀការេនេះឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $I_2 = 3A$ មានទិសដៅច្រាសពីទ្រនិចនាឡិកា។
១.ចូរគណនាតម្លៃនៃអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចផ្ចួប $\vec{B}$ ត្រង់ផ្ចិត $O$ ។
២.តើអាំងឌុចស្យុងនេះមានតម្លៃប៉ុន្មានវិញ? បើសិនស្ពៀការេនេះក្លាយទៅជាស្ពៀរង់ដែលមានផ្ចិត $O$ និងកាំ $b/2$ ។

35. បូប៊ីនសំប៉ែតមួយមាន 50 ស្ពៀ និងមានកាំមធ្យម $10\ cm$ ហើយឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $10\ A$។ ចូរគណនាតម្លៃអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចត្រង់ផ្ចិតបូប៊ីន។

36. បូប៊ីនសំប៉ែតមួយមានចំនួន 500 ស្ពៀ និងមានកាំមធ្យម $50\ cm$ ហើយឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $5\ A$ ។ ចូរកំណត់វ៉ិចទ័រដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ ត្រង់ផ្ចិត O របស់បូប៊ីន។

37. បូប៊ីនសំប៉ែតមួយមានចំនួន 500 ស្ពៀ និងមានកាំមធ្យម $3\ cm$ ពេលចរន្តឆ្លងកាត់គេឃើញតេស្លាម៉ែត្រដាក់ត្រង់ផ្ចិតបូប៊ីនចង្អុលតម្លៃ $0.628mT$ ។ ចូរគណនាអាំងតង់ស៊ីតេចរន្តឆ្លងកាត់បូប៊ីន បើបូប៊ីនជាប្រព័ន្ធត្រម៉ោច។

38. បូប៊ីនសំប៉ែតមួយមាន 2000 ស្ពៀ ហើយកាំស្ពៀក្រៅ $R_{ex} = 5\ cm$ និងកាំស្នូលរុំ $R_{in} = 3\ cm$ ។ ចូរគណនាតម្លៃអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចត្រង់ផ្ចិតបូប៊ីនពេលឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $2\ A$ ។

39. សូលេណូអ៊ីតមួយមានប្រវែង $30\ cm$ និងមាន $10^3$ ស្ពៀ។ ចូរកំណត់វ៉ិចទ័រអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច $\vec{B}$ ត្រង់ផ្ចិតសូលេណូអ៊ីតកាលណាវាឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $20\ A$ ។

40. សូលេណូអ៊ីតមួយមានប្រវែង $28\ cm$ ហើយមានអង្កត់ផ្ចិត $1.0\ cm$ កាលណាវាឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $8.8\ A$ ដែនម៉ាញេទិចត្រង់ផ្ចិតវាមានតម្លៃ $0.2\ T$ ។ ចូរគណនាចំនួនស្ពៀសរុបក្នុងបូប៊ីននេះ និងគណនាប្រវែងខ្សែរុំសូលេណូអ៊ីតនេះ។

41. សូលេណូអ៊ីតមួយមានប្រវែង $50\ cm$ រុំដោយខ្សែចម្លងជាស្ពៀជាប់ៗគ្នាចំនួន $10^3$ ស្ពៀ។ សូលេណូអ៊ីតនេះឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $5\ A$ ។
១. ចូរគណនាតម្លៃអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចត្រង់ផ្ចិត $O$ នៃសូលេណូអ៊ីត។
២. ចូររកចំនួនស្ពៀក្នុងប្រវែងមួយម៉ែត។

42. សូលេណូអ៊ីតមួយមានប្រវែង $50\ cm$ ឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $I$ ។ អាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចត្រង់ផ្ចិតមានតម្លៃ $B = 4\pi \times 10^{-3}\ I\ (T)$ ។ គេឱ្យ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T.m/A ។
១. ចូរគណនាចំនួនស្ពៀសរុប។
២. ចូររកចំនួនស្រទាប់បើខ្សែចម្លងដែលយកមករុំមានអង្កត់ផ្ចិត$1\ mm$ ហើយរុំជាស្ពៀជាប់ៗគ្នា។

43. សូលេណូអ៊ីតមួយមានប្រវែង $50\ cm$ រុំដោយខ្សែចម្លងជាស្ពៀជាប់ៗគ្នាចំនួនបួនជាន់ដែលមួយជាន់ៗមានចំនួន 1000 ស្ពៀ ។ សូលេណូអ៊ីតនេះឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $5\ A$ ។ ចូរគណនា៖
១. ដែនម៉ាញេទិចត្រង់ផ្ចិត$O$ នៃសូលេណូអ៊ីត។
២. ចំនួនស្ពៀក្នុងប្រវែងមួយម៉ែត្រនៃសូលេណូអ៊ីត។

44. បូប៊ីនមួយរុំដោយខ្សែចម្លងដែលមានអង្កត់ផ្ចិត $1\,mm$ ជាស្ពៀជាប់ៗគ្នា។ បូប៊ីននេះមានកាំ $4\,cm$ ហើយរុំជាប្រាំស្រទាប់បានចំនួនស្ពៀសរុប $N' = 2000$ ។

១. ចូរគណនាប្រវែងបូប៊ីន។

២. តើបូប៊ីននេះជាបូប៊ីនវែងឬទេ? ចូរបញ្ជាក់ប្រភេទដែនម៉ាញេទិចក្នុងបូប៊ីន។

៣. ចូរគណនាតម្លៃនៃអាំងឌុចស្យុង$\vec{B}$ ត្រង់ផ្ចិត $O$ នៃបូប៊ីន បើវាឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $10\,A$ ។

៤. ចូរគណនាប្រវែងខ្សែរុំនៃបូប៊ីន ។

45. សូលេណូអ៊ីតមួយមានប្រវែង $40\,cm$ រុំដោយខ្សែចម្លងដែលមានអង្កត់ផ្ចិត $d$ ជាស្ពៀជាប់ៗគ្នា។ បូប៊ីននេះមានអង្កត់ផ្ចិត $10\,cm$ និងមានចំនួនស្ពៀ $5 \times 10^3$ លើប្រវែង $1\,m$ នៃបូប៊ីន។ចូរគណនា៖

១. ចរន្ត$I$ ដែលឆ្លងកាត់បូប៊ីន បើដែន $\vec{B}$ ត្រង់ផ្ចិត $O$ វាមានតម្លៃ $B = 4\pi\ mT$ ។

២. ប្រវែងនៃខ្សែរុំ និងអង្កត់ផ្ចិត$d$ វា។

៣. រេស៊ីស្តង់នៃបូប៊ីន បើខ្សែរុំមានរេស៊ីស្តង់$0.2\,\Omega$ ក្នុងប្រវែង $1\,m$។

46. សូលេណូអ៊ីតមួយមានប្រវែង $1m$ និងមានអង្កត់ផ្ចិត $3\,cm$ ហើយរុំដោយខ្សែចម្លងដែលមានអង្កត់ផ្ចិត $0.8\,mm$ និងស្រោបដោយអ៊ីសូឡង់ដែលមានកម្រាស់ $0.1\,mm$ ជាស្ពៀជាប់ៗគ្នា។ ចូរគណនា៖

១. រេស៊ីស្តង់នៃសូលេណូអ៊ីត បើខ្សែចម្លងមានរេស៊ីស្ទីវីតេ$1.6\,\mu\Omega\text{cm}$ ។

២. តម្លៃអាំងឌុចស្យុង$\vec{B}$ ត្រង់ផ្ចិត $O$ នៃសូលេណូអ៊ីត បើវាឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $5\,A$ ។

47. មួយមានប្រវែង $1\,m$ និងមានកាំ $1.5\,cm$ ហើយរុំដោយខ្សែចម្លងដែលមានអង្កត់ផ្ចិត $0.8\,mm$ និងស្រោបដោយអ៊ីសូឡង់ដែលមានកម្រាស់ $0.1\,mm$ ជាស្ពៀជាប់ៗគ្នាចំនួនប្រាំស្រទាប់។ ចូរគណនា៖

១. តម្លៃដែន$\vec{B}$ ត្រង់ផ្ចិតបូប៊ីន បើវាឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $2A$ ។

២. រេស៊ីស្តង់នៃបូប៊ីន បើខ្សែរុំមានរេស៊ីស្ទីវីតេ $1.6\,\mu\Omega\text{cm}$ ។

៣. តង់ស្យុងរវាងគោលទាំងពីរនៃបូប៊ីន។

48. សូលេណូអ៊ីតទ្រឹស្តីមួយមានប្រវែង $50cm$ មានចំនួនស្ពៀ $200$ រាយស្មើៗគ្នាយ៉ាងទៀងទាត់។

១. ចូរគណនាតម្លៃដែនម៉ាញេទិចត្រង់ផ្ចិតនៃសូលេណូអ៊ីត កាលណាវាឆ្លងកាត់ចរន្តអគ្គិសនី $0.04\,A$ ។

២. អ័ក្សនៃសូលេណូអ៊ីតត្រូវបានគេដាក់តាមទិសដេកឱ្យកែងជាមួយនឹងទិសដែនម៉ាញេទិចផែនដី ហើយម្ជុលមេដែកតូចមួយត្រូវបានគេដាក់ត្រង់ផ្ចិតសូលេណូអ៊ីតនោះ។ ចូរគណនាមុំលំងាកនៃម្ជុលមេដែកដែលដាក់ត្រង់ផ្ចិតសូលេណូអ៊ីតធៀបនឹងដែនម៉ាញេទិចផែនដី បើដែនម៉ាញេទិចផ្តុំដេកផែនដី $B_0 = 2 \times 10^{-5}\ T$ ។

49. សូលេណូអ៊ីតទ្រឹស្តីមួយមានប្រវែង $50\,cm$ មានចំនួន $1000$ ស្ពៀ។

១. ចូរគណនាអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចក្នុងសូលេណូអ៊ីតដែលបង្កើតឡើងដោយចរន្តអគ្គិសនី បើគេឱ្យចរន្តឆ្លងកាត់ $8\,mA$ ។

២ .អ័ក្សសូលេណូអ៊ីតត្រូវបានដាក់ឱ្យកែងនឹងអាំងឌុចស្យុងផ្តុំដេកផែនដី $\vec{B}_0$ ដែល $B_0=2\times10^{-5}$ T ។ ចូរគណនាមុំលំងាកនៃម្ជុលដែកដាក់ត្រង់ផ្ចិតសូលេណូអ៊ីត ។

50. បូប៊ីនសំប៉ែតមួយមានស្ពៀ 50 ហើយមានកាំមធ្យម $10cm$ ។ ប្លង់របស់វាស្របនឹងប្លង់បណ្តោយម៉ាញេទិច ។ តើអាំងតង់ស៊ីតេចរន្តដែលឆ្លងកាត់បូប៊ីនត្រូវមានតម្លៃប៉ុន្មាន ?
១. ដើម្បីឱ្យអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចដែលវាបង្កើតត្រង់ផ្ចិតនៃបូប៊ីនស្មើនឹង100 ដងអាំងឌុចស្យុងផ្តុំដេកនៃអាំងឌុចស្យុងផែនដី $B_0 = 2\times10^{-5}\ T$ ។
២. ដើម្បីឱ្យម្ជុលមេដែកដែលចល័តជុំវិញអ័ក្សឈរហើយដែលគេដាក់ត្រង់ផ្ចិតនៃបូប៊ីនវិលបាន $60^\circ$ កាលណាមានចរន្តឆ្លងកាត់។

51. បូប៊ីនវែងមួយមានប្រវែង $50cm$ មានចំនួន 500 ស្ពៀមានអ័ក្សកែងនឹងអាំងឌុចស្យុងផ្តុំដេក $\vec{B}_0$ នៃផែនដី។ នៅត្រង់ផ្ចិតបូប៊ីនគេដាក់ត្រីវិស័យមួយក្នុងប្លង់ដេក ។
១. ពេលពុំមានចរន្តឆ្លងកាត់បូប៊ីន តើក្នុងករណីដែលម្ជុលមេដែកនៃត្រីវិស័យមានលំនឹង ?
២. ពេលមានចរន្ត$I$ ឆ្លងកាត់បូប៊ីន គេឃើញម្ជុលមេដែកវិលបានមុំ $\alpha = 45^\circ$ ។ ចូរគណនាចរន្ត $I$ បើ $B_0 = 2\times10^{-5}\ T$ ។

52. សូលេណូអ៊ីតមួយឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $I$ ។ បូប៊ីននេះមានប្រវែង $1m$ មាន 2000 ស្ពៀ និងមានអ័ក្សកែងនឹងប្លង់បណ្តោយម៉ាញេទិច។ ត្រង់ផ្ចិតបូប៊ីន គេដាក់ត្រីវិស័យមួយក្នុងប្លង់ដេក។
១. ពេលម្ជុលមេដែកនៃត្រីវិស័យមានលំនឹង តើប៉ូលជើងវាស្ថិតនៅទីតាំងណា ?
២. ពេលគេផ្តាច់ចរន្ត$I$ ក្នុងបូប៊ីន ម្ជុលមេដែកវិលបានមុំ $\alpha = 60^\circ$ ហើយមានលំនឹង។ តើប៉ូលជើងនៃម្ជុលមេដែកវិលពីទីតាំងណាទៅទីតាំងណា ? ចូរគណនាអាំងតង់ស៊ីតេចរន្ត $I$ ។

# កិច្ចតែងការបង្រៀនគំរូតាមបែបដោះស្រាយបញ្ហា(លំហាត់)

# កិច្ចតែងការបង្រៀនគំរូទី១

កាលបរិច្ឆេទ ២៥៦៤.ស.៖ ថ្ងៃ ខែ ឆ្នាំជូត ទោស័ក ព

ត្រូវនឹងថ្ងៃទី ខែ ឆ្នាំ២០២០

មុខវិជ្ជា **៖រូបវិទ្យា**

ថ្នាក់ទី ៖១០

ជំពូកទី១ **៖មេកានិច**

មេរៀនទី១ **៖ចលនាត្រង់**

រយៈពេល ៥០នាទី ៖

ចំណុចដែលត្រូវបង្រៀន

- សមីការចលនាត្រង់ស្មើ និងចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើ
- ការណែនាំសិស្សឱ្យដោះស្រាយលំហាត់ “ករណីចល័តពីរតាមទាន់គ្នា”

I. **វត្ថុបំណង**

**១វិជ្ជាសម្បទា .**

- រៀបរាប់ឡើងវិញនូវនិយមន័យនៃចលនាត្រង់ស្មើនិងចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើតាមរយៈសកម្មភាពរំឭកឡើងវិញរបស់គ្រូ។
- សរសេរសមីការពេលនៃចលនាទាំងពីរបានត្រឹមត្រូវតាមរយៈសំណួរបំផុសរបស់គ្រូ។
- ពណ៌នាលក្ខខណ្ឌចាំបាច់ពីរ កាលណាចល័តពីរតាមទាន់គ្នាតាមរយៈការរំឭករបស់គ្រូ។

**២បំណិនសម្បទា .**

- ប្រើប្រាស់និយមន័យ សមីការពេលនៃចលនាទាំងពីរខាងលើបានត្រឹមត្រូវ និងស្ទាត់ជំនាញតាមរយៈសកម្មភាពដោះស្រាយលំហាត់ជាក់ស្តែង។
- ដោះស្រាយលំហាត់បានយ៉ាងត្រឹមត្រូវ និងស្ទាត់ជំនាញតាមរយៈការប្រើប្រាស់លក្ខខណ្ឌចាំបាច់ពេលដែលចល័តពីរតាមទាន់គ្នា។

**៣ចរិយាសម្បទា .**

- យកចិត្តទុកដាក់ក្នុងការដោះស្រាយលំហាត់ក្នុងស្មារតីទទួលខុសត្រូវកម្រិតខ្ពស់តាមរយៈសកម្មភាពអនុវត្តជាក់ស្តែង។

II. **សម្ភារឧបទេស**

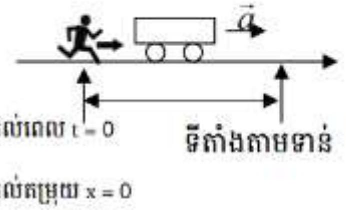
- កម្រងសំណួរ ឬបញ្ជីសំណួរ (លំហាត់)
- សន្លឹកកិច្ចការសម្រាប់សិស្ស និងសន្លឹកកិច្ចការសម្រាប់គ្រូ
- ប្លង់ក្តារខៀន
- ឯកសារ៖
    - សៀវភៅសិស្សទំព័រទី .....ដល់ទំព័រទី .....បោះពុម្ពលើកទី............ ឆ្នាំ .....
    - សៀវភៅគ្រូទំព័រទី............ ឆ្នាំ .....បោះពុម្ពលើកទី .....ដល់ទំព័រទី .....

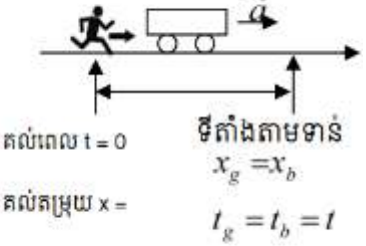
- ឧបករណ៍៖ ក្តារខៀន ហ្វឺតសរសេរ បន្ទាត់ ( ខៀវ ខ្មៅ និងក្រហម )

III. **វិធីសាស្រ្តបង្រៀន៖ វិធីបង្រៀនតាមបែបដោះស្រាយបញ្ហា**

IV. **ដំណើរការបង្រៀន និងរៀន**

| **សកម្មភាពគ្រូ** | **ខ្លឹមសារមេរៀន** | **សកម្មភាពសិស្ស** |
|---|---|---|
| **ជំហានទី១៖ ការរៀបចំរង្វបាលថ្នាក់** | | |
| -ពិនិត្យវត្តមាន និងអនាម័យ<br>-ណែនាំខ្លួន និងសំណេះសំណាល | -សកម្មភាពរៀន និងបង្រៀនចាប់ផ្តើម | -អង្គុយតាមកន្លែង<br>-ផ្តោតអារម្មណ៍ និងចាប់ផ្តើមរៀន |
| **ជំហានទី២៖ រំឭកមេរៀន( ខ្លឹមសារទាក់ទង )** | | |
| | ១.រំឭកឡើងវិញពីនិយមន័យនៃចលនាត្រង់ស្មើនិងចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើ | |
| -ដូចម្តេចដែលហៅថាចលនាត្រង់ស្មើ ? | - ចលនាត្រង់ស្មើ | -ចលនាត្រង់ស្មើជាចលនាដែលមានគន្លងត្រង់ និងមានវ៉ិចទ័រល្បឿនថេរ។ |
| -ដូចម្តេចដែលហៅថាចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើ ? | - ចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើ | -ចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើជាចលនាដែលមានគន្លងត្រង់ និងមានសំទុះថេរ។ |
| -តើចលនាត្រង់ស្មើមានសមីការចលនាយ៉ាងដូចម្តេចខ្លះ ?<br>តើចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើមានសមីការចលនាយ៉ាងដូចម្តេចខ្លះ ? | -ក្នុងចលនាត្រង់ស្មើ៖<br>$x = vt$ និង $v{:}C$ ឬ $a = 0$<br>- ចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើ៖<br>$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$ និង<br>$v = at + v_0$ ដែល $a{:}C$ | -សមីការចលនាក្នុងចលនាត្រង់ស្មើ៖ $x = vt$និង $v{:}C$ ឬ $a = 0$<br>-សមីការចលនាក្នុងចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើ៖<br>$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$ និង<br>$v = at + v_0$ ដែល $a{:}C$ |
| -កាលណាចល័តពីរតាមទាន់គ្នា តើគេទទួលបានលក្ខខណ្ឌអ្វីខ្លះ ? | -ចល័តពីរតាមទាន់គ្នា៖អាប់ស៊ីសស្មើគ្នា និងរយៈពេលស្មើគ្នា | -ចល័តពីរតាមទាន់គ្នា គេមានលក្ខខណ្ឌពីរគឺ៖ អាប់ស៊ីសស្មើគ្នា និងរយៈពេលស្មើគ្នាគិតពីគល់តម្រុយនិងគល់ពេលដូចគ្នា។ |
| **ជំហានទី៣៖ ខ្លឹមសារមេរៀនថ្មី (ខ្លឹមសារប្រធានលំហាត់ និងដំណោះស្រាយ)** | | |
| -បង្ហាញប្រធានលំហាត់ រួចសួរ៖ | លំហាត់៖ ក្មេងម្នាក់រត់ដោយវ៉ិចទ័រល្បឿន $\vec{v}$ ថេរដើម្បីតាមជិះឡាន ក្រុងមួយដែលកំពុងឈប់ស្ងៀមត្រង់ភ្លើងស្តុប។ នៅចម្ងាយ $x_0$ ពីឡាន ឡាននោះចេញដំណើរ | |

| | | |
|---|---|---|
| | ដោយសំទុះ $\vec{a}$ ថេរ។ ចូររកល្បឿនរបស់ក្មេងជាអនុគមន៍នៃ $a$ និង $x_0$ ដើម្បីបានជិះឡាននោះ។ | |
| ១. ដើម្បីដោះស្រាយលំហាត់នេះតើប្អូនៗត្រូវធ្វើដូចម្តេចខ្លះ? | -អនុវត្តជំហានទាំង៤ដើម្បីដោះស្រាយលំហាត់៖<br>**ជំហានទី១៖ សិក្សាប្រធាន** | ១.សិស្សគិត និងឆ្លើយ |
| ២. ឱ្យសិស្សអានប្រធានលំហាត់(អានស្ងាត់) រួចស្រង់សម្មតិកម្ម និងអញ្ញត្តិដោយតាំងទំហំទាំងនោះជាអក្សរកាត់ភ្ជាប់ដោយខ្នាតរបស់វា | -អាន រួចស្រង់សម្មតិកម្ម និង អញ្ញត្តិ<br>-គូររូបតាងបាតុភូតលំហាត់<br>-ស្រង់ពាក្យគន្លឹះ | ២.សិស្សអាន និងស្រង់សម្មតិកម្ម៖<br>-ក្មេងរត់ដោយរ៉ិចទ័រល្បឿនថេរ $\vec{v}(m/s)=0$<br>-ឡានឈប់ស្ងៀមត្រង់ស្តុប $\vec{v}_{0b}=0$<br>-នៅចម្ងាយ $x_0$ ពីឡាន, ឡានចេញដំណើរដោយសំទុះថេរ $\vec{a}$ ថេរ$(m/s^2)$<br>-រកល្បឿនរបស់ក្មេង $v$ ជាអនុគមន៍នៃ $a$ និង $x_0$ |
| ៣.ឱ្យសិស្សគូររូបតាងបាតុភូតលំហាត់ | **ជំហានទី២៖ វិភាគបាតុភូត**<br>-ចលនារបស់ក្មេងជាចលនាត្រង់ស្មើ<br>គេបាន៖ $x_g=v_g t_g, a_g=0$<br>-ឡានចេញដំណើរដោយសំទុះថេរ៖<br>-ចលនារបស់វាជាចលនាត្រង់ស្មុះស្មើ៖ $x_b=\frac{1}{2}at_b^2+v_{0b}+x_{0b},(\ v_{0b}=0)$<br>យក $O$ ជាគល់ពេល( $t$ ត្រូវបានចាប់ ផ្តើមវាស់) ហើយ $O$ ជាគល់តម្រុយ ( $x$ ត្រូវបានចាប់ផ្តើមវាស់)ទិសដៅ វិជ្ជមាន $(+)$ នៃ $x$ ទៅស្តាំ និងសន្មត $M$ ជាចំណុចតាមទាន់ | ៣. គូររូបតាំងបាតុភូតលំហាត់<br><br> |
| ៤.ឱ្យសិស្សស្រង់ពាក្យគន្លឹះ | ពេលក្មេងតាមទាន់ឡាន, គេបានរយៈពេលស្មើគ្នាធៀបនឹងគល់ពេល $t_g=t_b=t$ ហើយចម្ងាយស្មើគ្នាធៀបនឹងគល់តម្រុយ $x_g=x_b$ | ៤.សិស្សស្រង់ពាក្យគន្លឹះ៖<br>ល្បឿនថេរ<br>សំទុះថេរ<br>តាមទាន់ |
| | **ជំហានទី៣៖ ធ្វើប្លង់ និងដោះស្រាយ (អនុវត្តផែនការ)**<br>**ដំណោះស្រាយ** | ៥.ក្មេងរត់ដោយរ៉ិចទ័រល្បឿនថេរ៖ |

| | | |
|---|---|---|
| ៥. ផ្អែកលើសម្មតិកម្មដែលស្រង់បានខាងលើ តើលំហាត់នេះទាក់ទងនឹងខ្លឹមសារមេរៀនណាខ្លះ ? | ល្បឿនក្មេងជាអនុគមន៍នៃ $a$ និង $x_0$<br>-អាប់ស៊ីស( ចម្ងាយ )របស់ក្មេង<br>$x_g = v_g t_g = vt_g$<br>-អាប់ស៊ីស( ចម្ងាយ )របស់ឡាន<br>$x_b = \frac{1}{2}at_b^2 + x_{0b}$<br>$x_b = \frac{1}{2}at_b^2 + x_0$ ដោយអាប់ស៊ីសរបស់វាទាំងពីរស្មើគ្នា គេបាន $x_g = x_b$ | ចលនារបស់ក្មេងជាចលនាត្រង់ស្មើ គេបាន៖ $x_g v_g t_g, a_g = 0$<br>ឡានចេញដំណើរដោយសំទុះថេរ៖<br>ចលនារបស់វាជាចលនាត្រង់ស្នុះស្មើ គេបាន៖<br>$x_b = \frac{1}{2}at_b^2 +\ v_{0b} + x_{0b},$<br>$(\ v_{0b} = 0)$ |
| ៦.តើបាតុភូតលំហាត់កើតឡើងយ៉ាងដូចម្តេច ? ប៉ុន្មានដំណាក់កាល ?ដំណាក់កាលនីមួយៗត្រូវនឹងរូបមន្តណា ? | នាំឱ្យ៖<br>$vt_g = \frac{1}{2}at_b^2 + x_0,\ t_g = t_b = t$<br>$vt = \frac{1}{2}at^2 + x_0$<br>$\frac{1}{2}at^2 - vt + x_0 = 0$<br>ជាសមីការដឺក្រេទី២ អញ្ញត្តិ $t$ វាមានឫសពីរ។<br>ដោយក្មេង និងឡានជួបគ្នាតែ ១ដងនៅលើផ្លូវ នោះរយៈពេលនោះ ឫសសមីការខាងលើត្រូវមានតម្លៃដូចគ្នា។ | ៦.កំណត់យក $O$ ជាគល់ពេល ($t$ ត្រូវបានចាប់ ផ្តើមវាស់) ហើយ $O$ ជាគល់តម្រុយ ( $x$ ត្រូវបានចាប់ផ្តើមវាស់ )ទិសដៅវិជ្ជមាន (+)នៃ $x$ ទៅស្តាំ និងសន្មត $M$ ជាចំណុចតាមទាន់ពេលក្មេងតាមទាន់ឡាន, គេបានរយៈពេលស្មើគ្នាធៀបនឹងគល់ពេល $t_g = t_b = t$ ហើយចម្ងាយស្មើគ្នាធៀបនឹងគល់តម្រុយ $x_g = x_b$ |
| ៧. ចូរគូរដ្យាក្រាមលម្អិតតាំងបាតុភូត ឬដំណាក់កាលនីមួយៗនៃបាតុភូត ។ | តាមគណិតវិទ្យា សមីការខាងលើមានឫសឌុប។ គេបាន<br>$\Delta = 0$ ឬ $b^2 - 4ac = 0$<br>$(-v)^2 - 4\frac{1}{2}ax_0 = 0$, គេទាញបាន $v = \sqrt{2ax_0}$ បើស្គាល់តម្លៃ $a$ និង $x_0$ គេអាចរកតម្លៃ $v$ បាន។ | ៧ គូរដ្យាក្រាមលម្អិត៖<br><br> |
| ៨. តើប្អូនៗដោះស្រាយលំហាត់នេះបានយ៉ាងដូចម្តេច ? ដូច្នេះ ដើម្បីដោះស្រាយលំហាត់ តើប្អូនត្រូវធ្វើដូចម្តេចខ្លះ ? | **ជំហានទី៤៖ វិភាគលទ្ធផល**<br>ដើម្បីដោះស្រាយលំហាត់ គេត្រូវ៖<br>១. សិក្សា(វិភាគ )ប្រធាន<br>២. វិភាគបាតុភូតលំហាត់<br>៣.ធ្វើប្លង់( ផែនការ ) និងដោះស្រាយ<br>៤. វិភាគលទ្ធផល | **៨ ដំណោះស្រាយ**<br>រកល្បឿនក្មេង ជាអនុគមន៍នៃ $a$ និង $x_0$<br>-អាប់ស៊ីស( ចម្ងាយ )របស់ក្មេង<br>$x_g = v_g t_g, x_g = vt_g$<br>-អាប់ស៊ីស( ចម្ងាយ )របស់ឡាន<br>$x_b = \frac{1}{2}at_b^2 + x_{0b}$ |

| | | |
|---|---|---|
| | | $x_b = \frac{1}{2}at_b^2 + x_0$<br>ដោយអាប់ស៊ីសរបស់វាទាំងពីរស្មើគ្នា គេបាន $x_g = x_b$<br>នាំឱ្យ៖<br>$vt_g = \frac{1}{2}at_b^2 + x_0, t_g = t_b = t$<br>$vt = \frac{1}{2}at^2 + x_0$<br>$\frac{1}{2}at^2 - vt + x_0 = 0$<br>ជាសមីការដឺក្រេទី២ អញ្ញត្តិ $t$ វាមានឫសពីរ។<br>ដោយក្មេង និងឡានជួបគ្នាតែ ១ដងនៅលើផ្លូវ នោះរយៈពេលនោះ ឫសសមីការខាងលើត្រូវមានតម្លៃដូចគ្នា។<br>ដូច្នេះ តាមគណិតវិទ្យា សមីការខាងលើមានឫសឌុប។ គេបាន $\Delta = 0$ ឬ $b^2 - 4ac = 0$<br>$(-v)^2 - 4\frac{1}{2}ax_0 = 0$, គេទាញបាន $v = \sqrt{2ax_0}$ បើស្គាល់តម្លៃ $a$ និង $x_0$ គេអាចរកតម្លៃ $v$ បាន។<br>លទ្ធផលគឺ $v = \sqrt{2ax_0}$ ដែលក្នុងនោះ $a$ និង $x_0$ ត្រូវតែវិជ្ជមាន, ក្នុងលំហាត់ $a > 0$ ចលនាស្ទុះ $x_0 > 0$ គិតពី $O$ ទៅខាងស្តាំ( តាមទិសដៅកំណើននៃ $x$)។ ដូច្នេះ ចម្លើយ $v = \sqrt{2ax_0}$ ពិតជាត្រឹមត្រូវ។ |
| **ជំហានទី៤៖ ពង្រឹងពុទ្ធិ និងវង្វាយតម្លៃ** | | |
| -តើចលនាត្រង់ស្មើមានលក្ខណៈសម្គាល់ដូចម្តេច?<br><br>-តើចលនាត្រង់ស្មើមានសមីការ | -ចលនាត្រង់ស្មើមានលក្ខណៈសម្គាល់ដូចជា៖ គន្លងត្រង់ វ៉ិចទ័រល្បឿនថេរ ឬសំទុះស្មើសូន្យ។ | -ចលនាត្រង់ស្មើមានលក្ខណៈសម្គាល់ដូចជា៖ គន្លងត្រង់ វ៉ិចទ័រល្បឿនថេរ ឬសំទុះស្មើសូន្យ។ |

| | | |
|---|---|---|
| ចលនាយ៉ាងដូចម្ដេចខ្លះ ?<br>-តើចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើមានលក្ខណៈសម្គាល់ដូចម្ដេច ?<br><br>-តើចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើមានសមីការចលនាយ៉ាងដូចម្ដេចខ្លះ ? | -ក្នុងចលនាត្រង់ស្មើ៖ $x = vt$ និង $v: C$ ឬ $a = 0$<br>-ចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើមានលក្ខណៈសម្គាល់ដូចជា៖ គន្លងត្រង់ វ៉ិចទ័រល្បឿនប្រែប្រួល ឬសំទុះរក្សាថេរ។<br>-សមីការចលនាក្នុងចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើ៖<br>$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$ និង $v = at + v_0$ ដែល $a: C$ | -ក្នុងចលនាត្រង់ស្មើ៖ $x = vt$ និង $v: C$ ឬ $a = 0$<br>-ចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើមានលក្ខណៈសម្គាល់ដូចជា៖ គន្លងត្រង់ វ៉ិចទ័រល្បឿនប្រែប្រួល ឬសំទុះរក្សាថេរ។<br>-សមីការចលនាក្នុងចលនាត្រង់ប្រែប្រួលស្មើ៖<br>$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$ និង $v = at + v_0$ ដែល $a: C$ |
| **ជំហានទី៥៖ កិច្ចការផ្ទះ និងបណ្ដាំផ្ញើ** | | |
| -ប្អូនៗមើលមេរៀនស្ដីពីការដោះស្រាយលំហាត់ឡើងវិញ និងធ្វើការដោះស្រាយលំហាត់ខាងក្រោម៖<br>១. ឡានមួយកើនល្បឿន $30km/h$ ក្នុងរយៈពេល $30s$ លើកំណាត់ផ្លូវមួយ។ រកសំទុះរបស់ឡាន និងប្រាប់ប្រភេទចលនារបស់វា។<br>២. ពេលជួបឧបសគ្គ អ្នកបើកបរបានជាន់ហ្វ្រាំងបន្ថយល្បឿនពី $100km/h$ មកត្រឹម $80km/h$ ដោយអត្រាថេរ ក្នុងចម្ងាយផ្លូវ $80m$។ គណនាសំទុះរបស់ឡាន។ | លំហាត់៖<br>១. ឡានមួយកើនល្បឿន $30km/h$ ក្នុងរយៈពេល $30s$ លើកំណាត់ផ្លូវមួយ។ រកសំទុះរបស់ឡាន និងប្រាប់ប្រភេទចលនារបស់វា។<br>២. ពេលជួបឧបសគ្គ អ្នកបើកបរបានជាន់ហ្វ្រាំងបន្ថយល្បឿនពី $100km/h$ មកត្រឹម $80km/h$ ដោយអត្រាថេរ ក្នុងចម្ងាយផ្លូវ $80m$។ គណនាសំទុះរបស់ឡាន។ | -សិស្សស្ដាប់ និងកត់លំហាត់ |

# កិច្ចតែងការបង្រៀនគំរូទី២

កាលបរិច្ឆេទ ២៥៦៤.ស.៖ ថ្ងៃ ខែ ឆ្នាំជូត ទោស័ក ព

ត្រូវនឹងថ្ងៃទី ខែ ឆ្នាំ២០២០

មុខវិជ្ជា **៖រូបវិទ្យា**

ថ្នាក់ទី **៖១១**

ជំពូកទី១ **៖អគ្គិសនី**

មេរៀនទី១ **៖បន្ទុកអគ្គិសនី និងដែនអគ្គិសនី**

រយៈពេល ៥០នាទី ៖

ចំណុចដែលត្រូវបង្រៀន

- កន្សោមអាំងតង់ស៊ីតេកម្លាំងអគ្គិសនី (ច្បាប់គូឡុំ)
- ដែនអគ្គិសនី(និយមន័យ)
- លំនឹងនៃកម្លាំង

## I. **វត្ថុបំណង**

### ១វិជ្ជាសម្បទា .

- សរសេរកន្សោមអាំងតង់ស៊ីតេកម្លាំងអគ្គិសនីនិងឱ្យនិយមន័យដែនអគ្គិសនី (ច្បាប់គូឡុំ) ឡើងវិញតាមរយៈការរំឭកឡើងវិញរបស់គ្រូ។

### ២បំណិនសម្បទា .

- អនុវត្តកម្លាំងអេឡិចត្រូស្តាទិច $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{|q_1 \times q_2|}{r^2}$ និងដែនអគ្គិសនី $E = \frac{F}{|q|}$ (និយមន័យខាងលើ) បានត្រឹមត្រូវ និងស្ទាត់ជំនាញតាមរយៈសកម្មភាពដោះស្រាយលំហាត់ជាក់ស្តែង។
- ប្រើប្រាស់លក្ខខណ្ឌលំនឹងនៃកម្លាំងក្នុងការដោះស្រាយលំហាត់បានយ៉ាងត្រឹមត្រូវ និងស្ទាត់ជំនាញតាមរយៈលំហាត់ក្នុងផ្នែកអេឡិចត្រូស្តាទិច។

### ៣ចរិយាសម្បទា .

- យកចិត្តទុកដាក់ក្នុងការដោះស្រាយលំហាត់ក្នុងស្មារតីទទួលខុសត្រូវកម្រិតខ្ពស់តាមរយៈសកម្មភាពអនុវត្តជាក់ស្តែង។

## II. **សម្ភារឧបទេស**

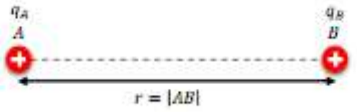
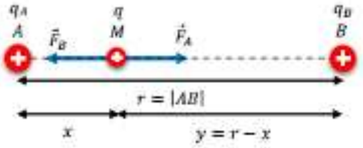
- កម្រងសំណួរ ឬបញ្ជីសំណួរ (លំហាត់)
- សៀវភៅសិស្សទំព័រទី............ ឆ្នាំ .....បោះពុម្ពលើកទី .....ដល់ទំព័រទី .....
- សៀវភៅគ្រូទំព័រទី............ ឆ្នាំ .....បោះពុម្ពលើកទី .....ដល់ទំព័រទី .....
- ក្ដារខៀន ហ្វឺតសរសេរ បន្ទាត់ ( ខៀវ ខ្មៅ និងក្រហម)

III. **វិធីសាស្ត្របង្រៀន៖ វិធីបង្រៀនតាមបែបដោះស្រាយបញ្ហា**

IV. **ដំណើរការបង្រៀន និងរៀន**

| **សកម្មភាពគ្រូ** | **ខ្លឹមសារមេរៀន** | **សកម្មភាពសិស្ស** |
|---|---|---|
| **ជំហានទី១៖** ការរៀបចំថ្នាក់ (៣នាទី) | | |
| -ពិនិត្យអវត្តមាន អនាម័យ និងឯកសណ្ឋាន<br>-ណែនាំខ្លួន និងសំណេះសំណាល | -ការរៀបចំការបង្រៀន និងរៀនឱ្យមានសណ្តាប់ធ្នាប់<br>-សកម្មភាពរៀន និងបង្រៀនចាប់ផ្តើម | -អង្គុយតាមកន្លែង<br>-ផ្តោតអារម្មណ៍ និងចាប់ផ្តើមរៀន |
| **ជំហានទី២៖** រំឭកមេរៀន(ខ្លឹមសារទាក់ទង) (៧នាទី) | | |
| -តើអាំងតង់ស៊ីតេនៃកម្លាំងអគ្គិសនីក្នុងច្បាប់គូឡំមានរូបមន្តសរសេរដូចម្តេច?<br><br>-ចូរនិយាយពីអន្តរកម្មរវាងបន្ទុកអគ្គិសនី។<br><br>-ដូចម្តេចដែលហៅថាដែនអគ្គិសនី? មានរូបមន្តដូចម្តេច?<br><br>-ចំណុចរូបធាតុមួយរងនូវកម្លាំងពីរ តើក្នុងលក្ខខណ្ឌណាដែលវាមានលំនឹង? | -រំឭកឡើងវិញពីកន្សោមអាំងតង់ស៊ីតេកម្លាំងអគ្គិសនីក្នុងច្បាប់គូឡំ និងនិយមន័យដែនអគ្គិសនី | $F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{\lvert q_1\times q_2\rvert}{r^2}$ (ក្នុងសុញ្ញកាស ឬខ្យល់)<br>$F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{\lvert q_1\times q_2\rvert}{\varepsilon_r r^2}$ (ក្នុងមជ្ឈដ្ឋានឌីអេឡិចទ្រិចខុសពីសុញ្ញកាស)<br>-បន្ទុកអគ្គិសនីមានសញ្ញាដូចគ្នាច្រានគ្នាចេញ ហើយបន្ទុកមានសញ្ញាខុសគ្នាទាញគ្នាចូល។<br>-ដែនអគ្គិសនីជាមជ្ឈដ្ឋានលំហជុំវិញបន្ទុកអគ្គិសនីដែលធ្វើឱ្យបន្ទុកអគ្គិសនីដទៃរងនូវកម្លាំងអគ្គិសនី។ មានរូបមន្ត $E=\frac{F}{\lvert q\rvert}$<br>-ចំណុចរូបធាតុមួយមានលំនឹងលុះត្រាតែកម្លាំងទាំងពីរដែលមានអំពើលើវាមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា និងមានអាំងតង់ស៊ីតេស្មើគ្នា។ |
| **ជំហានទី៣៖** ខ្លឹមសារមេរៀនថ្មី (ខ្លឹមសារប្រធានលំហាត់ និងដំណោះស្រាយ) (២៥នាទី) | | |
| -កត់ប្រធានលំហាត់លើក្តារខៀនរួចសួរ | **ខ្លឹមសារលំហាត់**<br>លំហាត់៖ ចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីពីរ $+2\times10^{-8}$ C និង$+8\times10^{-8}$ C | សិស្សកត់ប្រធានលំហាត់ |

| | | |
|---|---|---|
| -ដើម្បីដោះស្រាយលំហាត់នេះ តើប្អូនៗត្រូវធ្វើដូចម្តេចខ្លះ? <br> -បែងចែកសិស្សជា៥ក្រុមដើម្បីដោះស្រាយលំហាត់ <br> -ឱ្យសិស្សតំណាងក្រុមណាមួយអានប្រធានលំហាត់ ហើយសិស្សដទៃទៀតមើល និងអានស្ងាត់ៗ ដោយតាងទំហំទាំងនោះជាអក្សរកាត់ភ្ជាប់ដោយខ្នាតរបស់វា <br><br> -ឱ្យសិស្សស្រង់ពាក្យគន្លឹះ <br><br> -ឱ្យសិស្សគូររូបតាងបាតុភូតលំហាត់ | ស្ថិតក្នុងខ្យល់ត្រង់ចំណុច$A$ និងចំណុច$B$ ដែល\|AB\|=r=12 cm។ <br> ក. ចូរកំណត់ទីតាំង $M$ ដើម្បីឱ្យចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនី $q$ ស្ថិតមានមានលំនឹង។ <br> ខ. ចូរគណនាតម្លៃដែនអគ្គិសនីផ្តួបត្រង់ចំណុច $M$ ។ <br> អនុវត្តជំហានទាំង៤ដើម្បីដោះស្រាយលំហាត់៖ <br> **ជំហានទី១៖ ការយល់បញ្ហា (សិក្សាប្រធានលំហាត់)** <br> -អានប្រធានលំហាត់ រួចស្រង់សម្មតិកម្ម និងសំណួរ <br> -ស្រង់ពាក្យគន្លឹះ <br> -គូររូបតាងបាតុភូតលំហាត់ <br> -រកលក្ខខណ្ឌផ្សេងៗ | -សិស្សគិត និងឆ្លើយ <br> -សិស្សចូលក្រុមតាមការបែងចែករបស់គ្រូ <br> -សិស្សអាន រួចស្រង់ <br> ***សម្មតិកម្ម*** <br> -បន្ទុកអគ្គិសនី $+2\times10^{-8}$ C ស្ថិតត្រង់ចំណុច $A$ តាងដោយ $q_A=+2\times10^{-8}$ C <br> -បន្ទុកអគ្គិសនី $+8\times10^{-8}$ C ដាក់ត្រង់ចំណុច $B$ តាងដោយ $q_B=+8\times10^{-8}$ C <br> -ចម្ងាយរវាងចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនី $q_A$ និង $q_B$ តាងដោយ $\|AB\| = r = 12\ cm$ <br> ***សំណួរ*** <br> ក. ចូរកំណត់ទីតាំង $M$ ដើម្បីឱ្យចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនី $q$ ស្ថិតមានមានលំនឹង។ <br> ខ. ចូរគណនាតម្លៃដែនអគ្គិសនីផ្តួបត្រង់ចំណុច $M$ ។ <br> -សិស្សស្រង់***ពាក្យគន្លឹះ៖*** *បន្ទុកអគ្គិសនី កម្លាំងអគ្គិសនី កម្លាំងអន្តរកម្មអគ្គិសនី មានលំនឹង និង ដែនអគ្គិសនី* <br><br> -សិស្សគូររូបតាំងបាតភូត |

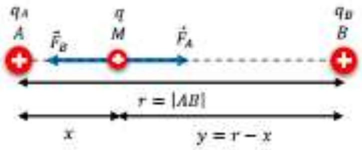
| | | |
|---|---|---|
| -ឱ្យសិស្សរកលក្ខខណ្ឌដែលមានក្នុងលំហាត់<br><br>-ឱ្យសិស្សកំណត់ទីតាំង $M$ ដើម្បីឱ្យបន្ទុក $q > 0$ មានលំនឹង | | លំហាត់<br><br>-សិស្សរក***លក្ខខណ្ឌ*** ដែលមានក្នុងលំហាត់៖ *បន្ទុកអគ្គិសនីស្ថិតនៅក្នុងខ្យល់ និង ដើម្បីឱ្យ $q > 0$ ត្រង់ $M$ មានលំនឹង*<br>-សិស្សកំណត់ទីតាំង $M$ នៅចន្លោះអង្កត់ $[AB]$ និងមានចម្ងាយ $x$ ពី $q_A$ ឬចម្ងាយ $y = r - x$ ពី $q_B$ |
| -ឱ្យសិស្សគូសដ្យាក្រាមកម្លាំងអគ្គិសនី និងសរសេររូបមន្តក្នុងច្បាប់គូឡំ ឬសមីការដែលទាក់ទងនឹងសំណួរ(ក) និងសំណួរ(ខ) | **ជំហានទី២៖ ការបង្កើតផែនការ (វិភាគបាតុភូតលំហាត់)**<br>(គូរដ្យាក្រាម ច្បាប់ សរសេររូបមន្ត ឬសមីការដែលទាក់ទង)<br>**សំណួរ(ក)**<br>-ដើម្បីឱ្យបន្ទុក $q > 0$ លុះត្រាតែវារងនូវកម្លាំងអគ្គិសនីពីរ ដែលមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា និងមានអាំងតង់ស៊ីតេស្មើគ្នា។<br>ដូច្នេះ $q > 0$ នៅត្រង់ $M$ ចន្លោះអង្កត់ $[AB]$ និងមានចម្ងាយ $x$ ពី$q_A$ ឬចម្ងាយ $y = r - x$ ពី$q_B$<br>-កម្លាំងអគ្គិសនីដែល$q_A$ បញ្ចេញលើ$q$ ៖ $F_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{\|q_A\| \times \|q\|}{x^2}$<br>-កម្លាំងអគ្គិសនីដែល$q_B$ បញ្ចេញលើ$q$ ៖ $F_B = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{\|q_B\| \times \|q\|}{y^2}$<br>-បន្ទុក $q$ មានលំនឹង<br>$\vec{F}_A + \vec{F}_A = \vec{0}$<br>$\vec{F}_A = -\vec{F}_A$<br>$F_A = F_B$ | -សិស្សគូសដ្យាកាមកម្លាំងអគ្គិសនី<br><br>និង សរសេររូបមន្តក្នុងច្បាប់គូឡំ ឬសមីការដែលទាក់ទងនឹង<br>**សំណួរ(ក)**<br>-បន្ទុកអគ្គិសនីស្ថិតក្នុងខ្យល់ឱ្យតាមច្បាប់គូឡំ៖<br>$F_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{\|q_A\| \times \|q\|}{x^2}$<br>$F_B = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{\|q_B\| \times \|q\|}{y^2}$<br>-លក្ខខណ្ឌលំនឹងនៃកម្លាំង<br>$\vec{F}_A + \vec{F}_A = \vec{0}$<br>$\vec{F}_A = -\vec{F}_A$<br>$F_A = F_B$ |
| -ឱ្យសិស្សម្នាក់ធ្វើដំណោះស្រាយលំហាត់លើក្តារខៀន និងសិស្សដទៃទៀតធ្វើរៀងខ្លួន ដើម្បីផ្ទៀងផ្ទាត់ចម្លើយគ្នា | **សំណួរ(ខ)**<br>-ដែនអគ្គិសនីផ្តួបនៅត្រង់ $M$ ឱ្យតាមនិយមន័យដែន $E = \frac{F}{\|q\|}$ | និង**សំណួរ(ខ)**<br>-តាមនិយមន័យដែនអគ្គិសនី<br>$E = \frac{F}{\|q\|}$<br>-សិស្សធ្វើដំណោះស្រាយលំហាត់រៀងៗខ្លួន |

**ជំហានទី៣៖ ការអនុវត្តផែនការ (ធ្វើប្លង់ និងដោះស្រាយសមីការ ដើម្បីទាញរកចម្លើយ)**

**ដំណោះស្រាយ**

ក. *កំណត់ទីតាំង $M$ ដើម្បីឱ្យចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនី $q$ ស្ថិតមានលំនឹង*

$M$ នៅចន្លោះអង្កត់ $[AB]$ និងមានចម្ងាយ $x$ ពីរ $q_A$ ឬចម្ងាយ $y = r - x$ ពី $q_B$ ដើម្បីឱ្យ $q > 0$ មានលំនឹង




-កម្លាំងអគ្គិសនីដែល $q_A$ បញ្ចេញលើ $q$ ៖

$$F_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{|q_A| \times |q|}{x^2}$$

$$F_A = k_e \times \frac{|q_A| \times |q|}{x^2}$$

-កម្លាំងអគ្គិសនីដែល $q_B$ បញ្ចេញលើ $q$ ៖

$$F_B = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{|q_B| \times |q|}{y^2}$$

$$F_B = k_e \times \frac{|q_B| \times |q|}{y^2}$$

-បន្ទុក $q$ មានលំនឹង

$$\vec{F}_A + \vec{F}_A = \vec{0}$$

$$\vec{F}_A = -\vec{F}_A$$

$$F_A = F_B$$

$$k_e \times \frac{|q_A| \times |q|}{x^2} = k_e \times \frac{|q_B| \times |q|}{y^2}$$

$$\frac{|q_A|}{x^2} = \frac{|q_B|}{(r-x)^2}$$

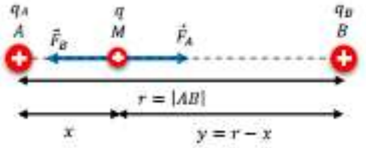
$$\frac{(r-x)^2}{x^2} = \frac{q_B}{q_A}$$

$$\left(\frac{r-x}{x}\right)^2 = \frac{q_B}{q_A}$$

$$\frac{r}{x} - 1 = \sqrt{\frac{q_B}{q_A}}$$

ក. *កំណត់ទីតាំង $M$ ដើម្បីឱ្យចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនី $q$ ស្ថិតមានលំនឹង*

$M$ នៅចន្លោះអង្កត់ $[AB]$ និងមានចម្ងាយ $x$ ពីរ $q_A$ ឬចម្ងាយ $y = r - x$ ពី $q_B$ ដើម្បីឱ្យ $q > 0$ មានលំនឹង




-កម្លាំងអគ្គិសនីដែល $q_A$ បញ្ចេញលើ $q$ ៖

$$F_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{|q_A| \times |q|}{x^2}$$

$$F_A = k_e \times \frac{|q_A| \times |q|}{x^2}$$

-កម្លាំងអគ្គិសនីដែល $q_B$ បញ្ចេញលើ $q$ ៖

$$F_B = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{|q_B| \times |q|}{y^2}$$

$$F_B = k_e \times \frac{|q_B| \times |q|}{y^2}$$

-បន្ទុក $q$ មានលំនឹង

$$\vec{F}_A + \vec{F}_A = \vec{0}$$

$$\vec{F}_A = -\vec{F}_A$$

$$F_A = F_B$$

$$k_e \times \frac{|q_A| \times |q|}{x^2} = k_e \times \frac{|q_B| \times |q|}{y^2}$$

$$\frac{|q_A|}{x^2} = \frac{|q_B|}{(r-x)^2}$$

$$\frac{(r-x)^2}{x^2} = \frac{q_B}{q_A}$$

$$\left(\frac{r-x}{x}\right)^2 = \frac{q_B}{q_A}$$

$$\frac{r}{x} - 1 = \sqrt{\frac{q_B}{q_A}}$$

$$x = \frac{r}{1+\sqrt{\frac{q_B}{q_A}}}$$

តាមសម្មតិកម្ម

$q_A = +2\times10^{-8}$ C

$q_B = +8\times10^{-8}$ C

$r = 12\ cm$

| | | |
|---|---|---|
| -ឱ្យសិស្សផ្ទៀងផ្ទាត់ចម្លើយដោយលើកតែសំណួរ(ក)មកផ្ទៀងផ្ទាត់ប៉ុណ្ណោះ(សំណួរផ្សេងៗធ្វើដូចគ្នា) | $x=\frac{r}{1+\sqrt{\frac{q_B}{q_A}}}$<br>តាមសម្មតិកម្ម<br>$q_A=+2\times10^{-8}\ C$<br>$q_B=+8\times10^{-8}\ C$<br>$r=12\ cm$<br>យើងបាន<br>$x=\frac{12\ cm}{1+\sqrt{\frac{8\times10^{-8}\ C}{2\times10^{-8}\ C}}}=4\ cm$<br>ឬ $y=12\ cm-4\ cm=8\ cm$<br>ដូចនេះ ទីតាំង $M$ មាននៅចន្លោះអង្កត់$[AB]$ ដើម្បីឱ្យ $q>0$ មានលំនឹងមានចម្ងាយ $4\ cm$ ពី $q_A$ ឬចម្ងាយ $8\ cm$ ពី$q_B$ ។<br>*ខ. គណនាតម្លៃដែនអគ្គិសនីផ្គូបត្រង់ $M$*<br>តាមនិយមន័យដែនអគ្គិសនី៖<br>$E=\frac{F}{\|q\|}$<br>ដោយ $q$ មានលំនឹងគឺរងនូវកម្លាំងអគ្គិសនីផ្គូប $F=0\ N$<br>យើងបាន $E=\frac{0}{\|q\|}=0\ N/C$<br>ដូចនេះ តម្លៃដែនអគ្គិសនីផ្គូបត្រង់ $M$ គឺ $E=0\ N/C$<br>**ជំហានទី៤៖ ការពិនិត្យឡើងវិញ (វិភាគលទ្ធផល ឬវាយតម្លៃចម្លើយថាតើចម្លើយនេះសមហេតុផលឬទេ)**<br>-ដើម្បីដឹងថាចម្លើយខាងលើសមហេតុផលឬយ៉ាងណា យើងត្រូវផ្ទៀងផ្ទាត់វាដោយផ្អែកលើ**គណិតវិទ្យា**ជាមួយនឹងច្បាប់គូឡុំ<br>$F_A=k_e\times\frac{\|q_A\|\times\|q\|}{x^2}$<br>$=(9\times10^9 Nm^2C^{-2})\frac{2\times10^{-8}\ C}{(4\times10^{-2}\ m)^2}$<br>$=(11.25\times10^4\ N/C)q$ | យើងបាន<br>$x=\frac{12\ cm}{1+\sqrt{\frac{8\times10^{-8}\ C}{2\times10^{-8}\ C}}}=4\ cm$<br>ឬ $y=12\ cm-4\ cm=8\ cm$<br>ដូចនេះ ទីតាំង $M$ មាននៅចន្លោះអង្កត់$[AB]$ ដើម្បីឱ្យ $q>0$ មានលំនឹងមានចម្ងាយ $4\ cm$ ពី $q_A$ ឬចម្ងាយ $8\ cm$ ពី$q_B$ ។<br>*ខ. គណនាតម្លៃដែនអគ្គិសនីផ្គូបត្រង់ $M$*<br>តាមនិយមន័យដែនអគ្គិសនី៖<br>$E=\frac{F}{\|q\|}$<br>ដោយ $q$ មានលំនឹងគឺរងនូវកម្លាំងអគ្គិសនីផ្គូប $F=0\ N$<br>យើងបាន $E=\frac{0}{\|q\|}=0\ N/C$<br>ដូចនេះ តម្លៃដែនអគ្គិសនីផ្គូបត្រង់ $M$ គឺ $E=0\ N/C$<br><br>-សិស្សផ្ទៀងផ្ទាត់ចម្លើយដោយគណនាតម្លៃ $F_A$និង $F_B$<br>$F_A=k_e\times\frac{\|q_A\|\times\|q\|}{x^2}$<br>$=(9\times10^9 Nm^2C^{-2})\frac{2\times10^{-8}\ C}{(4\times10^{-2}\ m)^2}$<br>$=(11.25\times10^4\ N/C)q$<br><br>$F_B=k_e\times\frac{\|q_B\|\times\|q\|}{y^2}$<br>$=(9\times10^9 Nm^2C^{-2})\frac{8\times10^{-8}\ C}{(8\times10^{-2}\ m)^2}$<br>$=(11.25\times10^4\ N/C)q$<br>(ត្រឹមត្រូវ) |

| | | |
|---|---|---|
| | $F_B = k_e \times \frac{\lvert q_B \rvert \times \lvert q \rvert}{y^2}$<br>$= (9\times10^9 \text{Nm}^2\text{C}^{-2}) \frac{8\times10^{-8} \text{ C}}{(8\times10^{-2}\ m)^2}$<br>$= (11.25\times10^4 \text{ N/C})q$<br>(ត្រឹមត្រូវ) | |
| **ជំហានទី៤៖ ពង្រឹងពុទ្ធិ និងវាយតម្លៃ (១០នាទី)** | | |
| -បើបន្ទុកអគ្គិសនីមួយរងនូវកម្លាំងអគ្គិសនីពីរ តើក្នុងលក្ខខណ្ឌណាដែលបន្ទុកអគ្គិសនីនេះមានលំនឹង?<br>-ចុះប្រសិនបើនៅត្រង់ទីតាំង $M$ ជាបន្ទុកអគ្គិសនី $q$ អវិជ្ជមាន<br>វិញ។<br>១. តើកម្លាំងអគ្គិសនីដែល$q_A$ និង $q_B$ មានអំពើលើ $q$ មានទិសដៅដូចម្តេចវិញ? និងជាកម្លាំងអគ្គិសនីដូចម្តេច?<br>២. តើ $q$ មានលំនឹងដែរឬទេ? ហេតុអ្វី? ចូរពន្យល់។<br>៣. តើចម្លើយដែលមានក្នុងសំណួរ(ក) និង(ខ)ដូចម្តេច? | | -បន្ទុកអគ្គិសនីមានលំនឹងលុះត្រាតែកម្លាំងទាំងពីរដែលមានអំពើលើបន្ទុកនោះមានអាំងតង់ស៊ីតេស្មើគ្នានិងមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា។<br>១. $\vec{F}_A$ និង $\vec{F}_B$ មានទិសដៅផ្ទុយពីមុន និងជាកម្លាំងអគ្គិសនីទំនាញចូល។<br>២. $q$ នៅតែមានលំនឹងដដែលពីព្រោះ $\vec{F}_A$ និង $\vec{F}_B$ មានទិសដៅផ្ទុយគ្នា និងមានអាំងតង់ស៊ីតេស្មើគ្នា។<br>៣. ចម្លើយដែលមានក្នុងសំណួរ(ក) និង(ខ)ដដែល។ |
| **ជំហានទី៥៖ កិច្ចការផ្ទះ និងបណ្តាំផ្ញើ (៥នាទី)** | | |
| -គ្រូសរសេរប្រធានលំហាត់កិច្ចការផ្ទះលើក្តារខៀន<br>-ចូរប្អូនៗមើលមេរៀន និង ធ្វើដំណោះស្រាយលំហាត់កិច្ចការផ្ទះ។ | ចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីពីរ $+2\times10^{-8}$ C និង $+8\times10^{-8}$ C ស្ថិតក្នុងខ្យល់ត្រង់ចំណុច$A$ និងចំណុច$B$ ដែល$\lvert AB \rvert = r = 12$ cm ។ កំណត់ទីតាំង $M$ ដើម្បីឱ្យចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនី $q$ វិជ្ជមានមានលំនឹង។ | -សិស្សកត់លំហាត់កិច្ចការផ្ទះ<br><br>-សិស្សស្តាប់ និងអនុវត្តតាម |

# កិច្ចតែងការបង្រៀនគំរូទី៣

កាលបរិច្ឆេទ ៖ ថ្ងៃ ខែ ឆ្នាំ ជូត ទោស័ក ព.ស. ២៥៦៤
ត្រូវនឹងថ្ងៃទី ខែ ឆ្នាំ២០២២

មុខវិជ្ជា ៖ រូបវិទ្យា

ថ្នាក់ទី ៖ ១២

ជំពូកទី៣ ៖ អគ្គិសនី និងម៉ាញេទិច

មេរៀនទី១ ៖ ដែន និងកម្លាំងម៉ាញេទិច

រយៈពេល ៖ ៥០នាទី

ចំណុចដែលត្រូវបង្រៀន

៣. ដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តអគ្គិសនី

៣.៣ ដែនម៉ាញេទិចនៃសូលេណូអ៊ីត

## I. វត្ថុបំណង

### ១. វិជ្ជាសម្បទា

- សិស្សពោលសូលេណូអ៊ីត (បូប៊ីនវែងដែលមានប្រវែងធំជាង 5ដងនៃកាំស្នៀ) បានត្រឹមត្រូវតាមរយៈសំណួរបំផុសរបស់គ្រូ។

### ២. បំណិនសម្បទា

- សិស្សដោះស្រាយលំហាត់ដោយប្រើរូបមន្ត៖ $N = \frac{l}{d}$ , $l_1 = \pi . D . N$ , $R = \rho \frac{l_1}{A}$ , $B = \mu_0 . n . I$ បានត្រឹមត្រូវតាមរយៈការពិភាក្សាគ្នា។
- សិស្សសរសេររូបមន្តក្រលាផ្ទៃមុខកាត់ខ្សែចំលង $A = \frac{\pi d^2}{4}$ បានត្រឹមត្រូវតាមរយៈការពិភាក្សាគ្នា។

### ៣. ចរិយាសម្បទា

- សិស្សមានចំណាប់អារម្មណ៍ និងទម្លាប់ក្នុងការដោះស្រាយលំហាត់រូបវិទ្យា

## II. សម្ភារឧបទេស

- កម្រងសំណួរ ឬបញ្ជីសំណួរ (លំហាត់)
- សៀវភៅសិស្សទំព័រទី......ដល់ទំព័រទី.......បោះពុម្ពលើកទី.......ឆ្នាំ.......
- សៀវភៅគ្រូទំព័រទី......ដល់ទំព័រទី.......បោះពុម្ពលើកទី.......ឆ្នាំ.......
- ក្ដារខៀន ហ្វឺតសរសេរ បន្ទាត់ (ខៀវ ខ្មៅ និងក្រហម)

## III. វិធីសាស្ត្របង្រៀន៖ វិធីបង្រៀនតាមបែបដោះស្រាយបញ្ហា

## IV. ដំណើរការបង្រៀន និងរៀន

| សកម្មភាពគ្រូ | ខ្លឹមសារ | សកម្មភាពសិស្ស |
|---|---|---|
| -ត្រួតពិនិត្យថ្នាក់រៀន(បរិស្ថានថ្នាក់)<br>-ពិនិត្យអវត្តមាន | - <u>ជំហានទី១</u> ៖(៣នាទី)<br>(លំនឹងថ្នាក់) | -សិស្សចូលថ្នាក់<br>-ប្រធានថ្នាក់ស្រង់អវត្តមាន |

| | | |
|---|---|---|
| -ឱ្យសិស្សអានលំហាត់សារចុះសារឡើងចំនួន៣នាក់។<br>-សំណួរបំផុស<br>១.តើដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋានជាអ្វី?<br>២.ដូចម្តេចដែលហៅថារេស៊ីស្តង់របស់បូប៊ីន? | -ជំហានទី២ ៖(៥នាទី)<br>(រំឭកមេរៀនចាស់) | -សិស្សចាប់ផ្តើមអានលំហាត់ និងសិស្សដទៃទៀតស្តាប់ និងត្រិះរិះគិត។<br>១.ដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋានជាដែនមានទិស និងទិសដៅដូចគ្នា និងតម្លៃដែនស្មើៗគ្នា។<br>២.រេស៊ីស្តង់របស់បូប៊ីនជារេស៊ីស្តង់ខ្សែចម្លងដែលយកមករុំធ្វើជាបូប៊ីន។ |
| -គ្រូកត់ប្រធានលំហាត់ដាក់លើក្តារខៀន<br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br>-ឱ្យសិស្សពីរបីនាក់អានប្រធានលំហាត់ឮខ្លាំងៗ និងសិស្សដ៏ទៃទៀតអានខ្សឹបៗ<br><br>-ឱ្យសិស្សស្រង់ពាក្យគន្លឹះដែលពួកគេមិនយល់៖ សូលេ | -ជំហានទី៣ ៖(៣០នាទី)<br>(ខ្លឹមសារលំហាត់)<br>លំហាត់៖ សូលេណូអ៊ីតមួយមានប្រវែង $l = 50cm$ អង្កត់ផ្ចិត$4.0cm$ រុំដោយខ្សែចម្លងទង់ដែងមានអង្កត់ផ្ចិត $d = 1.0mm$ និងរេស៊ីស្ទីវីតេ $\rho = 1.6\mu\Omega cm$ ជាស្ពៀជាប់ៗគ្នាលើស៊ីឡាំងស្នូលខ្យល់មួយ។ គេឱ្យចរន្ត $I = 10A$ ឆ្លងកាត់។<br>១.គណនាចំនួនស្ពៀរបស់សូលេណូអ៊ីត។<br>២.គណនាប្រវែខ្សែចំលងដែលរុំ។<br>៣.គណនារេស៊ីស្តង់ខ្សែចម្លងដែលរុំលើសូលេណូអ៊ីត។<br>៤.គណនាដែនម៉ាញេទិច។<br>គេឱ្យ៖ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} SI$<br>**ជំហានទី១** (អានប្រធានលំហាត់សារចុះសារឡើង)<br><br>**ជំហានទី២** (រកបញ្ហាឱ្យឃើញ) ស្រង់យកពាក្យគន្លឹះ លក្ខខណ្ឌ | -សិស្សកត់ប្រធានលំហាត់ដាក់លើក្តារខៀន<br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br>-សិស្សអានលំហាត់ឮខ្លាំងៗ និងសិស្សដ៏ទៃទៀតអានខ្សឹបៗ<br><br>-សិស្សស្រង់ពាក្យគន្លឹះដែលពួកគេមិនយល់៖ សូលេណូអ៊ីត ដែនម៉ាញេទិច ស៊ីឡាំង |

| | | |
|---|---|---|
| ណូអ៊ីត ដែនម៉ាញេទិចស៊ីឡាំង<br>-( ឱ្យសិស្សសួរគ្នាពីពាក្យគន្លឹះទាំងនេះដើម្បីយល់ខ្លឹមសារនៃពាក្យគន្លឹះទាំងនេះ បើមិនយល់ទើបគ្រូផ្តល់តម្រុយ)<br><br>-ឱសិស្សរកលក្ខខណ្ឌដែលកើតមានក្នុងលំហាត់នេះ៖ *ស្ពូលខ្យល់ , រុំជាស្នៀជាប់ៗគ្នា , មិនគិតកម្រាស់អ៊ីសូឡង់របស់ខ្សែចម្លង*<br>-ឱ្យសិស្សស្រង់សម្មតិកម្ម (បម្រាប់) និងសំណួរដែលសួរ<br><br>-ឱ្យសិស្សពិនិត្យមើលខ្នាតឱ្យបានត្រឹមត្រូវក្នុងសំណួរនីមួយៗ | ផ្សេងៗ<br><br>សម្មតិកម្ម (បម្រាប់) និងសំណួរដែលសួរ | ពាក្យគន្លឹះ<br>-សូលេណូអ៊ីត (ជាបូប៊ីនវែងដែលមានប្រវែងធំជាង ៥ដងនៃកាំស្នៀ)<br>-ដែនម៉ាញេទិចរបស់សូលេណូអ៊ីត (ជាដែនឯកសណ្ឋាន ជាដែនមានទិសដៅដូចគ្នា)<br>-ស៊ីឡាំងជាបំពង់មួយដែលមានមុខកាត់ជារង្វង់។<br>-សិស្សរកលក្ខខណ្ឌដែលកើតមានក្នុងលំហាត់នេះ៖ *ស្ពូលខ្យល់ រុំជាស្នៀជាប់ៗគ្នា មិនគិតកម្រាស់អ៊ីសូឡង់របស់ខ្សែចម្លង*<br><br>-សិស្សស្រង់សម្មតិកម្ម(បម្រាប់) និងសំណួរ<br>**សម្មតិកម្ម និងសំណួរ**<br>ប្រវែងសូលេ. $l = 50cm$<br>អង្កត់ផ្ចិតសូលេ.$D = 4.0cm$<br>អង្កត់ផ្ចិតខ្សែចម្លង $d = 1.0mm$<br>រេស៊ីស្ទីវីតេ $\rho = 1.6\mu\Omega cm$<br>ចរន្ត $I = 10A$<br>$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} SI$<br>១.ចំនួនស្នៀសូលេ. $N$ ?<br>២.ប្រវែងខ្សែចម្លង $l_1$ ?<br>៣.រេស៊ីស្តង់ខ្សែ $R$ ?<br>៤.ដែនម៉ាញេទិច $B$ ?<br>-សិស្សបំបែកខ្នាត<br>$l = 50cm = 5.0 \times 10^{-1}m$<br>$D = 4.0cm = 4.0 \times 10^{-2}m$<br>$d = 1.0mm = 10^{-3}m$<br>$\rho = 1.6\mu\Omega cm = 1.6 \times 10^{-8}m$ |

| | | |
|---|---|---|
| -ឱ្យសិស្សបង្ហាញពីភាពខុសគ្នារវាងចំនួនស្ពៀសរុប ($N$) និងចំនួនស្ពៀក្នុងមួយខ្នាតប្រវែង($n$) | | -ចំនួនស្ពៀសរុបជាចំនួនស្ពៀទាំងអស់ដែលជាប់ៗគ្នាលើសូលេណូអ៊ីត។ ឯចំនួនស្ពៀក្នុងមួយខ្នាតប្រវែងគឺគិតតែក្នុងមួយម៉ែត្រប៉ុណ្ណោះ។ |
| -ឱ្យសិស្សគូររូបសូលេណូអ៊ីត និងសរសេរសមីការ ឬរូបមន្ត ដែលទាក់ទងនឹងសំណួរ(ក) $N$ (ខ) $l_1$ (គ) $R$ (ឃ) $B$ ។ | **ជំហានទី៣.** គូរដ្យាក្រាម និងសរសេរសមីការដែលទាក់ទង | -សិក្ខាកាមគូររូបសូលេណូអ៊ីត និងសរសេរសមីការ ឬរូបមន្ត ដែលទាក់ទង <br>$l = dN$ (1)<br>$n = \frac{N}{l}$ (2)<br>$l = (d + 2e)N$ (3)<br>$l_1 = \pi DN$ (4)<br>$R = \rho \frac{l_1}{A}$ (5)<br>$B = \mu_0 \frac{N}{l} I = \mu_0 \frac{I}{d}$ (6) |
| -សិស្សផ្ទៀងផ្ទាត់រូបមន្តជាមួយនឹងសម្មតិកម្ម និងសំណួរ(ក) $N$ (ខ) $l_1$ (គ) $R$ (ឃ) $B$ ? រួចគូសចោលរូបមន្តដែលមិនទាក់ទង | | -សិស្សផ្ទៀងផ្ទាត់រូបមន្តជាមួយនឹងសម្មតិកម្ម៖ សំណួរ(ក)ដើម្បីទាញរក $N$ ប្រើតែសមីការ(1)។ សំណួរ(ខ) ប្រើសមីការ(4) សំណួរ(គ) ប្រើសមីការ(6) |
| -ឱ្យសិស្សបួននាក់ឡើងដោះស្រាយលំហាត់លើក្ដារខៀនបន្តបន្ទាប់គ្នា និងមានបំរុងប្រយ័ត្នក្នុងការគណនាលេខ។ | | -សិស្សឡើងដោះស្រាយលំហាត់<br>១.គណនាចំនួនស្ពៀបូប៊ីននេះ (ស្ពៀ)<br>តាមរូបមន្ត $N = \frac{l}{d}$<br>បើ $l = 50cm = 5.0 \times 10^{-1}m$<br>$d = 1.0mm = 10^{-3}m$<br>នាំឱ្យ $N = \frac{5.0\times10^{-1}}{10^{-3}} = 500$ស្ពៀ<br>ដូចនេះ $N = 500$ស្ពៀ<br>២.គណនាប្រវែងខ្សែ $l_1$ $(m)$<br>តាមរូបមន្ត $l_1 = \pi DN$<br>បើ $D = 4.0cm = 4.0 \times 10^{-2}m$<br>$l_1 = \pi.4.10^{-2}.500 = 20\pi$ |

| | | |
|---|---|---|
| -ឱ្យសិស្សផ្ទៀងផ្ទាត់ចម្លើយដោយលើកតែសំណួរ(ក)មកផ្ទៀងផ្ទាត់(សំណួរផ្សេងៗធ្វើដូចគ្នា) | **ជំហានទី៤.**ដោះស្រាយសមីការដើម្បីទាញរកចម្លើយ៖<br>ដំណោះស្រាយ<br>១. $N = \frac{l}{d} = 500$ស្ពៀ<br>២.$l_1 = \pi.D.N = 62.8m$<br>៣. $R = \rho\frac{l_1}{A} = 12.8\Omega$<br>៤. $B = \mu_0.n.I$<br>$= 12,56.10^{-3}T$<br><br>ជំហានទី៥.វង្វាយតម្លៃចម្លើយ(តើចម្លើយនេះសមហេតុផលឬទេ?)៖ ដើម្បីដឹងវាសមហេតុផលឬយ៉ាងណា យើងត្រូវផ្ទៀងផ្ទាត់ដោយផ្អែកក្នុង៖<br>❖ ក្នុងគណិតវិទ្យា<br>$l = dN = (10^{-3})(500)$<br>$= 0.50m = 50cm$(ត្រឹមត្រូវ) | នាំឱ្យ $l_1 = 3,14 \times 20 = 62,8m$<br>ដូចនេះ $l_1 = 62,8m$<br>៣.គណនារេស៊ីស្តង់បូប៊ីន<br>តាមរូបមន្ត $R = \rho\frac{l_1}{A}$<br>ដោយ<br>$\rho = 1.6\mu\Omega cm = 1.6 \times 10^{-8}m$<br>តែ $A = \frac{\pi d^2}{4}, d = 10^{-3}m$<br>នាំឱ្យ $A = \frac{\pi(10^{-3})^2}{4}$<br>$= \frac{\pi}{4}.10^{-6}m^2$<br>នាំឱ្យ $R = 1.6 \times 10^{-8} \times 8$<br>$= 12,8 \times 10^{-1}\Omega = 1,28\Omega$<br>ដូចនេះ $R = 1,28\Omega$<br>៤.គណនាដែនម៉ាញេទិចស្វ. $B(T)$<br>តាមរូបមន្ត $B = \mu_0.n.I$<br>ដោយ $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}SI$<br>$I = 10A$<br>នាំឱ្យ $n = \frac{1}{d} = \frac{1}{10^{-3}} = 10^3$ ស្ពៀ/$n$<br>យើងបាន<br>$B = 4\pi \times 10^{-7} \times 10^3 \times 10$<br>$= 4\pi \times 10^{-3} = 12.56 \times 10^{-3}T$<br>ដូចនេះ $B = 12.56 \times 10^{-3}T$<br>-សិស្សផ្ទៀងផ្ទាត់ចម្លើយដោយទាញរក $l$ ពីសមីការ(1)<br>$l = dN = (10^{-3})(500)$<br>$= 0.50m = 50cm$(ត្រឹមត្រូវ) |

| | | |
|---|---|---|
| -សួរសិស្សនូវសំណួរខាងក្រោម<br>១.តើសូលេណូអ៊ីតជាអ្វី?<br>២.ចូរប្អូនសរសេររូបមន្តសរុបរបស់សូ.?<br>៣.សរសេររូបមន្តប្រវែងខ្សែដែលរុំលើស៊ីឡាំង?<br>៤.សរសេររូបមន្តរេស៊ីស្តង់របស់ខ្សែចម្លងអាស្រ័យនឹងធម្មជាតិរបស់ខ្សែចម្លង?<br>៥.សិស្សសរសេររូបមន្តដែនម៉ាញេទិចត្រង់ផ្ចិត O នៃសូលេណូអ៊ីត?<br>៦.ក្រលាផ្ទៃរង្វង់មានរូបមន្តដូចម្តេច? | <u>**ជំហានទី៤**</u>៖ ពង្រឹងពុទ្ធិ (៧ នាទី) | ១.សិស្សឆ្លើយ<br>២. $N = \frac{l}{d}$<br>៣. $l_1 = \pi . D . N$<br>៤. $R = \rho \frac{l_1}{A}$<br>៥. $B = \mu_0 . n . I$<br>៦. $A = \frac{\pi d^2}{4}$ |
| -ពេលប្អូនៗត្រឡប់ទៅផ្ទះសូមធ្វើលំហាត់នេះសាឡើងវិញ អានមេរៀន និងធ្វើលំហាត់បន្ថែមក្នុងសៀវភៅអត្តបទទំព័រ...ផង។ | <u>**ជំហានទី៥៖**</u>(បណ្តាំធ្វើកិច្ចការផ្ទះ) | -សិស្សស្តាប់ និងកត់ទំព័រតាមដោយណែនាំរបស់គ្រូ។ |

# មេរៀនទី៥ ៖ តុក្កតាគំនិត

## ៥.១ ការណែនាំអំពីតុក្កតាគំនិត

វិធីបង្រៀនមួយនៃគោលវិធីសិស្សមជ្ឈមណ្ឌលដែលទាក់ទងនឹងការយល់បញ្ញត្តិខុសរបស់សិស្សគឺ **តុក្កតាគំនិត**។

## ៥.២ តើតុក្កតាគំនិតជាអ្វី?

**តុក្កតាគំនិត**គឺជារូបគំនូរងាយៗដែលបង្ហាញពីគំនិត ឬ ទស្សនៈវិទ្យាសាស្ត្រទាក់ទងនឹងស្ថានភាពប្រចាំថ្ងៃ។

ក្នុងឧទាហរណ៍នេះគឺរៀបរាប់អំពីពិសោធន៍ទាក់ទងនឹងកុងដង់សាទ័រ។ តួអង្គតុក្កតាមានចំនួនបីព្យាយាមទស្សន៍ទាយពីលទ្ធផលនៃការពិសោធន៍នេះដោយផ្អែកលើគំនិតផ្ទាល់ខ្លួនរបស់ពួកគេអំពីតង់ស្យុងរវាងគោលទាំងពីរនៃអាម៉ាតួរបស់កុងដង់សាទ័រ។ ចម្លើយដែលអាចទៅរួចទាំងនេះគឺផ្អែកទៅលើការយល់បញ្ញត្តិខុសរបស់សិស្សជារឿយៗ។តាមរយៈរូបតុក្កតានេះ គំនិតដែលបង្ហាញមកហាក់ដូចជាងាយស្រួលសម្រាប់អ្នកសិក្សា ហើយពួកគេងាយស្រួលគិតថាតើគំនិតមួយណាស្របនឹងគំនិតផ្ទាល់ខ្លួន។

វត្ថុបំណងសំខាន់របស់តុក្កតាគំនិត គឺការបណ្ដុះគំនិតសិស្សឱ្យចេះគិត ពិភាក្សា លើកសំណួរថ្មីៗ សង្កេត និងលើកហេតុផលជំទាស់។ តុក្កតាគំនិតមានលក្ខណៈលើសពីសំណួរពហុជ្រើសរើស។ តុក្កតាគំនិតជាឧបករណ៍ពញ្ញាក់ពាក់ព័ន្ធនឹងការគិត និងការរុករក។ចម្លើយទាំងអស់តំណាងឱ្យការយល់បញ្ញត្តិខុសជាញឹកញយដែលកើតឡើងចំពោះអ្នកសិក្សា និងត្រូវមានការប្រុងប្រយ័ត្នពេលរៀនក្នុងថ្នាក់។

វាជារឿងសំខាន់ដែលត្រូវចំណាំថា គ្រប់ចម្លើយដែលអាចទៅរួចទាំងអស់ក្នុងតុក្កតាគំនិត គឺមានស្ថានភាពស្មើគ្នា។ អ្នកសិក្សាត្រូវព្យាយាមជ្រើសរើសនិងកំណត់បញ្ញត្តិត្រឹមត្រូវបំផុតដែលទាក់ទង

នឹងស្ថានភាព។លំនាំនៃការប្រជែងរវាងគំនិតផ្សេងៗ គឺជាសណ្ឋានមួយដ៏សំខាន់ក្នុងការទទួលបាននូវចំណេះដឹងវិទ្យាសាស្ត្រ។ ហេតុផលនេះសមស្របសម្រាប់ការបង្រៀនកសាងចំណេះដឹងមូលដ្ឋាន។

តុក្កតាគំនិតអាចសម្រេចបាននូវវត្ថុបំណងផ្សេងៗពីគ្នា៖

- ធ្វើឱ្យគំនិតរបស់សិស្សមានភាពច្បាស់លាស់ (អាចដឹងពីការយល់បញ្ញាត្តិខុស)
- ជំរុញ និងអភិវឌ្ឍគំនិតរបស់សិស្ស
- បណ្តុះគំនិតពិភាក្សាបែបវិទ្យាសាស្ត្រ
- ផ្តល់នូវចំណុចចាប់ផ្តើមសម្រាប់ការអង្កេត(មើលវគ្គដំបូងនៃការរៀនដោយផ្អែកលើការរិះរក)
- បង្កើនការចូលរួមពាក់ព័ន្ធនិងការចាប់អារម្មណ៍
- បង្កើនការយល់បានស៊ីជម្រៅលើបញ្ញត្តិវិទ្យាសាស្ត្រ។

តើគេប្រើវិធីសាស្ត្រនេះដោយរបៀបណា?

តុក្កតាគំនិតអាចរួមបញ្ចូលជាមួយវិធីសាស្ត្របង្រៀនផ្សេងៗទៀតបាន។ ដើម្បីប្រើវិធីសាស្ត្រនេះគ្រូត្រូវ៖

១.ណែនាំប្រធានបទ និងបង្ហាញតុក្កតាដែលមានគំនិតផ្សេងៗគ្នា។

២.ស្នើសុំពេលមួយរយៈខ្លីសម្រាប់ការគិតរៀងៗខ្លួន។ ពិនិត្យមើលយោបល់ត្រឡប់ខ្លីៗ ដើម្បីដឹងពីទស្សនៈដែលមាន ឬអាចមានការបោះឆ្នោតជំនួសវិញ។

៣.លើកទឹកចិត្តឱ្យមានក្រុមពិភាក្សាតូចៗ និងប្រាប់សមាជិកក្នុងក្រុម (នាក់ ទៅ៤ សិស្ស២) ឱ្យមានការឯកភាពគ្នា ។ ការពិភាក្សាក្នុងថ្នាក់ ឬ ជាក្រុមថាតើយើងគួរអង្កេតស្ថានភាពយ៉ាងដូចម្តេចដើម្បីរកឃើញនូវជម្រើសណាមួយដែលអាចទទួលយកបាន ហើយស្ថិតក្រោមលក្ខខណ្ឌមួយណា។ ក្រុមតូចពិភាក្សាលើការរិះរក (ឧទាហរណ៍ ដូចក្នុងIBL) ។

៤.ចែករំលែកលទ្ធផលការរិះរក និងការពិភាក្សាពេញមួយថ្នាក់ រួមបញ្ចូលទាំងជម្រើសណាមួយដែលហាក់ដូចជាទទួលយកបាន និងពត៌មានបន្ថែមណាខ្លះដែលយើងត្រូវការដើម្បីឱ្យមានភាពប្រាកដប្រជា។

៥.ទាញយកគំនិតទាំងអស់គ្នា និងផ្តល់ការសង្ខេបយ៉ាងច្បាស់លាស់ពីបញ្ហាដំបូង ការរិះរក លទ្ធផល និងអ្វីៗដែលបានពីការរិះរក។

៦.ពិចារណាមើលថា តើទស្សនៈរបស់សិស្សបានផ្លាស់ប្តូរយ៉ាងដូចម្តេច ហើយអ្វីដែលបណ្តាលឱ្យសិស្សប្តូរគំនិតរបស់គេ។

តុក្កតាត្រូវបានបង្ហាញយ៉ាងច្បាស់នៅក្នុងថ្នាក់។ ការបញ្ចាំងរូបភាពតុក្កតាគឺសំខាន់ ប៉ុន្តែប្រសិនបើមិនអាចធ្វើបាន រូបភាពតុក្កតាគួរតែបោះពុម្ពសម្រាប់សិស្ស ឬគួរដាក់លើក្តារខៀន។ អាស្រ័យលើរូបត្តុកដែលអ្នកប្រើ និងរបៀបដែលអ្នកប្រើ អ្នកនឹងត្រូវការសម្ភារៈបន្ថែមទៀតដូចជាសម្ភារៈសម្រាប់ការអង្កេតពិសោធន៍បន្ថែមជាដើម។

**ឧទាហរណ៍៖**ការពិភាក្សាក្នុងថ្នាក់អំពីតង់ស្យុងរវាងអាម៉ាតួទាំងពីរនៃកុងដង់សាទ័រ

ការណែនាំជាជំហានៗ

១.បង្ហាញគុក្កតាគំនិតដល់សិស្សនិងពន្យល់ពីបរិបទ

២.ផ្តល់ពេលមួយរយៈខ្លីដល់សិស្ស ដើម្បីគិតរៀងៗខ្លួន ពេលពួកគេកំពុងអាន និងព្យាយាមឆ្លើយសំណួរ។

សំណួរដែលអាចប្រើគឺៈ

ក. តើអ្នកយល់ស្របជាមួយតួអង្គមួយណា?

ខ. តើមានគំនិតត្រឹមត្រូវលើសពី១ដែរឬទេ? ហេតុអ្វីបានជាសំណួរនេះសំខាន់? សិស្សចាំបាច់ត្រូវគិតអំពីហេតុផល ថាតើហេតុអ្វីសំណួរនេះត្រូវឬខុស? អាចថាអំណះអំណាងណាមួយត្រឹមត្រូវដោយផ្នែកតែប៉ុណ្ណោះ។

គ.ព្យាយាមពន្យល់ពីតង់ស្យុងរវាងអាម៉ាតួទាំងពីរនៃកុងដង់សាទ័រ។

៣.លើកទឹកចិត្តឱ្យពិភាក្សាក្រុម និងធ្វើការពិនិត្យយ៉ាងលឿនដើម្បីដឹងថា តើក្នុងក្រុមកំពុងធ្វើអ្វី (ដូចជាលើកដៃ ឬប្រើកាតបោះឆ្នោត)

៤.ចែករំលែកលទ្ធផល និងរៀបចំការពិភាក្សាជាមួយថ្នាក់ពេញទៅលើចម្លើយដែលអាចត្រឹមត្រូវទាំងអស់។ ប្រើសំណួរជួយសិស្សបង្កើតហេតុផលត្រឹមត្រូវ ចំពោះឧទាហរណ៍លើរូបគុក្កតាគំនិតខាងលើ សំណួរដែលអាចប្រើគឺៈ

ក.តើបន្ទុករបស់កុងដង់សាទ័រប្រែប្រួលដែរឬទេ?

ខ.តើកាប៉ាស៊ីតេកុងដង់សាទ័រប្រែប្រួលដែរឬទេ?

គ.តើបន្ទុកអគ្គិសនីលើអាម៉ាតួ កាប៉ាស៊ីតេ និងតង់ស្យុងរវាងអាម៉ាតួនៃកុងដង់សាទ័រមានទំនាក់ទំនងគ្នាយ៉ាងដូចម្តេច?

## ការពន្យល់ប្រយោគគំនិត

ចូរទុកឱ្យសិស្សពិភាក្សានិងធ្វើគម្រោងមួយអំពីរបៀបគូសយកចម្លើយត្រឹមត្រូវ។ ចម្លើយអាចរកឃើញបានដោយសារការធ្វើពិសោធន៍ ឬការប្រើប្រាស់ទ្រឹស្តី ឬការរកហេតុផលផ្សេងៗ។ការប្រើប្រាស់ទ្រឹស្តីទាក់ទងនឹងកុងដង់សាទ័រត្រូវបានអនុវត្តក្នុងរយៈពេលខ្លីភ្លាមៗដើម្បីពន្យល់រកហេតុផលនៃចម្លើយដែលត្រឹមត្រូវ។

ចំពោះគំនិតដែលថាតង់ស្យុងមិនប្រែប្រួល គឺអាចមានហេតុផលថា ដោយសារកុងដង់សាទ័រផ្ទុករួចវាមានបន្ទុកអគ្គិសនី មានតង់ស្យុងពេលស៊ក (កុងដង់សាទ័របានផ្តាច់ចេញពីប្រភពអគ្គិសនី) បន្ទះឌីអេឡិចទ្រិចចូលចន្លោះអាម៉ាតួវាមិនមានឥទ្ធិពលអ្វីលើតង់ស្យុង និងបន្ទុកអគ្គិសនីទេ ពោលគឺមិនអាចធ្វើឱ្យមានការប្រែប្រួលអ្វីទាំងអស់។

ចំពោះគំនិតដែលថាតង់ស្យុងប្រែប្រួល ដោយកើនឡើង គឺអាចមានហេតុផលថា កាលណាគេស៊កបន្ទះឌីអេឡិចទ្រិចមួយចូលចន្លោះអាម៉ាតួនៃកុងដង់សាទ័រ(បានផ្តាច់ចេញពីប្រភពអគ្គិសនី)។ ក្រោមអំពើនៃអគ្គិសនីកម្មដោយឥទ្ធិពល វាបានធ្វើឱ្យបន្ទះឌីអេឡិចទ្រិចមានបន្ទុកអគ្គិសនីដែរ។ ដូច្នេះវាបានជួយបង្កើនបន្ទុកអគ្គិសនីនៅចន្លោះអាម៉ាតួនៃកុងដង់សាទ័រ ដែលជាហេតុនាំឱ្យតង់ស្យុងរវាងអាម៉ាតួនៃកុងដង់សាទ័រកើនឡើងដែរ។

ចំពោះគំនិតដែលថាតង់ស្យុងប្រែប្រួលដោយថយចុះ គឺអាចមានហេតុផលថា កាលណាគេស៊កបន្ទះឌីអេឡិចទ្រិចចូលចន្លោះអាម៉ាតួទាំងពីរនៃកុងដង់សាទ័រ (បានផ្តាច់ចេញពីប្រភពអគ្គិសនី) នោះតម្លៃរបស់កាប៉ាស៊ីតេរបស់កុងដង់សាទ័រថយចុះ។ ប៉ុន្តែបន្ទុកលើអាម៉ាតួទាំងពីរនៃកុងដង់សាទ័រ នៅដដែលមិនប្រែប្រួលទេ ដូច្នេះបើតាមទ្រឹស្តី ឬ ទំនាក់ទំនងរវាងតង់ស្យុង កាប៉ាស៊ីតេ និងបន្ទុកអគ្គិសនីនៃកុងដង់សាទ័រ គេបានតង់ស្យុងរវាងអាម៉ាតួទាំងពីររបស់កុងដង់សាទ័រនឹងប្រែប្រួលដោយថយចុះនៅពេលគេស៊កបន្ទះឌីអេឡិចទ្រិចចូលចន្លោះអាម៉ាតួទាំងពីរនៃកុងដង់សាទ័រ។

៥.ទាញយកគំនិតទាំងអស់គ្នានិងផ្តល់ការសង្ខេបយ៉ាងច្បាស់លាស់ពីបញ្ហាដំបូង ការរិះរកលទ្ធផល និងអ្វីៗដែលបានដឹងពីការរិះរក។

៦.ពិចារណាមើលថា តើទស្សនៈរបស់សិស្សបានផ្លាស់ប្តូរយ៉ាងដូចម្តេច ហើយអ្វីដែលបណ្តាលឱ្យសិស្សដូរគំនិតរបស់គេ។

**សេចក្តីសន្និដ្ឋាន**

ការណែនាំជាជំហានៗបង្ហាញថា វាមានសារៈសំខាន់ណាស់ក្នុងការពិភាក្សាប្រយោគគំនិតនៅក្នុងតុក្កតាទាំងប្រយោគគំនិតត្រឹមត្រូវ និងមិនត្រឹមត្រូវ។ ការពញ្ញាក់ការគិតអំពីប្រយោគគំនិតដែលសិស្សចាំបាច់ត្រូវតែមាន ដើម្បីជជែកវែកញែករកហេតុផលថាហេតុអ្វីបានជាគំនិតនោះត្រឹមត្រូវ ឬមិនត្រឹមត្រូវ សាកល្បងរៀបចំការពិសោធ ដើម្បីតេស្តរកសុពលភាពរបស់ប្រយោគគំនិត និងនិយមន័យគំនិតទាំងនោះបានដោយខ្លួនឯងដោយប្រើពាក្យពេចន៍ផ្ទាល់ខ្លួនរបស់ពួកគេ។

## ៥.៣ គន្លឹះសំខាន់ៗនៃតុក្កតាគំនិត

តុក្កតាគំនិត **មិន** ចាំបាច់មាន "**ចម្លើយត្រឹមត្រូវ" តែមួយគត់** នោះឡើយ។នៅក្នុងករណី ជាច្រើនមានតែសេចក្តីសន្និដ្ឋានប្រកបដោយហេតុផលប៉ុណ្ណោះដែលពាក់ព័ន្ធ " **វាអាស្រ័យទៅលើ/ទៅតាម**... " ជាមួយនឹងប្រយោគគំនិត។សូម្បីតែស្ថានភាពធម្មតាទំនងអាចមានកត្តាស្មុគស្មាញមួយចំនួននៅពេលដែលពួកវាត្រូវបានពិនិត្យពិច័យជិតដល់។ ជារឿយៗដូចនៅក្នុងវិទ្យាសាស្ត្រពិតដែរ វិទ្យាសាស្ត្រសង្គមមិនមានចម្លើយត្រឹមត្រូវតែមួយគត់នោះឡើយ។ វាគឺជាគោលបំណងសំខាន់មួយសម្រាប់សិស្ស គ្រូ ក្នុងការទទួលបាននូវការយល់ច្បាស់លាស់នេះ។

គ្រូជាច្រើនមានបញ្ហាជាមួយនឹងវិធីសាស្ត្របង្រៀនវិទ្យាសាស្ត្រនេះ។ ការរិះគន់របស់ពួកគេថាស្ថានភាពនៅក្នុងតុក្កតាគួរតែបញ្ជាក់កាន់តែច្បាស់ជាងនេះ ព្រោះថាវាមានចម្លើយត្រឹមត្រូវតែមួយប៉ុណ្ណោះ។ វាគឺជាវត្ថុបំណងសំខាន់មួយរបស់តុក្កតាគំនិត ដែលសិស្សរៀបបង្ហាញគំនិតតាមរយៈតុក្កតាវាក៏សំខាន់ផងដែរ ដែលទុកឱ្យសិស្ស គ្រូ ជជែកវែកញែកនិងពិភាក្សាអំពីវិទ្យាសាស្ត្រ ជាជាងការផ្តល់នូវចម្លើយ "ត្រឹមត្រូវ" លឿនពេក។ ដូច្នេះ វាពិតជាសំខាន់ណាស់ក្នុងការដឹងអ្វីដែលទំនងជាចម្លើយដែលសិស្ស គ្រូអាចផ្តល់ក្នុងគោលបំណងគិតទុកមុនក្នុងផ្លូវល្អ។

## សំណួរ

១. តើអ្វីទៅជាតុក្កតាគំនិត?

២. តើវត្ថុបំណងរបស់តុក្កតាគំនិតជាអ្វី?

៣. តើតុក្កតាគំនិតអាចសម្រេចវត្ថុបំណងអ្វីខ្លះ?

៤. ចូររៀបរាប់ពីរបៀបអនុវត្តតុក្កតាគំនិតក្នុងថ្នាក់រៀន។

៥.តើការប្រើប្រាស់តុក្កតាគំនិតនៅក្នុងថ្នាក់រៀនបានផ្តល់ប្រយោជន៍ដូចម្តេចខ្លះដល់សិស្ស?

# មេរៀនទី៦ ៖ បង្គុំរេស៊ីស្តង់អគ្គិសនី

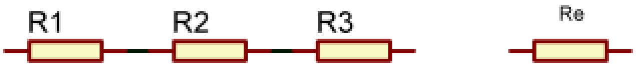
## ៦.១ រេស៊ីស្តង់ និង និមិត្តសញ្ញារបស់វា

- រេស៊ីស្តង់មានន័យថា ទប់ ឬប្រឆាំង។ រេស៊ីស្តង់អគ្គិសនីមានន័យថាជាការប្រឆាំង ឬទប់លំហូរអេឡិចត្រុងដែលហូរ ឆ្លងកាត់ខ្សែចម្លង ឬអង្គធាតុចម្លង។
- រេស៊ីស្តង់បំព្រួញ៖ 560R មានន័យថា 560 Ω

  2K5 មានន័យថា 2.5 kΩ = 2 500 Ω 45K មានន័យថា 45 kΩ = 45 000 Ω

  2M0 មានន័យថា 2.0 MΩ = 2 000 k Ω = 2 000 000 Ω

## ៦.២ បង្គុំរេស៊ីស្តង់ជាស៊េរី




- ចរន្តអគ្គិសនីដែលឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរមានតម្លៃស្មើៗគ្នា

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \cdots = I_n$$

- តង់ស្យុងផ្គួបស្មើនឹងផលបូកនៃតង់ស្យុងនីមួយៗឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរ

$$V = V_1 + V_2 + \cdots + V_n$$

- រេស៊ីស្តង់សមមូល $R_e$

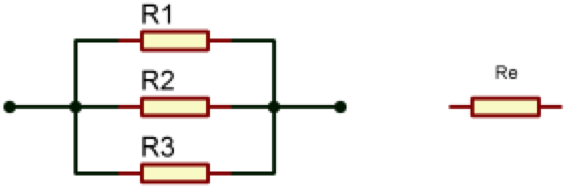
$$R_e = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

$$R_e = \sum_{i=1}^{n} R_i$$

- បើរេស៊ីស្តង់ $R_0$ ដូចគ្នាចំនួន $n$

$$R_e = nR_0$$

## ៦.៣ បង្គុំរេស៊ីស្តង់ជាខ្នែង




- តង់ស្យុងផ្គួបមានតម្លៃស្មើនឹងតង់ស្យុងដែលឆ្លងកាត់ខ្នែងនៃរេស៊ីស្តរនីមួយៗ

  $V = V_1 = V_2 = V_3 = \cdots = V_n$

- ចរន្តអគ្គិសនីផ្គួបស្មើនឹងផលបូកនៃចរន្តអគ្គិសនីដែលឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរនីមួយៗ

  $I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$

- រេស៊ីស្តង់សមមូល $R_e$

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

- បើរេស៊ីស្តង់ $R_0$ ដូចគ្នាចំនួន $n$

$$R_e = \frac{R_0}{n}$$

## ៦.៤ កម្រិតល្អៀងភាគរយ( % កម្រិតល្អៀង ) និងផលសងភាគរយ( % ផលសង )

$$\% \text{ កម្រិតល្អៀង(Error)} = \left|\frac{\text{តម្លៃតាមទ្រឹស្តី} - \text{តម្លៃតាមពិសោធន៍}}{\text{តម្លៃតាមទ្រឹស្តី}}\right| \times 100\%$$

# មេរៀនទី៧ ៖ ខួបនៃប៉ោលរ៉ឺស័រ

## ៧.១ ប៉ោលរ៉ឺស័រដេក

ពិនិត្យអង្គធាតុមួយមានម៉ាស $m$ អាចរអិលលើប្លង់ដេកគ្មានកកិត បានភ្ជាប់នឹងចុងរ៉ឺស័រមួយដូចរូបទី៧.១ ។ ដំបូងប្រព័ន្ធស្ថិតក្នុងស្ថានភាពលំនឹងត្រង់ទីតាំង $x = 0$ កាលណាគេធ្វើអោយអង្គធាតុផ្លាស់ទីទៅស្តាំរ៉ឺស័រយឺត រឺផ្លាស់ទៅឆ្វេងរ៉ឺស័ររួញ រ៉ឺស័របានបញ្ចេញកំលាំងមានអំពើលើអង្គធាតុដែលមានទិសដៅត្រឡប់មកទីតាំងលំនឹងវិញដែលគេហៅថាកំលាំងរំលឹក។ តាមច្បាប់ហ៊ុក( Hook ) គឺ

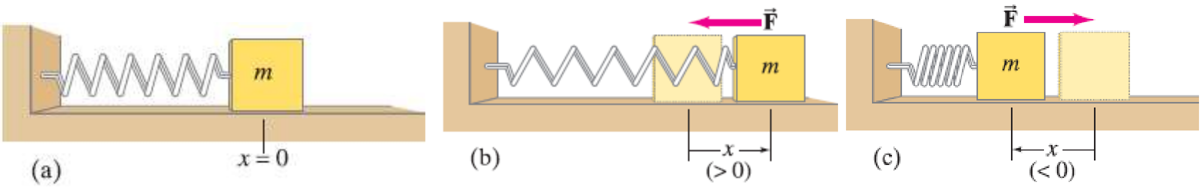
$$F = -kx \qquad (៧.១)$$

ដែល $F$ ជាកំលាំង គិតជា $N$

$k$ ជាថេរសមាមាត្រនៃរ៉ឺស័រ រឺថេរកំរាញនៃរ៉ឺស័រ គិតជា $N/m$

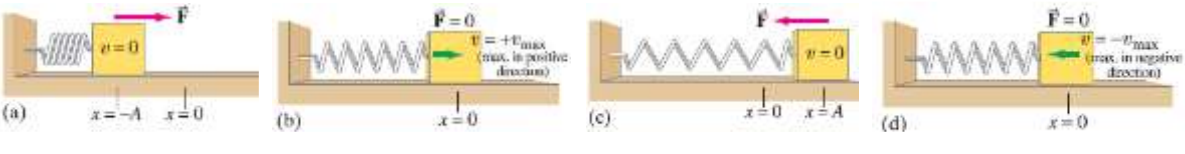
$x$ ជាបំលាស់ទីរបស់អង្គធាតុ គិតជា $m$

សញ្ញា(−) បញ្ជាក់ពីកម្លាំងមានទិសដៅផ្ទុយពីបំលាស់ទី។ ប្រសិនបើកំណត់ទិសដៅវិជ្ជមានទៅស្តាំ គេសង្កេតឃើញថាកាលណារ៉ឺស័រយឺត បំលាស់ទីវិជ្ជមាន តែកម្លាំងអវិជ្ជមាន។ កាលណារ៉ឺស័ររួញកម្លាំងគឺវិជ្ជមាន តែបំលាស់ទីគឺអវិជ្ជមាន។




**រូបទី៧.១** (a)ប្រព័ន្ធស្ថិតក្នុងស្ថានភាពលំនឹង(b)អង្គធាតុផ្លាស់ទីទៅស្តាំ(c)អង្គធាតុផ្លាស់ទីទៅឆ្វេង។

ឥឡូវពិនិត្យស្ថានភាពមួយដែលអង្គធាតុនៅខាងឆ្វេងទីតាំងលំនឹង(រ៉ឺស័ររួញ)ចម្ងាយ $x = -A$ ដែលល្បឿនស្មើសូន្យ ។ កំលាំងរ៉ឺស័របានរុញអង្គធាតុអោយផ្លាស់ទីទៅរកទីតាំងលំនឹង ហើយកំលាំងថយរហូតស្មើសូន្យត្រង់ទីតាំងនេះ ប៉ុន្តែអង្គធាតុនៅតែបន្តផ្លាស់ទីចេញពីទីតាំងលំនឹងទោះជាកំលាំងរុញនៃរ៉ឺស័រមិនមានក៏ដោយ ពីព្រោះអង្គធាតុនៅរក្សានិចលភាព។ត្រង់ទីតាំងលំនឹងនេះល្បឿនមានតម្លៃអតិបរមា ។ ខណៈវាចេញពីទីតាំងលំនឹងរ៉ឺស័របញ្ចេញកំលាំងទាញធ្វើអោយល្បឿនអង្គធាតុថយរហូតសូន្យកាលណា $x = A$ រូបទី៧.២។ បន្ទាប់មកអង្គធាតុក៏ផ្លាស់ទីមកទីតាំងលំនឹងវិញ។ ការផ្លាស់ទីទៅវិញទៅមកសងខាងទីតាំងលំនឹងនេះបង្កើតបានជាចលលនាលំយោល។




**រូបទី៧.២** ល្បឿន និងកំលាំងមានអំពើលើអង្គធាតុ នៅទីតាំងខុសៗគ្នា។

នៅពេលអង្គធាតុមានចលនាលំយោលកំលាំងតែមួយគត់ដែលមានលើអង្គធាតុគឺកំលាំងបញ្ចេញដោយរ៉ឺស័រ ចំនែកទំងន់របស់វាមានលំនឹងជាមួយកម្លាំងទ្រររបស់ប្លង់ដេក (ផលបូកស្មើសូន្យ)។ តាមច្បាប់ចលនារបស់ញូតុនគឺ

$$F = ma \quad \text{តែ} \quad a = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$F = m\frac{d^2x}{dt^2} \quad \text{ហើយ} \quad F = -kx$$

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x$$

$$\text{តាង } \omega^2 = \frac{k}{m} \quad \text{ខួប } T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \qquad (៧.២)$$

សមីការ( ៧.២ ) ជាសមីការឌីផេរ៉ង់ស្យែលលំដាប់ពពីរ។ រឺសនៃសមីការសរសេរក្រោមទម្រង់

$$x_{(t)} = a\sin\omega t \qquad (៧.៣)$$

ផ្ទៀងផ្ទាត់

$$\frac{dx}{dt} = a\omega\cos\omega t \ \text{ និង } \ \frac{d^2x}{dt^2} = -a\omega^2\sin\omega t$$

តាមសមីការ( ៧.២ ) គេបាន

$$-a\omega^2\sin\omega t + a\omega^2\sin\omega t = 0 \ \text{ ពិត}$$

$$\text{បើ } x_{(t)} = b\cos\omega t \quad \text{ជារឺសសមីការ(៧.២)} \qquad (៧.៤)$$

ផ្ទៀងផ្ទាត់

$$\frac{dx}{dt} = -b\omega\sin\omega t \ \text{ និង } \ \frac{d^2x}{dt^2} = -b\omega^2\cos\omega t$$

តាមសមីការ( ៧.២ ) គេបាន

$$-b\omega^2\cos\omega t + b\omega^2\cos\omega t = 0 \ \text{ ពិត}$$

$$\text{បើ } x_{(t)} = a\sin\omega t \text{ និង } x_{(t)} = b\cos\omega t \ \text{ ជារឺសសមីការ(៧.២)}$$

ដូច្នេះរឺសសមីការ( ៧.២ ) អាចសរសេរ

$$x_{(t)} = a\sin\omega t + b\cos\omega t \qquad (៧.៥)$$

រឺសសមីការ(៧.២) សរសេរក្រោមទម្រង់កំផ្លិច

$$x_{(t)} = c_1 e^{i\omega t} + c_2 e^{-i\omega t}$$

ផ្ទៀងផ្ទាត់

$$\frac{dx}{dt} = ic_1 \omega e^{i\omega t} - ic_2 e^{-i\omega t} \text{ និង } \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{dt}^2} = -\mathrm{c}_1 \omega^2 e^{i\omega t} - \mathrm{c}_2 \omega^2 e^{-i\omega t}$$

ជំនួសក្នុងសមីការ (៧.២) គេបាន

$$-c_1 \omega^2 e^{i\omega t} - c_2 \omega^2 e^{-\omega t} + c_1 \omega^2 e^{i\omega t} + c_2 \omega^2 e^{-i\omega t} = 0 \quad \text{ពិត}$$

សមីការ(៧.៥) $a$ និង $b$ ជាចំនួនថេរ។ គេអាចសរសេរវាអោយទាក់ទងនឹងចំនួនថេរ $A$ និង $\varphi$ ដែល

$$a = A\cos\varphi \text{ និង } b = A\sin\varphi$$

សមីការ(៧.៥) អាចសរសេរ

$$x_{(t)} = A\sin\omega t\cos\varphi + A\cos\omega t\sin\varphi$$

$$x_{(t)} = A\sin(\omega t + \varphi) \quad (៧.៦)$$

ដែល

$$A = (a^2 + b^2)^{1/2} \text{ និង } \tan\varphi = \frac{b}{a}$$

ទំនាក់ទំនងរវាង $a$ និង $b$ ជាមួយ $A$ និង $\varphi$ អាចសរសេរក្រោមទំរង់

$$a = -A\sin\emptyset \text{ និង } b = A\cos\emptyset$$

ជំនួសក្នុងសមីការ(៧.៥)

$$x_{(t)} = A\cos\omega t\cos\emptyset - A\sin\omega t\sin\emptyset$$

$$x_{(t)} = A\cos(\omega t + \emptyset)$$

សរុបមករឺសនៃសមីការ (៧.២) អាចសរសេរ

$$x_{(t)} = a\sin\omega t$$

$$x_{(t)} = b\cos\omega t$$

$$x_{(t)} = a\sin\omega t + b\cos\omega t$$

$$x_{(t)} = c_1 e^{i\omega t} + c_2 e^{-i\omega t}$$

$$x_{(t)} = A\sin(\omega t + \varphi)$$

$$x_{(t)} = A\cos(\omega t + \emptyset)$$

## ៧.២ លក្ខណៈលំយោលអាកម៉ូនិចខាយ

$x_{(t)}$ ជាអេឡុងកាស្យុង(បំលាស់ទី) គិតជា $m$ ។ ជាបំលាស់ទីក្នុងខណៈពេលណាមួយ។ ក្នុងចំណុចនេះបង្ហាញអំពីអត្ថន័យរូបវិទ្យានៃតម្លៃថេរទាំងបី $A, \omega, \varphi$ ឬ ϕ ។

### អំព្លីទុត

អំព្លីទុតរបស់លំយោលអាកម៉ូនិចគឺជាតម្លៃអតិបរមានៃបំលាស់ទីធៀបនឹងទីតាំងលំនឹង ដោយតម្លៃអតិបរមា និងអប្បរមារបស់អនុគមន៍ស៊ីនុស និងកូស៊ីនុសគឺ $+1$ និង $-1$ នោះតម្លៃអតិបរមានៃបំលាស់ទី $x$ គឺ $+A$ និង $-A$ ដែល $A$ ហៅអំព្លីទុតគិតជា $m$ ។

### ខួប

ខួបជារយៈពេលដែលធ្វើបានមួយលំយោលពេញ។ ឬជារយៈពេលដែលលំយោលធ្វើដដែលឡើងវិញ។ រយៈពេលនេះហៅថាខួបតាងដោយ $T$ ។ បើរយៈពេល $t$ ក្នុងសមីការ(៧.៦) ត្រូវបានបន្ថែម $2\pi/\omega$ ទៅជា $t' = t + \frac{2\pi}{\omega}$ សមីការ(៧.៦) អាចសរសេរ

$$x_{(t')} = A\sin\left(\omega\left(t + \frac{2\pi}{\omega}\right) + \varphi\right)$$

$$x_{(t')} = A\sin(\omega t + \varphi + 2\pi)$$

$$x_{(t')} = A\sin(\omega t + \varphi)$$

$x_{(t')} = x_{(t)}$ នេះបញ្ជាក់ថា

នៅរយៈពេល $2\pi/\omega$ ដែលបានបន្ថែមនេះជាខួបព្រោះលំយោលកើតដដែលឡើងវិញ។ ដូច្នេះខួបគឺ

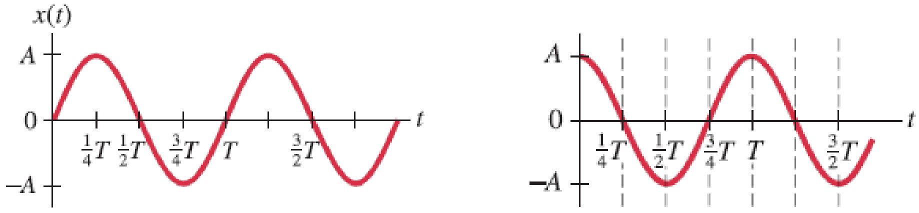
$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ ហើយ } \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

ω ហៅថាពុលសាស្យុង គិតជា $m$

### ផាស

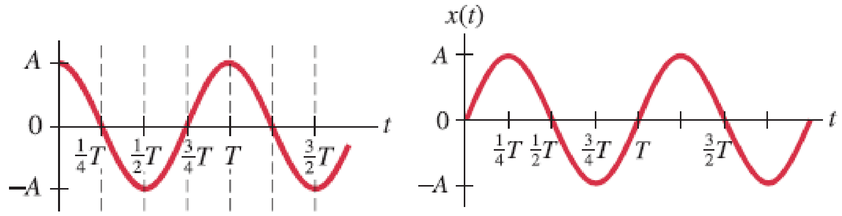
$\omega t + \varphi$ ឬ $\omega t + \emptyset$ ហៅថាផាស ហើយ φ ឬ ϕ ហៅថាផាសដើមនៃលំយោល(ផាសនៅខណៈ $t = 0$)ផាសនៃលំយោលនៅខណៈពេលណាមួយ វាបង្ហាញពីទីតាំង និងទិសដៅនៃចលនានៅខណៈពេលនោះ។ ផាសដើមអាចឱ្យយើងដឹងថាតើអង្គធាតុស្ថិតនៅចម្ងាយប៉ុន្មានពីទីតាំងលំនឹង នៅខណៈ $t = 0$ ។ ឧទាហរណ៍ បើ $\varphi = 0$ ចំពោះអនុគមន៍លំយោល $x_{(t)} = A\sin(\omega t + \varphi)$ បញ្ជាក់ថាបំលាស់ទីមានតម្លៃស្មើសូន្យនៅខណៈ $t = 0$ ។ បើ $\varphi = \pi/2$ ចំពោះអនុគមន៍លំយោល $x_{(t)} = A\sin(\omega t + \varphi)$ បញ្ជាក់ថាបំលាស់ទីមានតម្លៃអតិបរមាស្មើ$A$ នៅខណៈ $t = 0$ (រូប៧.៣)។




(ក) (ខ)

**រូប៧.៣៖** (ក)ដ្យាក្រាមលំយផលមានផាសដើម $\varphi = 0$ ។(ខ)ដ្យាក្រាមលំយោលមានផាសដើម $\varphi = \pi/2$។

ចំពោះអនុគមន៍ $x_{(t)} = A\cos(\omega t + \phi)$ បើផាសដើម $\phi = 0$ នោះបំលាស់ទីមានតម្លៃអតិបរមាស្មើនឹងអំព្លីទុតនៅ$A$ ខណៈ $t = 0$។ ហើយបើ $\phi = \pi/2$ នោះបំលាស់ទីមានតម្លៃសូន្យនៅខណៈ $t = 0$ រូប ៧.៤។

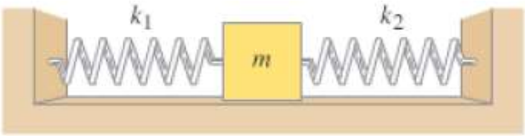



(ក) (ខ)

**រូប៧.៤៖**(ក)ដ្យាក្រាមលំយោលដែលផាសដើម $\phi = 0$ ។(ខ)ដ្យាក្រាមលំយោលដែលផាសដើម $\phi = \pi/2$ ។

**ឧទាហរណ៍៖** ម៉ាស $m$ មួយត្រូវបានភ្ជាប់ទៅនឹងរឺស័រពីរដេលមានថេរកំរាញ $k_1$ និង $k_2$ ដូចរូបខាងក្រោម។ មិនគិតកកិត ចូរបង្ហាញថាខួបនៃលំយោលនេះគឺ

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_1 + k_2}}$$




**ដំណោះស្រាយ៖**

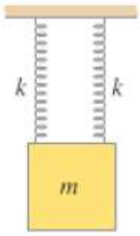
បើគេទាញម៉ាសចេញពីទីតាំងលំនឹងទៅខាងស្តាំបានចម្ងាយ $x$ នោះរឺស័រទី១ បញ្ចេញកម្លាំង $F_1 = -k_1 x$ ក្នុងទិសដៅផ្ទុយពី $x$ ។ ចំពោះរឺស័រទី២បានបញ្ចេញកម្លាំង $F_2 = -k_2 x$ ក្នុទិសដៅដូច $\vec{F_1}$ ។ កម្លាំងសរុបមានអំពើលើម៉ាស

$$F = F_1 + F_2 = -k_1 x - k_2 x = -(k_1 + k_2)x$$

ថេរកំរាញសមមូលនៃប្រ័ន្ធគឺ $k = k_1 + k_2$ ។ គេបានខួបនៃលំយោលគឺ

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{(k_1 + k_2)}}$$

**ឧទាហរណ៍៖** ម៉ាស $m$ មួយត្រូវបានគេព្យួរដោយរ៉ឺស័រពីរឯកល័ក្ខណ ដាក់ស្របគ្នាតាមទិសឈរដែលនីមួយៗមានថេរកំរាញ $k$ ដូចរូបខាងក្រោម។ រកប្រេកង់នៃលំយោល ?



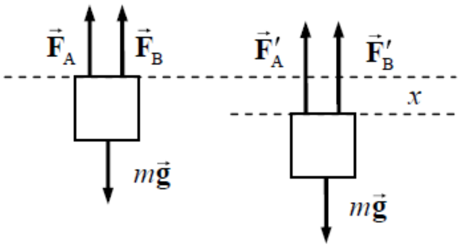

**ដំណោះស្រាយ៖**

រូបខាងក្រោមតាងដ្យាក្រាមកម្លាំងដែលមានអំពើលើម៉ាស $m$ ។ ក្នុងទីតាំងលំនឹងកម្លាំងសរុបស្មើសូន្យ។ ច្បាប់ទី២ញូតុនចំពោះចលនាតាមទិសឈរដែលទិសកំណត់យកទិសដៅវិជ្ជមានឡើងលើគឺ

$$\sum F_y = F_A + F_B - mg = 0$$

$$F_A + F_B = mg$$

ឥឡូវពីនិត្យដ្យាក្រាមតាងកម្លាំងត្រង់ទីតាំងទីមួយដែលម៉ាសត្រូវបានគេទាញចេញពីទីតាំងលំនឹងបានចម្ងាយ $x$ ។ កម្លាំងដែលបញ្ចេញដោយរ៉ឺស័រតាមទិសឈរនីមួយគឺ $-kx$ ដែល $x < 0$ ។




ច្បាប់ទី២ញូតុនសរសេរ

$$\sum F_y = F'_A + F'_B - mg$$

$$\sum F_y = F_A - kx + F_B - kx - mg$$

$$\sum F_y = -2kx + (F_A + F_B - mg) = -2kx$$

នេះជាកម្លាំងរំលឹកសរុបដែលបង្កើតចលនាលំយោល។ ខួបនៃចលនាគឺ

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}$$

ដោយប្រេកង់ $f = 1/T$ គេបាន

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{2k}{m}}$$

# សង្ខេប

## សមីការលំយោលប៉ោលរ៉ឺស័រ ឬអេឡុងកាស្យុង

$$x = A\cos(\omega t + \varphi)$$

$A$ ជាអំព្លីទុត (m), $\omega$ ជាប្រេកង់មុំ (rad/s), $t$ ជារយៈពេល (s), $\varphi$ ផាសដើម (rad), $x$ ជាអេឡុងកាស្យុង (m) ឬ ជាសមីការទីតាំង។

## សមីការល្បឿនរបស់ម៉ាស $m$

$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega\sin(\omega t + \varphi) = -v_{max}\sin(\omega t + \varphi)$ ។ **ល្បឿនអតិបរមា $v_{max}$ របស់ម៉ាស $m$**

$$v_{max} = A\omega = A\sqrt{\frac{k}{m}}$$

## សមីការសំទុះ $a$ របស់ម៉ាស $m$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi) = -\omega^2 x$$

## សំទុះអតិបរមា $a_{max}$ របស់ម៉ាស $m$

$$a_{max} = A\omega^2 = A\frac{k}{m}$$

## ខួបនៃលំយោលឲ្យតាមរូបមន្តៈ

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{និង} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$k$ ជាថេរកម្រ៉ាញនៃរ៉ឺស័រ (N/m), $m$ ជាម៉ាសរបស់ប៉ោលរ៉ឺស័រ (kg), $T$ ជាខួបរបស់ប៉ោលរ៉ឺស័រ (s)

## ផលសងភាគរយ (%Diff)

$$\%\text{ផលសង (\%Diff)} = \left|\frac{\text{វិធីទី១} - \text{វិធីទី២}}{\frac{\text{វិធីទី១} + \text{វិធីទី២}}{2}}\right| \times 100\%$$

## សម្គាល់៖

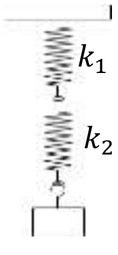
- កាលណារ៉ឺស័រពីរតជាខ្នែងជាមួយគ្នា និងទ្រអង្គធាតុមួយ នោះថេរកម្រាញសមមូល $k$ ឲ្យដោយ៖

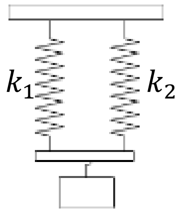
  $k = k_1 + k_2$

កាលណារ៉ឺស័រពីរតជាស៊េរីជាមួយគ្នា និងទ្រអង្គធាតុមួយ នោះថេរកម្រាញ

សមមូល $k$ ឲ្យដោយ៖

$$k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$$



# មេរៀនទី៨ ៖ កម្លាំងអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

## ៨.១ អំពើនៃកំលាំងម៉ាញេទិចលើបន្ទុកអគ្គិសនីផ្លាស់ទី

មានលក្ខណៈបួននៃកំលាំងម៉ាញេទិចលើបន្ទុកអគ្គិសនីផ្លាស់ទី។ ***ទីមួយ*** អាំងតង់ស៊ីតេនៃកំលាំងសមាមាត្រនឹងបន្ទុកអគ្គិសនី។ ប្រសិនបើបន្ទុក $1\mu c$ និង$2\mu c$ ផ្លាស់ទីក្នុងដែនម៉ាញេទិចដោយល្បឿនដូចគ្នា តាមពិសោធន៍បង្ហាញថាកំលាំងមានអំពើលើ $2\mu c$ ធំជាងកំលាំងមានអំពើលើ$1\mu c$ ពីរដង។ ***ទីពីរ*** អាំងតង់ស៊ីតេនៃកំលាំងក៏សមាមាត្រនឹងអាំងតង់ស៊ីតេដែន។ បើគេបង្កើនតម្លៃដែនពីរដងដោយរក្សាតម្លៃបន្ទុក និងល្បឿននៅដដែល នោះកំលាំងកើនពីរដងដែរ។ ***ទីបី*** កំលាំងម៉ាញេទិចអាស្រ័យនឹងល្បឿនរបស់បន្ទុក។ នេះបង្ហាញពីភាពខុសគ្នាពីកំលាំងអគ្គិសនីដែលមានអំពើលើបន្ទុកអគ្គិសនី មិនថាបន្ទុកនោះផ្លាស់ទីរឺអត់។ តាមពិសោធន៍ បើបន្ទុកនៅនឹងវាមិនរងនូវកំលាំងម៉ាញេទិចទេ។ ***ទីបួន*** គេរកកំលាំងម៉ាញេទិចដោយធ្វើពិសោធន៍ឃើញថា កំលាំងម៉ាញេទិចមិនមានទិសដៅដូចទិសដៅដែន$\vec{B}$ ទេ ប៉ុន្តែកំលាំងនេះតែងតែកែងនឹង $\vec{B}$ និង ល្បឿន $\vec{v}$ ។ តម្លៃនៃកំលាំងត្រូវបានរកឃើញថាសមាមាត្រនឹងកំប៉ូសង់នៃល្បឿនដែលកែងនឹង $\vec{B}$ ។ នៅពេលដែល $\vec{B}$និង $\vec{v}$ មានទិសដៅស្របរឺផ្ទុយគ្នាកំលាំងស្មើសូន្យ។

សរុបមកទំនាក់ទំនងខាងលើអាចសរសេរ

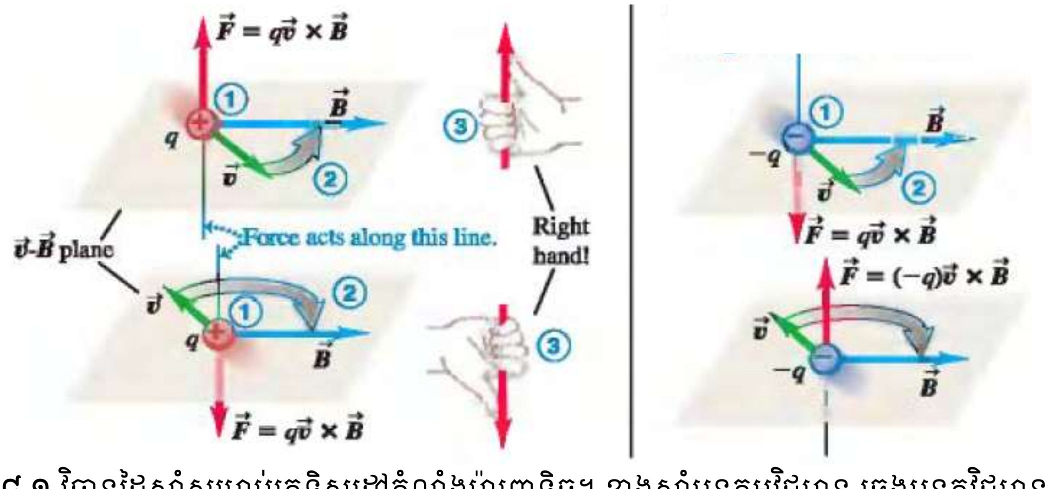
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (៨.១)$$

ម៉ូឌុល $$F = |q|vB\sin\theta$$

$\vec{F}$ ជាកំលាំងគិតជា $N$។ $\vec{v}$ ជាល្បឿនគិតជា $ms^{-1}$ ។ $\vec{B}$ អាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចគិតជា $T$។ $q$បន្ទុកអគ្គិសនីគិតជា$C$។ θ ជាមុំផ្គុំរវាង $\vec{v}$និង $\vec{B}$ គិតជាដឺក្រេ។

$\vec{F}$ ជាកំលាំងគិតជា $N$។ $\vec{v}$ ជាល្បឿនគិតជា $ms^{-1}$ ។ $\vec{B}$ អាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចគិតជា $T$។ $q$បន្ទុកអគ្គិសនីគិតជា$C$។ θ ជាមុំផ្គុំរវាង $\vec{v}$និង $\vec{B}$ គិតជាដឺក្រេ។

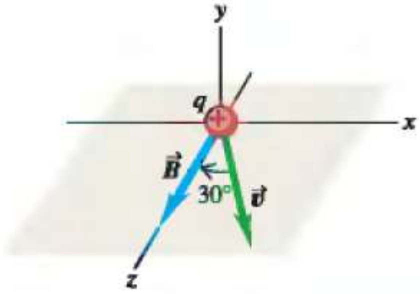
កំលាំងមានទិសកែងនឹងប្លង់ដែលមាន$\vec{v}$ និង $\vec{B}$ ហើយទិសដៅកំណត់តាមវិធានដៃស្តាំ (*ម្រាមបួនលាដាក់ស្របទិសដៅ* $\vec{v}$ *រួចក្តោបទៅរក* $\vec{B}$ *តាមមុំតូចបំផុត មេដៃកន្ទែកប្រាប់ទិសដៅ* $\vec{F}$ *បើបន្ទុកវិជ្ជមាន* $\vec{F}$ *ស្របមេដៃ តែបើបន្ទុកអវិជ្ជមាន* $\vec{F}$ *ផ្ទុយពីមេដៃ ។ មើលរូប*)




**រូប៨.១** វិធានដៃស្តាំសម្រាប់រកទិសដៅកំលាំងម៉ាញេទិច។ ខាងស្តាំបន្ទុកអវិជ្ជមាន ឆ្វេងបន្ទុកវិជ្ជមាន។

ឧទាហរណ៍: បាច់ប្រូតុងមួយ($q = 1.6 \times 10^{-19}c$) ផ្លាស់ទីដោយល្បឿន $3 \times 10^5\, m/s$ ឆ្លងកាត់ដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋានមានតម្លៃ $2T$ និងទិសដៅតាមអ័ក្ស $Z$ វិជ្ជមានដូចរូប។ ល្បឿនប្រូតុងនិមួយៗ

ស្ថិតក្នុងប្លង់ $xz$ ផ្គុំបានមុំ 30° ជាមួយអ័ក្ស $Z$ វិជ្ជមាន។គណនាកំលាំងមានអំពើលើប្រូតុង។ សរសេរទំរង់វិចទ័រនៃកំលាំង?




*ដំណោះស្រាយ*

*ដោយបន្ទុកវិជ្ជមានកំលាំងមានទិសដៅស្របនឹងមេដៃ ។ (វិធានដៃស្តាំ) ទិសដៅនេះតាមទិសដៅ* y *វិជ្ជមាន ហើយមានម៉ូឌុល*

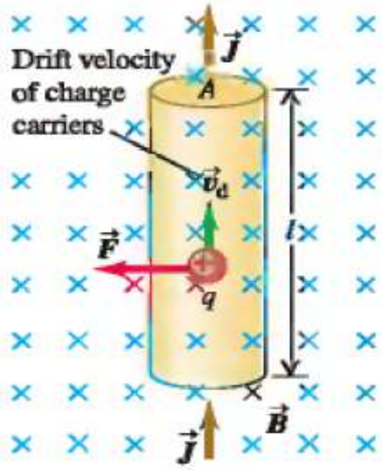
$$F = |q|vB\sin\theta$$
$$F = 1.6\times10^{-19}\times3\times10^{5}\times2\times\sin30$$
$$F = 4.8\times10^{-14}\text{N}$$

ទំរង់វិចទ័រនៃកំលាំង

$$\vec{F} = q\vec{v}\times\vec{B}$$
$$\vec{v} = (3\times10^{5}\sin30)\vec{\imath} + (3\times10^{5}\cos30)\vec{k}$$
$$\vec{B} = 2\vec{k}$$
$$\vec{F} = (1.6\times10^{-19})(3\times10^{5})(2)\times\left(\sin30\,\vec{\imath}+\cos30\vec{k}\right)\times\vec{k}$$
$$\vec{F} = (-4.8\times10^{-14}N)\vec{\jmath}$$

## ៨.២ អំពើនៃកំលាំងម៉ាញេទិចលើខ្សែចំលងត្រង់ឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត

តើអ្វីធ្វើអោយម៉ូទ័រអគ្គិសនីមួយដំនើការបាន? កំលាំងដែលធ្វើអោយវាវិលគឺកំលាំងនៃដែនម៉ាញេទិចដែលមានអំពើលើខ្សែចំលងនៃស៊ុមរបស់ម៉ូទ័រឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី។ ពិនិត្យខ្សែចំលងត្រង់មួយមានប្រវែង$l$ មានផ្ទៃមុខកាត់ $A$ស្ថិតក្នុងដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋាន $\vec{B}$មានទិសកែងនឹងប្លង់ក្រដាស ទិសដៅទំលុះប្លង់ក្រដាសចូលក្នុងដូចរូប៨.២។




**រូប៨.២** កម្លាំងម៉ាញេទិចមានអំពើលើបន្ទុកវិជ្ជមានផ្លាស់ទីក្នុងខ្សែចម្លងមានចរន្តឆ្លងកាត់។

ពីចំនុចខាងលើបានបង្ហាញថាកំលាំងម៉ាញេទិចមានអំពើលើបន្ទុកអគ្គិសនីមួយផ្លាស់ទីក្នុងដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋាន។ ពិនិត្យបន្ទុក $q$មួយផ្លាស់ទីដោយល្បឿនរសាត់ $v_d$ ក្នុងខ្សែចំលងដាក់ក្នុងដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋាន $\vec{B}$ រងនូវកំលាំងម៉ាញេទិច $\vec{F}$ ។ ដែល

$$\vec{F} = q\vec{v}_d \times \vec{B}$$

$$F = qv_dB\sin\theta$$

ដើម្បីរកកំលាំងសរុបមានអំពើលើខ្សែចំលង គឺត្រូវគុណកំលាំង $q\vec{v}_d \times \vec{B}$មានអំពើលើបន្ទុកមួយ ជាមួយបន្ទុកទាំងអស់ក្នុងខ្សែចំលងគឺ $nAl$ ដែល $n$ ជាចំនួនបន្ទុកក្នុងមួយខ្នាតមាឌ។ ដូចនេះកំលាំងម៉ាញេទិចសរុបគឺ

$$F = qv_dB\sin\theta \times nAl$$

ដង់ស៊ីតេចរន្ត $I = JA$ ហើយ $J = nqv_d$ គេបាន $I = nqAv_d$

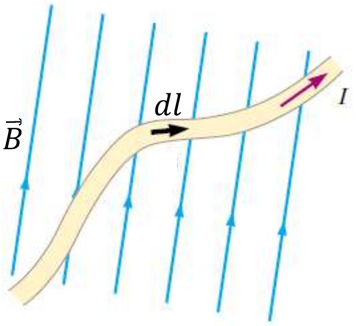
$$F = IlB\sin\theta \qquad (៨.២)$$

កន្សោមវ៉ិចទ័រគឺ

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B} \qquad (៨.៣)$$

វ៉ិចទ័រ $\vec{l}$ សម្គាល់ទិសដៅចរន្ត។ កំលាំង$\vec{F}$ មានទិសដៅកំនត់តាមវិធានដៃស្តាំ ( *ម្រាមបួនលាដាក់ស្រប ទិសដៅចរន្ត រួចក្តោបទៅរក* $\vec{B}$ *តាមមុំតូចបំផុត មេដៃកន្ទែកប្រាប់ទិសដៅ* $\vec{F}$ ) ។

បើខ្សែចំលងមិនមែនជាខ្សែត្រង់វិញ ដើម្បីកំណត់កំលាំងម៉ាញេទិចមានអំពើលើខ្សែ គេត្រូវ ចែកខ្សែនោះជាកំណាត់ខ្លីៗ $d\vec{l}$ ។ (ដើម្បីអោយបានខ្សែត្រង់)




**រូប៨.៣** ខ្សែចំលងមិនមែនជាខ្សែត្រង់ដាក់ក្នុងដែនម៉ាញេទិច ឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី ត្រូវបានចែកជាកំណត់ខ្លីៗ ដើម្បីរកកំលាំងម៉ាញេទិចមានអំពើលើខ្សែ។

កំណាត់ខ្សែនេះរងកំលាំងម៉ាញេទិច $d\vec{F}$ ។ តាមសមីការ( ៨.៣ )អាចសរសេរ

$$d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$$

កំលាំងម៉ាញេទិចមានអំពើលើខ្សែទាំងមូលគឺ

$$\vec{F} = I\int_a^b d\vec{l} \times \vec{B} \qquad (៨.៤)$$

ដែល $a$ និង $b$ ជាចំនុចនៅលើចុងខ្សែទាំងសងខាង។ ពិនិត្យករណីពីរដែលទាក់ទងនឹងសមីការ(៨.៤) ។ ក្នុងករណីទាំងពីរដែនម៉ាញេទិចជាដែនឯកសណ្ឋានៈ

**ករណីទី១** ខ្សែចំលងជាខ្សែកោងឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $I$ ក្នុងដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋាន $\vec{B}$ ដូចក្នុងរូប ៨.៣ (ក) ដោយ$\vec{B}$ ឯកសណ្ឋានអាចដាក់ក្រៅអាំងតេក្រាល

$$\vec{F} = I\left(\int_a^b d\vec{l}\right) \times \vec{B} \quad (៨.៥)$$

ទំហំ $\int_a^b d\vec{l}$ បង្ហាញពីផលបូកវ៉ិចទ័រនៃជាតុប្រវែង $d\vec{l}$ ទាំងអស់ពី $a$ ដល់ $b$ ។ តាមផលបូកវ៉ិចទ័រ នោះផលបូកនៃជាតុប្រវែង $d\vec{l}$ ស្មើនឹងវ៉ិចទ័រ $\vec{l}'$ មានទិសដៅពី $a$ ទៅ $b$។ដូចនេះសមីការ(៨.៥)អាចសរសេរ

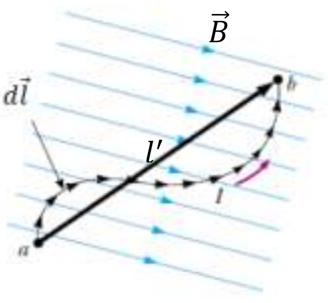
$$\vec{F} = I\vec{l}' \times \vec{B} \quad (៨.៦)$$

ពីសមីការ(៨.៦) អាចសន្និដ្ឋានថាៈ*កំលាំងម៉ាញេទិចមានអំពើលើខ្សែចំលងរាងកោងឆ្លងកាត់ដោយចរន្តដាក់ក្នុងដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋានស្មើនឹងកំលាំងមានអំពើលើខ្សែត្រង់ដែលភ្ជាប់ចុងទាំងសងខាងនៃខ្សែរាងកោងនោះ ហើយឆ្លងកាត់ដោយចរន្តដូចគ្នា។*

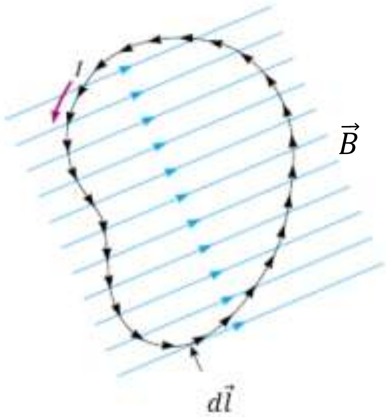
**ករណីទី២** ខ្សែចំលងត្រូវបានជាខ្សែបិទមួយឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $I$ ដាក់ក្នុងដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋានដូចក្នុងរូប ៨.៣ (ខ)។ តាមសមីការ (៨.៥) អាចសរសេរ

$$\vec{F} = I\left(\oint d\vec{l}\right) \times \vec{B}$$

ដោយជាតុប្រវែង $d\vec{l}$ បង្កើតជាពហុកោណមួយ ផលបូកវ៉ិចទ័រត្រូវស្មើសូន្យ មានន័យថា $\oint d\vec{l} = 0$ នាំអោយកំលាំង $\vec{F} = 0$ ។ នេះបញ្ជាក់ថា *កំលាំងម៉ាញេទិចមានអំពើលើខ្សែបិទដាក់ក្នុងដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋានស្មើសូន្យ។*



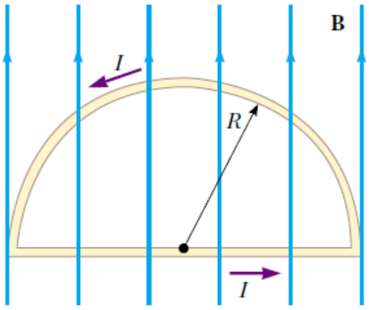

(ក)




(ខ)

**រូប៨.៣**(ក) ខ្សែចំលងរាងកោងឆ្លងកាត់ដោយចរន្តដាក់ក្នុងដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋានរងកំលាំងម៉ាញេទិចមានតម្លៃស្មើនឹងកំលាំងម៉ាញេទិចមានលើខ្សែត្រង់ដែលភ្ជាប់រវាងចុងទាំងសងខាងនៃខ្សែរាងកោង។ (ខ) ខ្សែចំលងបង្កើតជាផ្ទៃបិទមួយឆ្លងកាត់ដោយចរន្តដាក់ក្នុងដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋានកម្លាំងម៉ាញេទិចស្មើសូន្យ។

ឧទាហរណ៍: ខ្សែចំលងមួយមានរាងជាកន្លះរង្វង់មានកាំ $R$ ឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $I$ ដូចបង្ហាញក្នុងរូប ។ កំណត់តម្លៃ និងទិសដៅនៃកំលាំងម៉ាញេទិចមានលើ ផ្នែកត្រង់ និងផ្នែកកោង ព្រមទាំងកំលាំអសរុបមានលើខ្សែបិទ ?




ដំណោះស្រាយ

តាង$\vec{F}_1$ កំលាំងម៉ាញេទិចមានលើផ្នែកត្រង់នៃខ្សែ មានម៉ូឌុល $F_1 = IlB = 2IRB$ ព្រោះ $l = 2R$ មានទិសដៅចេញពីប្លង់ក្រដាស( កំណត់តាមវិធានដៃស្តាំ )

តាង$\vec{F}_2$ កំលាំងម៉ាញេទិចមានលើផ្នែកកោងនៃខ្សែ មានម៉ូឌុល $F_2 = IlB = 2IRB$ (សមីការ ៨.៦) (វិធានដៃស្តាំ )មានទិសដៅទំលុះប្លង់ក្រដាស

កំលាំងផ្គួប $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

$F = |F_1 - F_2|$ ព្រោះ $\vec{F}_1$ និង $\vec{F}_2$ មានទិសដៅផ្ទុយគ្នា

$F = |2IRB - 2IRB| = 0N$

# កិច្ចតែងការបង្រៀនគំរូទី១

កាលបរិច្ឆេទ ៖ ថ្ងៃ ខែ ឆ្នាំជូត ទោស័ក ព.ស ២៥៦៤ត្រូវនឹងថ្ងៃ ទីខែ ឆ្នាំ២០២០
មុខវិជ្ជា ៖ រូបវិទ្យា
ថ្នាក់ទី ៖ ១០
ជំពូកទី៣ ៖ អគ្គិសនី និងម៉ាញេទិច
មេរៀនទី២ ៖ ចរន្តជាប់ និងម៉ាញេទិច
រយៈពេល ៖ ៥០នាទី

## I. វត្ថុបំណង

### ១.វិជ្ជាសម្បទា

- សិស្សរៀបរាប់បានត្រឹមត្រូវពីតម្លៃតង់ស្យុងរវាងគោលនៃរេស៊ីស្តង់នីមួយៗ ស្មើនឹងតម្លៃតង់ស្យុងរវាងគោលទាំងពីរនៃជនិតា និងតម្លៃចរន្តអគ្គិសនីចេញពីជនិតាស្មើនឹងផលបូកនៃចរន្តអគ្គិសនីដែលឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តង់នីមួយៗក្នុងបង្គុំជាខ្នែងតាមរយៈពិសោធន៍។

### ២.បំណិនសម្បទា

- សិស្សវាស់តង់ស្យុង រេស៊ីស្តង់ និងចរន្តអគ្គិសនីក្នុងបង្គុំរេស៊ីស្តង់ជាខ្នែងបានត្រឹមត្រូវតាមទ្រឹស្តី និងការអនុវត្តផ្ទាល់។

### ៣.ចរិយាសម្បទា

- សិស្សធ្វើពិសោធន៍ដោយយកចិត្តទុកដាក់ និងប្រុងប្រយ័ត្នដើម្បីសុវត្ថិភាព។

## II. សម្ភារឧបទេស

ឯកសារ៖

- សៀវភៅសិស្សទំព័រទី...........ឆ្នាំ......បោះពុម្ពលើកទី.........ដល់ទំព័រទី......
- សៀវភៅគ្រូទំព័រទី...........ឆ្នាំ......បោះពុម្ពលើកទី.........ដល់ទំព័រទី..........
- កម្រងសំណួរ ឬបញ្ជីសំណួរ
- សន្លឹកកិច្ចការ( សម្រាប់សិស្ស និងគ្រូ)
- ប្លង់ក្ដារខៀន

ឧបករណ៍៖

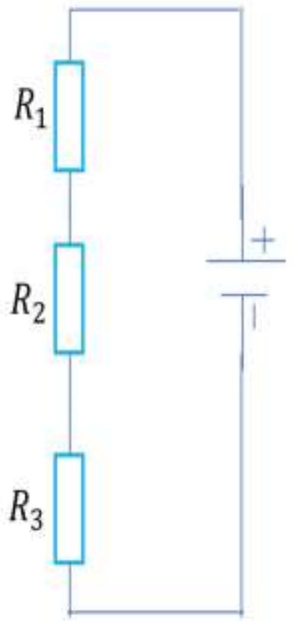
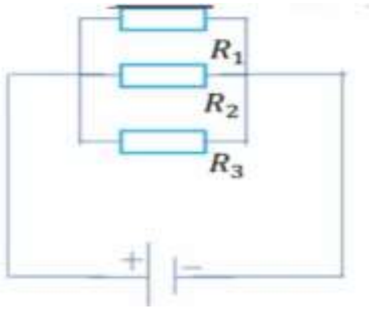
- រេស៊ីស្តរខុសគ្នាចំនួនបី(5KΩ, 10KΩ, 15KΩ)ខ្សែចម្លង ជនិតា (ថ្មពិល1.5$V$ចំនួនពីរគ្រាប់) មុលទីម៉ែត្រ។
- ក្ដារខៀន ហ្វឺតសរសេរបន្ទាត់ ( ពណ៌ខៀវ ខ្មៅ និងក្រហម)

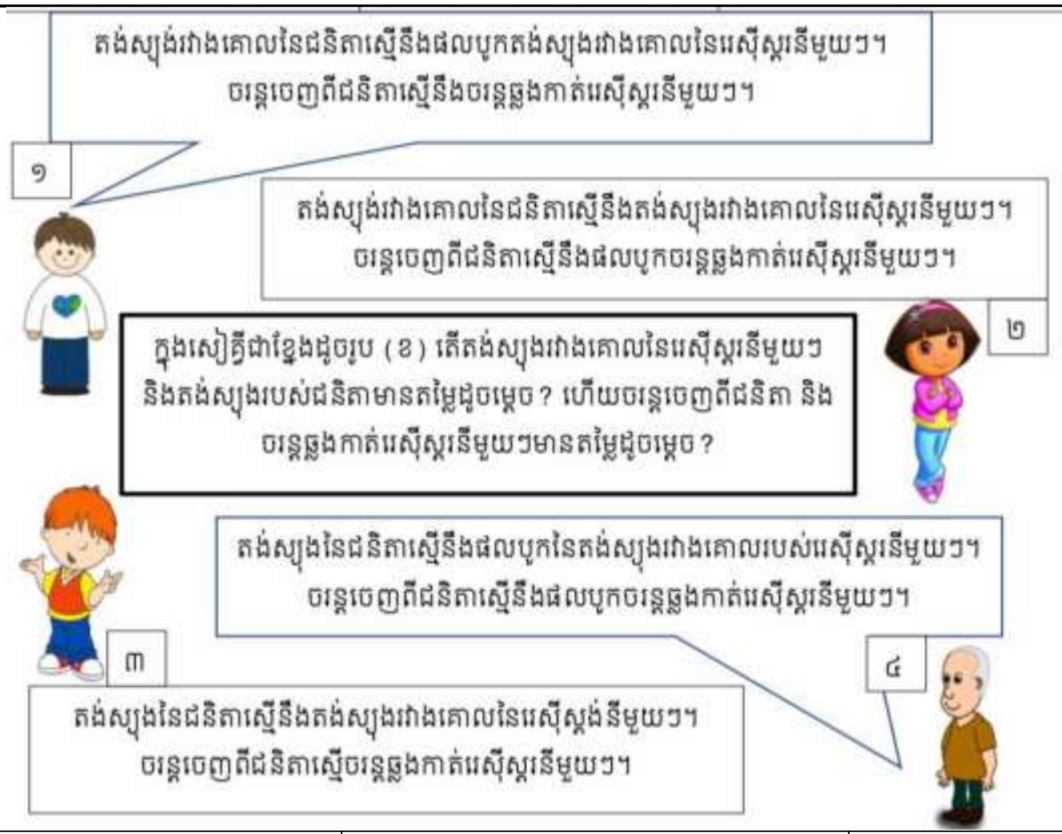
## III. វិធីសាស្ត្របង្រៀន៖ វិធីសាស្ត្របង្រៀនតាមបែបតុក្កតាគំនិត

## IV. ដំណើរការបង្រៀន និងរៀន

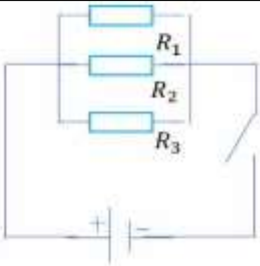
| សកម្មភាពគ្រូ | ខ្លឹមសារ | សកម្មភាពសិស្ស |
|---|---|---|
| **ជំហានទី១៖** រដ្ឋបាលថ្នាក់(៣នាទី) | | |

| | | |
|---|---|---|
| - ពិនិត្យអនាម័យ សណ្តាប់ ធ្នាប់និងឯក សណ្ឋានសិស្ស<br>- ឱ្យប្រធានថ្នាក់រាយរណ៍ ពីវត្តមានរបស់សិស្ស | - ពិនិត្យអនាម័យសណ្តាប់ធ្នាប់ថ្នាក់ រៀន<br>- ពិនិត្យឯកសណ្ឋាន<br>- ពិនិត្យអវត្តមានសិស្ស | -សិសឈរឱ្យពិនិត្យឯក សណ្ឋាននិងអង្គុយតាម កន្លែងរៀងៗខ្លួន<br>-ប្រធានថ្នាក់ឡើងរាយ ការណ៍ពីវត្តមានសិស្ស |
| **ជំហានទី២៖**រំឭកមេរៀនចាស់( ៧នាទី ) | | |
| ១.ដូចម្តេចហៅថាចរន្ត អគ្គិសនី ?<br><br>២. ដើម្បីវាស់ចរន្តអគ្គិសនី តើគេប្រើឧបករណ៍អ្វី ? ហើយតដូចម្តេចក្នុងសៀ គ្វី ?<br>៣. ចុះប្រសិនបើ គេវាស់ត ង់ស្យុងវិញ តើគេប្រើ ឧបករណ៍អ្វី ? ហើយតដូច ម្តេចក្នុងសៀគ្វី ?<br>៤. គេប្រើឧបករណ៍អ្វី សម្រាប់វាស់រេស៊ីស្តង់ ? | | ១. ចរន្តអគ្គិសនីជា បំលាស់បន្ទុកអគ្គិសនីក្នុង មួយខ្នាតពេល។<br>២. ដើម្បីវាស់ចរន្តអគ្គិសនី គេប្រើអំពែម៉ែត្រតជាសេរី ក្នុងសៀគ្វី។<br><br>៣. គេប្រើវ៉ុលម៉ែត្រ តជា ខ្នែងក្នុងសៀគ្វី<br><br>៤. គេប្រើអូមម៉ែត្រ សម្រាប់វាស់រេស៊ីស្តង់ |
| **ជំហានទី៣៖**បង្រៀនខ្លឹមសារថ្មី( ៣៥នាទី ) | | |

| | | |
|---|---|---|
| - បង្ហាញសៀគ្វីអគ្គិសនីដូចរូបទី១(ក) និង (ខ) ដល់សិស្ស។<br>- តើសៀគ្វីមួយណាតជាស៊េរី ហើយមួយណាតជាខ្នែង ?<br>- រូប(ក) គេចង់វាស់ចរន្តអគ្គិសនីឆ្លងកាត់$R_1$ តើគេត្រូវតអំពែម៉ែត្រដូចម្តេច ?<br>(ឱ្យសិស្សមកគូសរូបលើក្តារខៀន)<br>- រូប(ក) បើគេចង់វាស់តង់ស្យុងរវាងគោលនៃ$R_1$, $R_2$, $R_3$និងជនិតា តើគេត្រូវតវ៉ុលម៉ែត្រដូចម្តេច ?<br>(ឱ្យសិស្សមកគូសរូបលើក្តារខៀន)<br>- រូប (ខ) បើគេចង់វាស់ចរន្តឆ្លងកាត់ $R_1, R_2, R_3$ និងចរន្តចេញពីជនិតា តើគេត្រូវតអំពែម៉ែត្រដូចម្តេច ?<br>(ឱ្យសិស្សមកគូសរូបលើក្តារខៀន)<br>- រូប (ខ) បើគេចង់វាស់តង់ស្យុងរវាងគោលនៃ $R_1, R_2, R_3$និងជនិតា តើគេត្រូវប្រើវ៉ុលម៉ែត្រដូចម្តេច ?<br>• បង្ហាញរូបតុក្កតាដូចខាងក្រោម | រូបទី១<br><br>(ក)<br><br>(ខ) | -សង្កេត<br>-រូប (ក)សៀគ្វីជាស៊េរី ហើយរូប(ខ)ជាខ្នែង<br>-គូសនៅលើក្តារខៀន<br>-គូសនៅលើក្តារខៀន<br>- គូសរូបនៅលើក្តារខៀន<br>-គូសរូបនៅលើក្តារខៀន |




| | | |
|---|---|---|
| - តើប្អូនៗគិតថាចម្លើយមួយណាត្រឹមត្រូវ ? (ទុកពេលឱ្យសិស្សគិត)<br>- ដាក់សិស្សដែលបានរើសចម្លើយដូចគ្នាជាក្រុម។ ឧទាហរណ៍អ្នកដែលរើសចម្លើយតុក្កតាលេខ១ដាក់មួយក្រុម ហើយអ្នករើសលេខ២ដាក់មួយក្រុម ........។<br><br>- ឱ្យសិស្សពិភាក្សាគ្នាថាតើហេតុអ្វីបានជាចម្លើយរបស់ខ្លួនត្រឹមត្រូវ?<br><br>- ឱ្យសិស្សបកស្រាយហេតុផលរបស់ខ្លួន ។ | **ពិសោធន៍៖**<br>**សម្មតិកម្ម៖**<br><br>• តង់ស្យុងរវាងគោលនៃជនិតាស្មើនឹងតង់ស្យុងរបស់គ្រឿងទទួលអគ្គិសនីនីមួយៗ។ហើយចរន្តចេញពីជនិតាស្មើនឹងផលបូកចរន្តឆ្លងកាត់គ្រឿងទទួលអគ្គិសនីនីមួយៗ។<br>• តង់ស្យុងរវាងគោលនៃជនិតាស្មើនឹងតង់ស្យុងរវាងគោលនៃគ្រឿងទទួលអគ្គិសនីនីមួយៗហើយចរន្តពីជនិតាស្មើចរន្តឆ្លងកាត់គ្រឿងទទួលអគ្គិសនីនីមួយៗ។<br>**សម្ភារៈ៖**ជនិតា (ថ្មពិល1.5Vចំនួន២គ្រាប់)រេស៊ីស្តង់មានតម្លៃខុសៗគ្នាចំនួន៣ ខ្សែចម្លងមុលទីម៉ែត្រ។<br>**ដំណើរការពិសោធន៍៖**<br>១.យករេស៊ីស្តង់ចំនួន៣មកតជាខ្នែងដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។ | -គិតដើម្បីជ្រើសរើសចម្លើយ<br><br>- ចូលតាមក្រុម<br><br>- ពិភាក្សា<br><br>- ពិសោធន៍<br><br>- ពិភាក្សា និងហើយឡើងបង្ហាញ |

| | | |
|---|---|---|
| - តើយើងត្រូវធ្វើដូចម្តេចដើម្បីដឹងថាចម្លើយមួយណាត្រឹមត្រូវ ?<br>- ឱ្យសិស្សពិភាក្សាបង្កើតប្លង់ពិសោធន៍ ហើយឡើងបង្ហាញ<br>- ជ្រើសរើសប្លង់ពិសោធន៍ណាដែលល្អជាងគេមកអនុវត្ត។បើគ្មានគ្រូត្រូវឱ្យប្លង់<br>- ពិសោធន៍។<br>- ចែកសន្លឹកកិច្ចការនិងប្លង់ពិសោធន៍។<br>សម្របសម្រួលតាមក្រុម<br><br>- ចែកសម្ភារៈដែលត្រូវប្រើតាមក្រុម<br>- ឱ្យសិស្សបង្កើតប្លង់ពិសោធន៍នោះ<br>- គ្រូជ្រើសរើសយកប្លង់ពិសោធន៍ណាដែលល្អជាងគេមកអនុវត្ត<br>- សម្របសម្រួលតាមក្រុម | <br>២.បិទកុងតាក់ ភ្ជាប់វ៉ុលម៉ែត្រជាមួយគោលទាំងពីរនៃជនិតាដើម្បីវាស់តង់ស្យុង។<br>៣.ភ្ជាប់វ៉ុលម៉ែត្រជាមួយគោលទាំងពីរនៃ $R_1$ដើម្បីវាស់តង់<br>ស្យុង។<br>៤.វាស់តង់ស្យុងរវាងគោលនៃ$R_2$<br>៥.វាស់តង់ស្យុងរវាងគោលនៃ$R_3$<br>៦.វាស់ចរន្តចេញពីជនិតា<br>៧.វាស់ចរន្តឆ្លងកាត់ $R_1, R_2$និង$R_3$។<br>តម្លៃដែលវាស់បានត្រូវសរសេរក្នុងតារាងដូចខាងក្រោម។ | - ទទួលសន្លឹកកិច្ចការ |

លទ្ធផល

| វាស់លើកទី | តង់ស្យុងរវាងគោលនៃជនិតា$(V)$ | តង់ស្យុង$R_1$ $(V)$ | តង់ស្យុង$R_2$ $(V)$ | តង់ស្យុង$R_3$ $(V)$ |
|---|---|---|---|---|
| ១ | | | | |
| ២ | | | | |
| ៣ | | | | |
| តម្លៃមធ្យម | | | | |
| | ចរន្តចេញពីជនិតា $(mA)$ | ចរន្តឆ្លងកាត់ $R_1(mA)$ | ចរន្តឆ្លងកាត់ $R_2(mA)$ | ចរន្តឆ្លងកាត់ $R_3(mA)$ |
| ១ | | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ២ | | | | |
| ៣ | | | | |
| តម្លៃមធ្យម | | | | |

| | | |
|---|---|---|
| - តាមពិសោធន៍ តើគេអាចសន្និដ្ឋាន បានយ៉ាងដូចម្ដេច ? ចំពោះតម្លៃតង់ស្យុង និងចរន្តក្នុងសៀគ្វីជាខ្នែង។ | **សន្និដ្ឋានះ**តាមលទ្ធផលពិសោធន៍ះ ចំពោះសៀគ្វីជាខ្នែង តម្លៃតង់ស្យុងរវាងគោលនៃជនិតាស្មើនិងតម្លៃតង់ស្យុងរវាងគោលនៃគ្រឿងទទួលនីមួយៗ ។ ហើយចរន្តចេញពីជនិតា (ចរន្តសរុប)ស្មើនឹងផលបូកនៃចរន្តឆ្លងកាត់គ្រឿងទទួលនីមួយៗ។ | - ពិភាក្សាគ្នាដើម្បីធ្វើសេចក្ដីសន្និដ្ឋាន |
| **ជំហានទី៤ះ** ពង្រឹងពុទ្ធិ | | |
| - ច្បាប់អូមចំពោះកំណាត់សៀគ្វីគឺ<br>$I=\frac{V}{R}$<br>ចូរបង្ហាញថារេស៊ីស្តង់សមូលនៃបង្គុំគឺ<br>$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$ | $\mathrm{I}=\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{R}}$ $I_1=\frac{V}{R_1}$<br>$I_2=\frac{V}{R_2}$ $I_3=\frac{V}{R_3}$<br>តង់ស្យុងស្មើគ្នាគឺ$V$តែ<br>$I=I_1+I_2+I_3$<br>$\frac{V}{R}=\frac{V}{R_!}+\frac{V}{R_2}+\frac{V}{R_3}$<br>$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$ | - គិត<br>តង់ស្យុងស្មើគ្នាគឺ$V$តែ<br>$I=I_1+I_2+I_3$<br>$\frac{V}{R}=\frac{V}{R_!}+\frac{V}{R_2}+\frac{V}{R_3}$<br>$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$ |
| **ជំហានទី៥ះ**កិច្ចការផ្ទះ | | |
| - ឱ្យកិច្ចការដល់សិស្ស | សៀគ្វីដូចនៅក្នុងរូប១(ក) បើគេជំនួសរេស៊ីស្តង់ដោយអំពូលវិញហើយ បើមានអំពូលពីរផ្សេងទៀតភ្លឺឬមិនភ្លឺ ? ព្រោះអ្វី ? | កត់ត្រា និងអនុវត្ត |

# សន្លឹកកិច្ចការបង្កុំរសៀស្តង់ជាខ្មែង

១ .ដើម្បីវាស់ចរន្តអគ្គិសនី តើគេប្រើឧបករណ៍អ្វី?ហើយតដូចម្តេចក្នុងសៀគ្វី ?

.....................................................................................................................

.....................................................................................................................

.....................................................................................................................

២. ដើម្បីវាស់តង់ស្យុងអគ្គិសនី តើគេប្រើឧបករណ៍អ្វី ? ហើយតដូចម្តេចក្នុងសៀគ្វី?

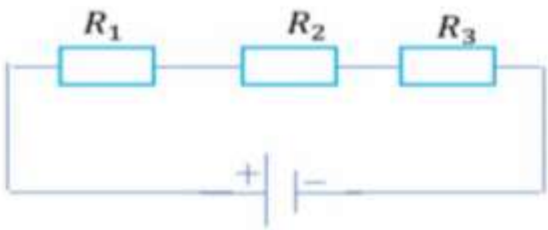
.....................................................................................................................

.....................................................................................................................

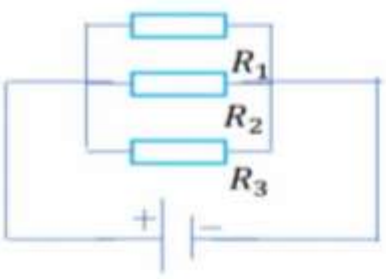
.....................................................................................................................

៣. តើសៀគ្វីដូចរូបខាងក្រោម មួយណាជាស៊េរី មួយណាជាខ្នែង

(ក)




(ខ)




.....................................................................................................................

.....................................................................................................................

.....................................................................................................................

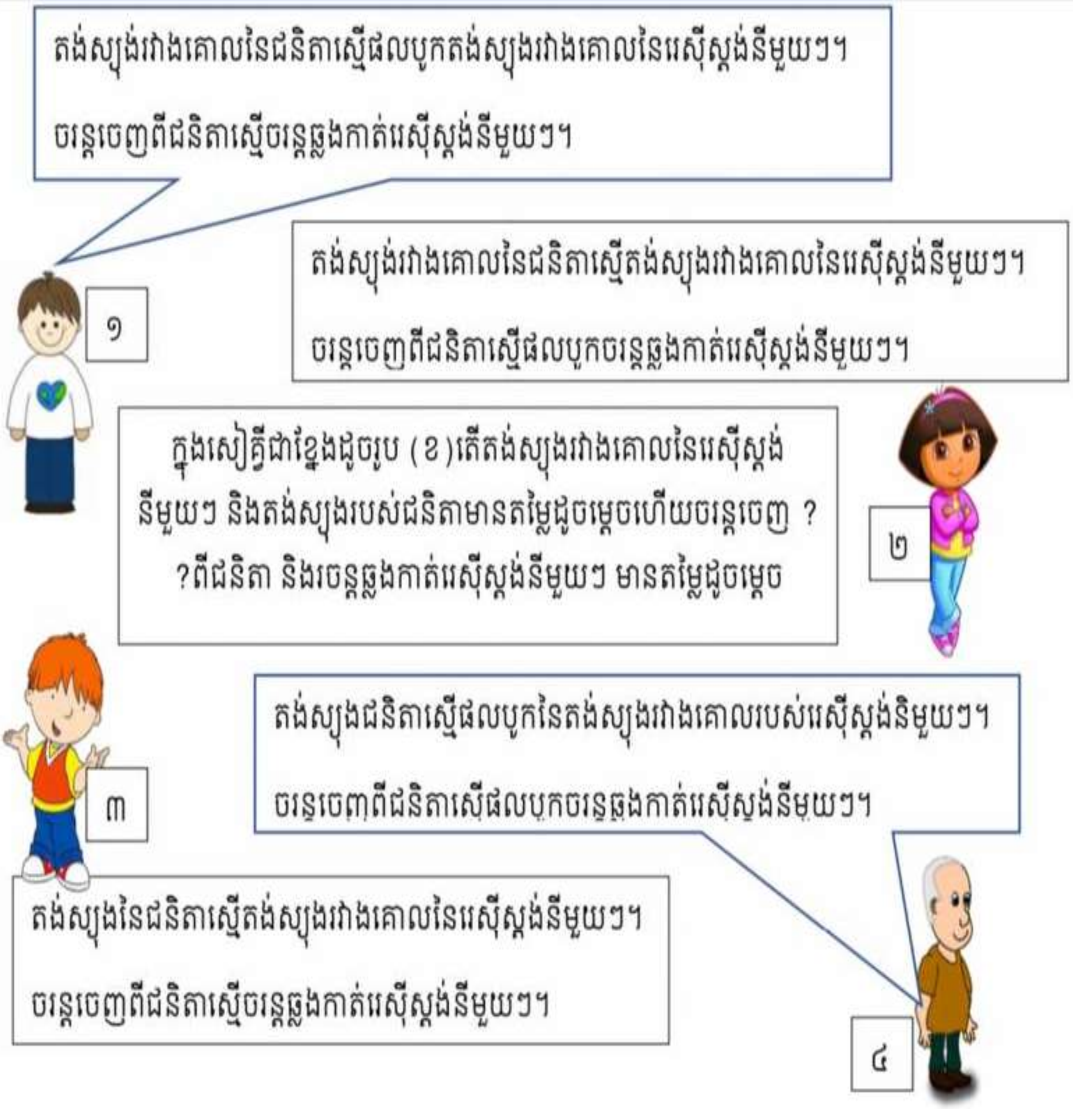
៤. តើច្បាប់អូមចំពោះកំណាត់សៀគ្វីដែលមានអង្គធាតុចម្លងអូមមានរូបមន្តដូចម្តេច?

.....................................................................................................................

.....................................................................................................................

.....................................................................................................................

៥. ចំពោះរូបខាងក្រោម តើចម្លើយមួយណាដែលប្អូនគិតថាត្រឹមត្រូវ ។ ហេតុអ្វី?




.......................................................................................................................................

.......................................................................................................................................

.......................................................................................................................................

.......................................................................................................................................

៦. ដើម្បីផ្ទៀងផ្ទាត់ថាចម្លើយមួយណាត្រឹមត្រូវយើងត្រូវធ្វើ.........................................................................

៧. ពិសោធន៍

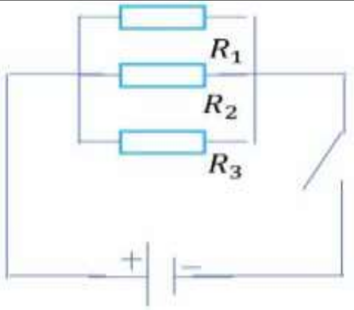
សម្ភារៈ៖

.......................................................................................................................................

.......................................................................................................................................

ដំណើរការពិសោធន៍៖

១.យករេស៊ីស្តរចំនួន៣ មកតជាខ្នែងដូចរូបខាងក្រោម។




២. បិទកុងតាក់ ភ្ជាប់វ៉ុលម៉ែត្រជាមួយគោលទាំងពីរនៃជនិតាដើម្បីវាស់តង់ស្យុង។

៣. ភ្ជាប់វ៉ុលម៉ែត្រជាមួយគោលទាំងពីរនៃ $R_1$ ដើម្បីវាស់តង់ស្យុង។

៤. វាស់តង់ស្យុងរវាងគោលនៃ$R_2$

៥. វាស់តង់ស្យុងរវាងគោលនៃ$R_3$

៦. វាស់ចរន្តចេញពីជនិតា

៧. វាស់ចរន្តឆ្លងកាត់$R_1$ , $R_2$ និង $R_3$ ។

តម្លៃដែលបានវាស់ខាងលើត្រូវសរសេរក្នុងតារាងខាងក្រោម។

លទ្ធផល៖ លទ្ធផលដែលវាស់បានត្រូវដាក់ក្នុងតារាងខាងក្រោម៖

| វាស់លើកទី | តង់ស្យុងរវាងគោលនៃជនិតា $(V)$ | តង់ស្យុង$R_1$ $(V)$ | តង់ស្យុង$R_2$ $(V)$ | តង់ស្យុង$R_3$ $(V)$ |
|---|---|---|---|---|
| ១ | | | | |
| ២ | | | | |
| ៣ | | | | |
| តម្លៃមធ្យម | | | | |
| | ចរន្តចេញពីជនិតា $(mA)$ | ចរន្តឆ្លងកាត់ $R_1(mA)$ | ចរន្តឆ្លងកាត់ $R_2(mA)$ | ចរន្តឆ្លងកាត់ $R_3(mA)$ |
| ១ | | | | |
| ២ | | | | |
| ៣ | | | | |
| តម្លៃមធ្យម | | | | |

## សន្និដ្ឋាន

១ .តើប្អូនសង្កេតឃើញដូចម្តេច ចំពោះតម្លៃតង់ស្យុងរបស់ជនិតា និងតម្លៃតង់ស្យុងរវាងគោលនីមួយៗនៃរេស៊ីស្តង់ ?

..............................................................................................................................................

២. តើប្អូនសង្កេតឃើញដូចម្ដេច ចំពោះតម្លៃចរន្តចេញពីជនិតា និងតម្លៃចរន្តឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរនីមួយៗ។

..................................................................................................................................

៣. ដូច្នេះគេអាចសន្និដ្ឋានជារួមថា សៀគ្វីជាខ្នែង តម្លៃតង់ស្យុងរបស់ជនិតា......................................

..................................................................................................................................

ហើយចរន្តចេញពីជនិតា.......................................................................................................

សំណួរ៖

ច្បាប់អូមចំពោះកំណាត់សៀគ្វីគឺ

$$I = \frac{V}{R}$$

ដែល $I$ ជាចរន្តសរុប $V$ ជាតង់ស្យុងសរុប ហើយ $R$ ជារេស៊ីស្តង់សរុប។
ចំពោះ $R_1$ ចរន្តឆ្លងកាត់គឺ $I_1$ ហើយតង់ស្យុងរវាងគោលទាំងពីរគឺ $V_1$ ។ ចំពោះ $R_2$ ចរន្តឆ្លងកាត់គឺ $I_2$ ហើយតង់ស្យុងរវាងគោលទាំងពីរគឺ $V_2$ ។ ចំពោះ $R_3$ ចរន្តឆ្លងកាត់គឺ $I_3$ ហើយតង់ស្យុងរវាងគោលទាំងពីរគឺ $V_3$ ។
ចំពោះសៀគ្វីជាខ្នែងដូចរូប (ខ) បង្ហាញថារេស៊ីស្តង់សរុប$R$ គឺ

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

..................................................................................................................................
..................................................................................................................................
..................................................................................................................................
..................................................................................................................................
..................................................................................................................................
..................................................................................................................................
..................................................................................................................................
..................................................................................................................................

កិច្ចការផ្ទះ

សៀគ្វីដូចនៅក្នុងរូបទី១ (ខ) បើគេជំនួសរេស៊ីស្តង់ដោយអំពូលវិញ ហើយបើមានអំពូលមួយណាដាច់ ខូចមិនភ្លឺតើអំពូលពីរផ្សេងទៀតភ្លឺ ឬមិនភ្លឺ? ព្រោះអ្វី ?

# កិច្ចតែងការបង្រៀនគំរូទី២

កាលបរិច្ឆេទ ៖ ថ្ងៃ.........................ខែ.........................ឆ្នាំ ជូត ទោស័ក ព.ស ២៥៦៤

ត្រូវនឹងថ្ងៃទី.......................ខែ.......................ឆ្នាំ ២០២០

មុខវិជ្ជា ៖ រូបវិទ្យា

ថ្នាក់ទី ៖ ១១

ជំពូកទី៣ ៖ រលក

មេរៀនទី១ ៖ លំយោលអាកម៉ូនិចងាយ

រយៈពេល ៖ ៥០នាទី

I. **វត្ថុបំណង**

១.**វិជ្ជាសម្បទា** ៖ រៀបរាប់ពីកត្តាដែលមានឥទ្ធិពលលើខួបនៃប៉ោលរឺស័របានត្រឹមត្រូវតាមរយៈពិសោធន៍ ។

២.**បំណិនសម្បទា**៖ បកស្រាយពីទំនាក់ទំនងរវាងខួប និងម៉ាស ព្រមទាំងថេរកំរាញបានត្រឹមត្រូវតាមរយៈការពិសោធន៍។

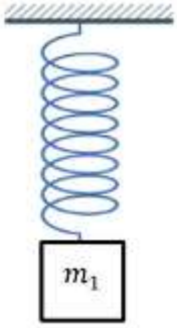
៣. **ចរិយាសម្បទា**៖ បណ្ដុះស្មារតីឱ្យផ្សារភ្ជាប់ទ្រឹស្ដីទៅនឹងការអនុវត្តក្នុងជីវភាពប្រចាំថ្ងៃ និងក្នុងបច្ចេកទេសបានត្រឹមត្រូវ។

II. **សម្ភារឧបទេស**៖ សៀវភៅសិក្សាគោល និងសៀវភៅគ្រូថ្នាក់ទី១១ ហ្វឹត ក្ដារខៀន កូនទម្ងន់ជើងទម្រ កូណូម៉ែត រ៉ឺស័រ សន្លឹកកិច្ចការពិសោធន៍។

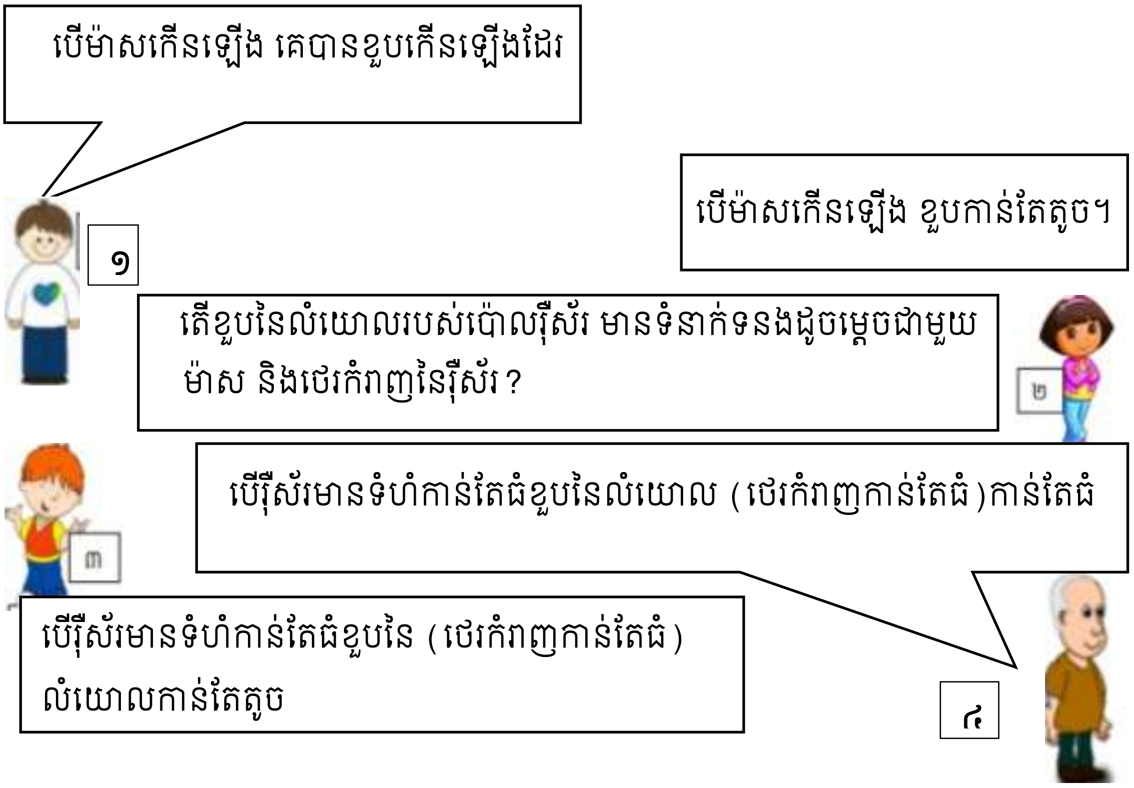
III. **វិធីសាស្ត្របង្រៀន**៖ វិធីបង្រៀនតាមបែបរិះរក ដោយបញ្ញាបតុក្កតាគំនិត

IV. **ដំណើរការបង្រៀន**

| **សកម្មភាពគ្រូ** | **ខ្លឹមសារ** | **សកម្មភាពសិស្ស** |
|---|---|---|
| **ជំហានទី១** ៖ រដ្ឋបាលថ្នាក់ (៣នាទី) | | |
| – ពិនិត្យវត្តមានសិស្ស អនាម័យសណ្ដាប់ធ្នាប់ក្នុងថ្នាក់រៀន<br>– ឱ្យប្រធានថ្នាក់រាយការណ៍ពីវត្តមានរបស់សិស្ស | – ពិនិត្យអនាម័យថ្នាក់និងសណ្ដាប់ធ្នាប់ថ្នាក់រៀន<br>– ពិនិត្យឯកសណ្ឋាន<br>– ពិនិត្យវត្តមានសិស្ស | –សិស្សឈរឱ្យពិនិត្យឯកសណ្ឋាននិងអង្គុយតាមកន្លែងរៀងៗខ្លួន<br>–ប្រធានថ្នាក់រាយការណ៍ពីវត្តមានសិស្ស |
| **ជំហានទី២**៖ រំលឹកមេរៀនចាស់ (៧នាទី) | | |
| – ដូចម្ដេចដែលហៅថាចលនាខួប? | | –ចលនាខួបជាចលនាដែលកើតឡើងដដែលៗដូចគ្នាក្នុងរយៈពេលបន្តបន្ទាប់។ |

| | | |
|---|---|---|
| – ដូចម្តេចដែលហៅថាលំយោលអាកម៉ូនិចងាយ? | | –លំយោលអាកម៉ូនិចងាយជាចលនាកើតឡើងដោយកម្លាំងសកម្មមួយ ដែល សមាមាត្រនឹងបំលាស់ទីហើយមានទិសដៅតម្រង់មកទីតាំងលំនឹង។ |
| – ដូចម្តេចដែលហៅថាខួបនៃលំយោល តាងដោយអក្សរអ្វី និងមានខ្នាតដូចម្តេច? | | –ខួបនៃលំយោលជារយៈពេលដែលចល័តធ្វើបានក្នុងមួយលំយោលពេញ តាងដោយអក្សរ(T) និងមានខ្នាតគិតជា(s)។ |
| – តើខួបរបស់ប៉ោលទោលមានរូបមន្តដូចម្តេច? | | –ខួបរបស់ប៉ោលទោលមានរូបមន្ត $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ |
| **ជំហានទី៣៖** ខ្លឹមសារមេរៀនថ្មី (៣៨នាទី) | | |
| – បង្ហាញប្រព័ន្ធម៉ាស រ៉ឺស័រមួយ ដូចរូប(ក)(សម្ភារៈពិត)។<br>– តើម៉ាសរងនូវកម្លាំងអ្វីខ្លះ?<br>– ធ្វើឱ្យម៉ាស មានចលនារួចសួរ៖ តើប្អូនសង្កេតឃើញម៉ាសមានចលនាដូចម្តេច?<br>– តើកម្លាំងតំណឹងរបស់រឺស័រមាន ទិសដៅដូចម្តេច?<br>– តើរយៈពេលដែលម៉ាសផ្លាស់ទីពី ចំណុចទាបបំផុត(ខាងក្រោម) ទៅដល់ចំណុចខ្ពស់បំផុត ហើយត្រឡប់មកដល់ចំណុចទាបបំផុតវិញហៅថាអ្វី?<br>– បើគេប្តូរម៉ាស តើខួបនៅមានតម្លៃ ដូចមុនឬទេ ?<br>– បើគេប្តូររឺស័រ (រក្សាម៉ាសនៅដដែល) តើខួបនៃលំយោលប្រែប្រួលដែរឬទេ? | រូបទី(ក)<br><br> | –សង្កេត<br>–រងនូវកម្លាំងទំនាញដី និងតំណឹងរបស់រ៉ឺស័រ។<br>–មានចលនាឡើងចុះដដែលៗសងខាងទីតាំងលំនឹង។<br>–មានទិសដៅផ្ទុយពីបំលាស់ទី<br>–ហៅថាខួបនៃចលនា<br>–មិនដូច ។ ដូច។<br>–ប្រែប្រួល។ មិនប្រែប្រួល។ |

| | | |
|---|---|---|
| **សំណួរគន្លឹះ៖** តើខួបនៃលំយោលរបស់ប៉ោលរ៉ឺស័រមានទំនាក់ទំនងដូចម្តេចជាមួយម៉ាស និងថេរកម្រាញនៃរ៉ឺស័រ? | | |




| | | |
|---|---|---|
| – បង្ហាញរូបតុក្កតាដូចខាងលើ<br>– តើប្អូនៗគិតថាចម្លើយរបស់តុក្កតា មួយណាដែលត្រឹមត្រូវ?ទុកពេល ឱ្យគិត(រយៈពេលខ្លី)<br>– ចែកសិស្សជាក្រុម (ឧទាហរណ៍អ្នក រើសយកតុក្កតាទី១ ដាក់មួយក្រុម អ្នករើសតុក្កតាទី២ដាក់មួយក្រុម)<br>– ហេតុអ្វីបានជាប្អូនគិតថា ចម្លើយ ដែលប្អូនជ្រើសរើសត្រឹមត្រូវ?<br>– តើធ្វើដូចម្តេចទើបដឹងថា ចម្លើយ មួយណាត្រឹមត្រូវ?<br>– ឱ្យសិស្សពិភាក្សាបង្កើតប្លង់ពិសោធន៍។ | | – សិស្សចូលតាមក្រុម<br>– គិត<br>– ចូលតាមក្រុម<br>– ពន្យល់ពីមូលហេតុនៃចម្លើយរបស់ពួកគេតាមក្រុមនីមួយៗ។<br>– ធ្វើពិសោធន៍ |

<table>
<tr>
<td>
– ឱ្យសិស្សបង្ហាញបង្កើតប្លង់ពិសោធន៍។<br>
– គ្រូជ្រើសរើសយកប្លង់ពិសោធន៍ណាដែលល្អបំផុត។ បើគ្មានគ្រូចែកប្លង់ពិសោធន៍ឱ្យ។<br><br>
– ចែកសម្ភារៈ និងសន្លឹកកិច្ចការ
</td>
<td>
សម្ភតិកម្មៈ<br>
– ម៉ាសកើន<br>
– ថេរកំរាញ់កើន ខួបថយ<br>
ពិសោធន៍តម្រូវការសម្ភារៈ រឺស័រ៣ មានទំហំខុសគ្នា(ថេរកំរាញខុសគ្នា)កូនទម្ងន់៣ខុសគ្នា ក្រូណូម៉ែត្រ។<br>
ដំណោះស្រាយការពិសោធន៍<br>
១.ភ្ជាប់រ៉ឺស័រទៅចំណុចនឹងមួយហើយចុងម្ខាងទៀតភ្ជាប់ជាមួយកូនទម្ងន់(ដុំម៉ាស)រួចទុកឱ្យប្រព័ន្ធនេះ(ម៉ាសនិងរ៉ឺស័រ)មានលំនឹង ។<br>
២.ទាញម៉ាសចុះក្រោមទីតាំងលំនឹងក្នុងចម្ងាយតូចល្មមរួចលែងវិញ។<br>
៣.ប្រើក្រូណូម៉ែត្រវាស់រយៈពេលដែលយោលបាន១០លំយោលពេញ។ ត្រូវវាស់ចំនួន៣ដង ។<br>
៤.អនុវត្តជំហានទី១ដល់ទី៣ ចំពោះម៉ាសខុសគ្នា ។<br>
៥.អនុវត្តជំហានទី១ដល់ទី៣ ចំពោះរ៉ឺស័រពីផ្សេងទៀតខុសៗគ្នា។<br>
៦.តម្លៃដែលវាស់បានត្រូវកត់ត្រាក្នុងតារាងមួយ។
</td>
<td>
– ពិភាក្សាបង្កើតប្លង់ពិសោធន៍<br><br>
– បង្ហាញបង្កើតប្លង់ពិសោធន៍។<br><br>
– ទទួលសម្ភារៈនិងសន្លឹកកិច្ចការ<br><br>
– ធ្វើពិសោធន៍
</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="3">
លទ្ធផលៈ
</td>
</tr>
</table>

| ចំពោះម៉ាស$m_1$ | | | |
|---|---|---|---|
| វាស់ | ចំនួនលំយោល $n$ | រយៈពេលសរុប$t$ | ខួបលំយោល$T_1 = \frac{t}{n}$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| លើកទី១ | | | |
| លើកទី២ | | | |
| លើកទី៣ | | | |
| ខួបមធ្យម$\bar{T}_1$ | | | |

| ចំពោះម៉ាស$m_2$ | | | |
|---|---|---|---|
| វាស់ | ចំនួនលំយោល $n$ | រយៈពេលសរុប$t$ | ខួបលំយោល$T_2 = \frac{t}{n}$ |
| លើកទី១ | | | |
| លើកទី២ | | | |
| លើកទី៣ | | | |
| ខួបមធ្យម$\bar{T}_2$ | | | |

| ចំពោះម៉ាស$m_3$ | | | |
|---|---|---|---|
| វាស់ | ចំនួនលំយោល $n$ | រយៈពេលសរុប $t$ | ខួបលំយោល$T = t/n$ |
| លើកទី១ | | | |
| លើកទី២ | | | |
| លើកទី៣ | | | |
| ខួបមធ្យម$\bar{T}_3$ | | | |

| ចំពោះ$k_1$ | | | |
|---|---|---|---|
| វាស់ | ចំនួនលំយោលពេញ $n$ | រយៈពេលសរុប$t$ | ខួបលំយោល$T = t/n$ |
| លើកទី១ | | | |
| លើកទី២ | | | |
| លើកទី៣ | | | |
| ខួបមធ្យម$\bar{T}$ | | | |

| ចំពោះ$k_2$ | | | |
|---|---|---|---|
| វាស់ | ចំនួនលំយោលពេញ $n$ | រយៈពេលសរុប$t$ | ខួបលំយោល$T = t/n$ |
| លើកទី១ | | | |
| លើកទី២ | | | |
| លើកទី៣ | | | |
| ខួបមធ្យម$\bar{T}$ | | | |

| ចំពោះ$k_3$ | | | |
|---|---|---|---|
| វាស់ | ចំនួនលំយោលពេញ $n$ | រយៈពេលសរុប$t$ | ខួបលំយោល$T = t/n$ |
| លើកទ១ | | | |
| លើកទី២ | | | |
| លើកទី៣ | | | |
| ខួបមធ្យម$\bar{T}$ | | | |

| | | |
|---|---|---|
| – ឱ្យសិស្សធ្វើបទបង្ហាញតាមក្រុមនីមួយៗ។<br><br>– តាមពិសោធន៍តើប្អូនៗសន្និដ្ឋានបានដូចម្តេច ?<br><br>– បើ $T$ ជាខួប $m$ ជាម៉ាស ហើយ$k$ ជាថេរកំរាញ ។<br><br>តើប្អូនអាចសសេរទំនាក់ទំនងរវាង ខួបជាមួយនឹងម៉ាស ព្រម | **សន្និដ្ឋានៈ**<br>តាមលទ្ធផលពិសោធន៍បង្ហាញថាកាលណាម៉ាសកាន់តែធំខួបកាន់តែធំដែរ ហើយថេរកំរាញនៃរ៉ឺស័រកាន់តែធំខួបកាន់តែតូច។ ដូចនេះខួបរបស់ប៉ោលរ៉ឺស័រសមាមាត្រនឹងម៉ាស ហើយច្រាសសមាមាត្រនឹងថេរកំរាញនៃរ៉ឺស័រ។ គេអាចសរសេរ $T \propto \frac{m}{k}$ | – ឡើងបង្ហាញលទ្ធផលពិសោធន៍<br><br>– តាមលទ្ធផលពិសោធន៍បង្ហាញថាកាលណាម៉ាសកាន់តែធំខួបកាន់តែធំដែរ ហើយថេរកំរាញនៃរឺស័រកាន់តែធំខួបកាន់តែតូច។ ដូចនេះ ខួបរបស់ប៉ោលរ៉ឺស័រសមាមាត្រនឹងម៉ាស ហើយច្រាសសមាមាត្រនឹងថេរកំរាញនៃរ៉ឺស័រ ។<br>– គឺ $T \propto \frac{m}{k}$ |

| | | |
|---|---|---|
| ទាំងថេរកំរាញបានយ៉ាងដូចម្តេច ?<br>– ត្រូវពន្យល់បន្ថែមហើយទាញឱ្យបានរូបមន្តខួប ។ | – $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ | |
| **ជំហានទី៤៖** ពង្រឹងពុទ្ធិ ( ៥នាទី ) | | |
| – តើខួបនៃប៉ោលរ៉ឺស័រឈរមានទំនាក់ទំនងយ៉ាងដូចម្តេចជាមួយម៉ាស ហើយនិងថេរកំរាញ។<br>– ខួបនៃរប៉ោលរ៉ឺស័រដេកមានរូបមន្តដូចម្តេច ? | | – ម៉ាសកាន់តែធំខួបកាន់តែធំហើយបើថេរកំរាញកាន់តែធំខួបកាន់តែតូច<br>– មានរូបមន្តដូចប៉ោលរ៉ឺស័រឈរដែរ ។ |
| **ជំហានទី៥៖** បណ្តាំផ្ញើ ( ៥នាទី ) | | |
| – តើប្អូនសង្កេតឃើញពីការអនុវត្តលំយោលរបស់រ៉ឺស័រក្នុងជីវភាពរស់នៅប្រចាំថ្ងៃ និងក្នុងបច្ចេកទេសលើឧបករណ៍អ្វីខ្លះ ? | | – សិស្សស្តាប់ និងធ្វើកិច្ចការផ្ទះ |

# សន្លឹកកិច្ចការពិសោធន៍ រូបវិទ្យាថ្នាក់ទី១១

## ខួបនៃប៉ោលរ៉ឺស័រ

### វត្ថុបំណង

កំណត់ទំនាក់ទំនងរវាងខួបនៃប៉ោលរ៉ឺស័រ ជាមួយនឹងម៉ាស ហើយនឹងថេរកំរាញនៃរ៉ឺស័រ។

### លំនាំបញ្ហា៖

បើម៉ាសប្រែប្រួលតើខួបនៃលំយោលរបស់ប៉ោលរ៉ឺស័រប្រែប្រួលដែរឬទេ? បើថេរកំរាញនៃរ៉ឺស័រប្រែប្រួល តើខួបនៃលំយោលប្រែប្រួលដែរឬទេ?

### សំណួរគន្លឹះ

..................................................................................................................................

.......................................................................................................................... ...?

### ការបង្កើតសម្មតិកម្ម

..................................................................................................................................

..................................................................................................................................

..................................................................................................................................

..................................................................................................................................

### ពិសោធន៍

**ក. សម្ភារៈចាំបាច់៖** រ៉ឺស័រដែលមានទំហំខុសគ្នាចំនួន៣ កូនទម្ងន់ខុសគ្នាចំនួន៣ ជើងទម្រ ក្រូណូម៉ែត្រ សន្លឹកកិច្ចការពិសោធន៍។

**ខ. ដំណើរការ ឬប្លង់ពិសោធន៍**

..................................................................................................................................
..................................................................................................................................
..................................................................................................................................
..................................................................................................................................
..........................................................................................................

### លទ្ធផល និងសន្និដ្ឋាន

បញ្ចូលលទ្ធផលដែលបានពិសោធន៍ចូលក្នុងតារាងខាងក្រោម

| ចំពោះម៉ាស $m_1$ | | | |
|---|---|---|---|
| វាស់ | ចំនួនលំយោល$n$ | រយៈពេលសរុប $t$ | ខួបនៃលំយោល$T_1 = \frac{t}{n}$ |
| លើកទី១ | | | |
| លើកទី២ | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| លើកទី៣ | | | |
| ខួបមធ្យម$\bar{T}$ | | | |
| ចំពោះម៉ាស $m_2$ | | | |
| វាស់ | ចំនួនលំយោល$n$ | រយៈពេលសរុប $t$ | ខួបនៃលំយោល$T_2 = \frac{t}{n}$ |
| លើកទី១ | | | |
| លើកទី២ | | | |
| លើកទី៣ | | | |
| ខួបមធ្យម$\bar{T}$ | | | |

| ចំពោះម៉ាស $m_3$ | | | |
|---|---|---|---|
| វាស់ | ចំនួនលំយោល$n$ | រយៈពេលសរុប $t$ | ខួបនៃលំយោល $T = {}^{t}/_{n}$ |
| លើកទី១ | | | |
| លើកទី២ | | | |
| លើកទី៣ | | | |
| ខួបមធ្យម$\bar{T}$ | | | |

| ចំពោះ $k_1$ | | | |
|---|---|---|---|
| វាស់ | ចំនួនលំយោល$n$ | រយៈពេលសរុប $t$ | ខួបនៃលំយោល$T = {}^{t}/_{n}$ |
| លើកទី១ | | | |
| លើកទី២ | | | |
| លើកទី៣ | | | |
| ខួបមធ្យម$\bar{T}$ | | | |
| ចំពោះ $k_2$ | | | |
| វាស់ | ចំនួនលំយោល$n$ | រយៈពេលសរុប $t$ | ខួបនៃលំយោល$T = {}^{t}/_{n}$ |
| លើកទី១ | | | |
| លើកទី២ | | | |
| លើកទី៣ | | | |
| ខួបមធ្យម$\bar{T}$ | | | |
| ចំពោះ $k_3$ | | | |
| វាស់ | ចំនួនលំយោល$n$ | រយៈពេលសរុប $t$ | ខួបនៃលំយោល$T = {}^{t}/_{n}$ |
| លើកទី១ | | | |
| លើកទី២ | | | |
| លើកទី៣ | | | |

| ខួបមធ្យម$T$ | |
|---|---|

**សន្និដ្ឋានៈ**

កាលណាម៉ាសកាន់តែធំ គេបានខួប.............................. .................................. បើម៉ាសកាន់តែតូចគេបានខួប ................... ................................... បើម៉ាសថេរតែបើថេរកំរាញកាន់តែតូចខួប .................................... បើថេរកំរាញកាន់តែធំ ខួប. .................................. ………..។ ដូច្នេះគេបានខួបនៃលំយោលគឺ ...............................................ហើយប្រាសសមាមាត្រ ...................................................................................................។

**សំណួរះ**

តើប្អូនៗធ្លាប់ឃើញការអនុវត្តលំយោលរបស់រ៉ឺស័រនៅក្នុងជីវភាពប្រចាំថ្ងៃ និងក្នុងបច្ចេកទេសក្នុងឧបករណ៍អ្វីខ្លះ ?

# កិច្ចតែងការបង្រៀនគំរូទី៣

កាលបរិច្ឆេទ ៖

មុខវិជ្ជា ៖ រូបវិទ្យា

ថ្នាក់ទី ៖ ១២

ជំពូកទី៣ ៖ អគ្គិសនី និងម៉ាញេទិច

មេរៀនទី១ ៖ ដែន និងកម្លាំងម៉ាញេទិច

រយៈពេល ៖៥០នាទី

I.**វត្ថុបំណង**

**១.វិជ្ជាសម្បទា** ៖ រៀបរាប់ពីអន្តរកម្មម៉ាញេទិចបានក្បោះក្បាយតាមរយៈពិសោធន៍។

**២. បំណិនសម្បទា** ៖ បកស្រាយពីទិសដៅកម្លាំងអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចរវាងខ្សែចម្លងពីរឆ្លងកាត់ដោយចរន្តមានទិសដៅដូចគ្នា និងទិសដៅផ្ទុយគ្នាបានត្រឹមត្រូវតាមរយៈការធ្វើពិសោធន៍។

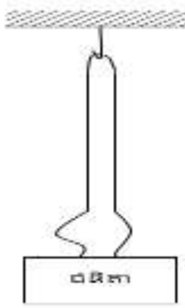
**៣. ចរិយាសម្បទា** ៖ បណ្តុះស្មារតីឱ្យផ្សារភ្ជាប់ទ្រឹស្តីទៅនឹងការអនុវត្តក្នុងជីវភាពប្រចាំថ្ងៃ និងក្នុងបច្ចេកទេសបានត្រឹមត្រូវ។

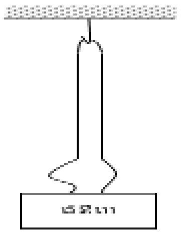
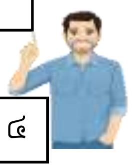
II.**សម្ភារឧបទេស** ៖ សៀវភៅសិក្សាគោល និងសៀវភៅគ្រូថ្នាក់ទី១២ ហ្វឺត ក្តាខៀន ដែកគោល ឬប្រដាប់ខ្វាស់ក្រដាស ខ្សែចម្លងទង់ដែង ថ្មពិល រេអូស្តា (ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត) សន្លឹកកិច្ចការពិសោធន៍។

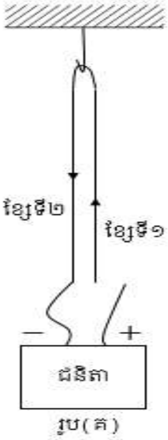
III.**វិធីសាស្ត្របង្រៀន** ៖ វិធីបង្រៀនតាមបែបរិះរក ដោយបញ្ច្រាបតុក្កតាគំនិត

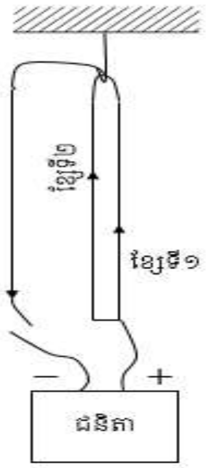
IV.**ដំណើរការបង្រៀន**

| **សកម្មភាពគ្រូ** | **ខ្លឹមសារ** | **សកម្មភាពសិស្ស** |
|---|---|---|
| **ជំហានទី១៖** រដ្ឋបាលថ្នាក់ (៣ នាទី) | | |
| -ពិនិត្យអនាម័យសណ្តាប់ធ្នាប់និងឯសណ្ឋានសិស្ស<br>-ឱ្យប្រធានថ្នាក់រាយការណ៍ពីវត្តមានសិស្ស | -ពិនិត្យអនាម័យ និងសណ្តាប់ធ្នាប់ថ្នាក់រៀន<br>-ពិនិត្យឯកសណ្ឋាន<br>-ពិនិត្យវត្តមានសិស្ស | -សិស្សឈរឱ្យពិនិត្យឯកសណ្ឋាននិងអង្គុយតាមកន្លែងរៀងៗខ្លួន<br>-ប្រធានថ្នាក់រាយការណ៍ពីវត្តមានសិស្ស |
| **ជំហានទី២៖** រំលឹកមេរៀនចាស់ (៥ នាទី) | | |
| -តើអ្នកសង្កេតឃើញដូចម្តេចបើគេដាក់មេដែកពីក្បែរគ្នា?<br>-ហេតុអ្វីបានជាមេដែកអាចមានអំពើលើគ្នាបាន?<br>-គេដាក់ម្ជុលមេដែក | | -ច្រានគ្នា<br>-ទាញគ្នា<br>-មានដែនម៉ាញេទិច<br><br>-មានលំងាក |

| | | |
|---|---|---|
| (ត្រីវិស័យ)នៅជិតខ្សែចម្លងមួយ។តើអ្នកសង្កេតឃើញដូចម្តេច បើគេឱ្យចរន្តឆ្លងកាត់ខ្សែចម្លងនោះ?<br>-បើម្ជុលមេដែកមានលំងាក បញ្ជាក់ថានៅលំហជុំវិញខ្សែចម្លងមានអ្វី?<br>-តើប្រើវិធានអ្វីដើម្បីរកទិសដៅដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តត្រង់?ចូររៀបរាប់?<br>-តើប្អូនសង្កេតឃើញមានអ្វីកើតឡើងបើគេដាក់ខ្សែចម្លងឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនីក្បែរមេដែកមួយ?<br>-តើកម្លាំងដែលមានអំពើលើខ្សែចម្លងមានទិសដៅកំណត់តាមវិធានអ្វី? ចូររៀបរាប់? | | -មានដែនម៉ាញេទិច<br>-វិធានដៃស្តាំ។ម្រាមបួនក្តោបខ្សែចម្លងយ៉ាងណាឱ្យមេដៃស្របតាមទិសដៅចរន្ត ចំណែកទិសដៅដែនម៉ាញេទិចគឺដូចទិសដៅរបស់ម្រាមទាំងបួននោះ។<br>-មានអំពើលើគ្នា<br>-រៀបរាប់ពីវិធានដៃស្តាំ |
| **ជំហានទី៣៖** មេរៀនថ្មី | | |
| -បង្ហាញពិសោធន៍ដូចរូប (ក) ។តើប្អូនសង្កេតឃើញដូចម្តេច?<br>-បង្ហាញពិសោធន៍ដូចរូប (ខ)។<br>តើប្អូនសង្កេតឃើញដូចម្តេច? | រូប(ក)៖ ឱ្យខ្សែចម្លងទាញគ្នា តែមិនឱ្យសិស្សឃើញទិសដៅចរន្តឆ្លងកាត់ខ្សែ(មិនឱ្យឃើញប៉ូលទាំងពីររបស់ជនិតា)<br><br><br>រូប(ខ)៖ ឱ្យខ្សែចម្លងច្រានគ្នា តែមិនឱ្យសិស្សឃើញទិសដៅចរន្ត | -ខ្សែទាំងពីទាញគ្នា<br>-ខ្សែទាំងពីរច្រានគ្នា |

<table>
<tr><td></td><td>ឆ្លងកាត់ខ្សែ(មិនឱ្យឃើញប៉ូលទាំងពីររបស់ជនិតា)<br></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">សំណួរគន្លឹះ៖ តើនៅពេលណាដែលខ្សែចម្លងទាំងពីរច្រានគ្នា ហើយពេលណាពួកវាទាញគ្នា? តើកម្លាំងដែលពួកវាមានអំពើលើគ្នាមានទិសដៅដូចម្ដេច?</td></tr>
<tr><td colspan="3">ខ្សែទាំងពីរទាញគ្នាកាលណាចរន្តឆ្លងកាត់ពួកវាមានទិសដៅដូចគ្នា<br> <br>១<br>ខ្សែទាំងពីរទាញគ្នាកាលណាចរន្តឆ្លងកាត់ពួកវាមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា<br>តើនៅពេលណាដែលខ្សែចម្លងទាំងពីរទាញគ្នា ហើយច្រានគ្នានៅពេលណា?<br> <br>២<br>ខ្សែទាំងពីរច្រានគ្នាកាលណាចរន្តឆ្លងកាត់ពួកវាមានទិសដៅដូចគ្នា<br> <br><br>៤<br>៣<br>ខ្សែចម្លងទាំងពីរច្រានគ្នាកាលណាចរន្តឆ្លងកាត់ពួកវាមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា</td></tr>
<tr><td>-បង្ហាញរូបតុក្កតាគំនិតដល់សិស្សហើយទុកពេលឱ្យសិស្សគិត<br>-តើប្អូនគិតថាមួយណាត្រឹមត្រូវ?<br>-បន្ទាប់មកដាក់សិស្សដែលបានរើសចម្លើយដូចគ្នាក្នុងក្រុមជាមួយគ្នា<br>-ហេតុអ្វីបានជាប្អូនគិតថាវាត្រឹមត្រូវ?<br>-តើត្រូវធ្វើដូចម្ដេចដើម្បីដឹងថាចម្លើយមួយណាពិតជាត្រឹមត្រូវ?</td><td></td><td>-គិតដើម្បីជ្រើសរើសចម្លើយ<br><br>-ចូលតាមក្រុម<br><br>-ពិភាក្សា រួចឡើងឆ្លើយ<br><br>-ធ្វើពិសោធន៍<br><br>-ពិភាក្សាបង្កើតប្លង់ពិសោធន៍<br><br>-បង្ហាញប្លង់ពិសោធន៍</td></tr>
</table>

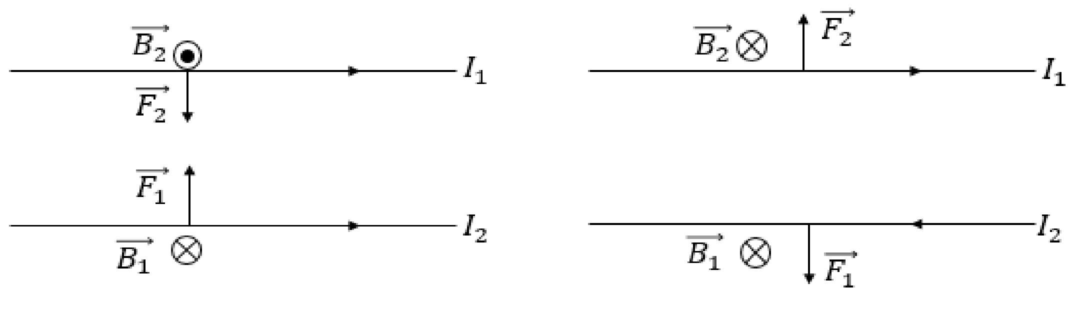
| | | |
|---|---|---|
| -ឱ្យសិស្សពិភាក្សាបង្កើតប្លង់ពិសោធន៍<br>-ឱ្យសិស្សបង្ហាញប្លង់ពិសោធន៍<br>-គ្រូជ្រើសរើសយកប្លង់ពិសោធន៍ណាដែលល្អជាងគេមកអនុវត្ត។បើគ្មានទេគ្រូត្រូវផ្តល់ប្លង់ពិសោធន៍ឱ្យ<br>-ផ្តល់សម្ភារៈ និងសន្លឹកកិច្ចការសម្របសម្រួល | | -ទទួលសម្ភារៈ និងសន្លឹកកិច្ចការធ្វើពិសោធន៍ |
| | **សម្មតិកម្ម**<br>-ខ្សែទាំងពីរទាញគ្នា បើចរន្តឆ្លងកាត់មានទិសដៅដូចគ្នា<br>-ខ្សែទាំងពីរទាញគ្នា បើចរន្តឆ្លងកាត់មានទិសដៅផ្ទុយគ្នា<br>-ខ្សែទាំងពីរច្រានគ្នា បើចរន្តឆ្លងកាត់មានទិសដៅដូចគ្នា<br>-ខ្សែទាំងពីរច្រានគ្នា បើចរន្តឆ្លងកាត់មានទិសដៅដូចគ្នា<br>ពិសោធន៍<br>**សម្ភារៈ**<br>ប្រភពអគ្គិសនីចរន្តជាប់(9V)ខ្សែចម្លងទង់ដែង ទម្រ។<br>**ដំណើរការពិសោធន៍៖**<br><br>រូប(គ)<br>១.តម្លើងសៀគ្វីដូចរូប(គ) ករណីចរន្តមានទិសផ្ទុយដូចគ្នា។ | |

| | | |
|---|---|---|
| | ២.បិទកុងតាក់ហើយសង្កេតថា តើខ្សែចម្លងទាំងពីរទាញ ឬច្រានគ្នា។   រូប(ឃ) <br><br> ៣.តម្លើងសៀគ្វីដូចរូប(ឃ) ករណីចរន្តមានទិសដៅដូចគ្នា។ <br> ៤.បិទកុងតាក់ហើយសង្កេតថា តើខ្សែទាំងពីរច្រានគ្នា ឬទាញគ្នា។ | |

លទ្ធផលៈ លទ្ធផលពិសោធន៍ដាក់ក្នុងតារាងខាងក្រោម។

| ពិសោធន៍ | លើកទី១ | លើកទី២ | លើកទី៣ |
|---|---|---|---|
| ចរន្តមានទិសដៅស្របគ្នា | | | |
| ចរន្តមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា | | | |

| | | |
|---|---|---|
| -ឱ្យសិស្សពិភាក្សាសំណួរៈ <br> -ហេតុអ្វីបានជាខ្សែទាំងពីរទាញគ្នាឬច្រានគ្នា? ចូរគូសទិសដៅកម្លាំងដែលខ្សែទាំងពីរមានអំពើលើគ្នា? | សំណួរពិភាក្សាៈ <br> -ហេតុអ្វីបានជាខ្សែទាំងពីរទាញគ្នាឬច្រានគ្នា? <br> -ខ្សែចម្លងទី១ស្ថិតក្នុងដែនម៉ាញេទិចរបស់ខ្សែចម្លងទី២។ ខ្សែទី២បានបញ្ចេញកម្លាំងលើខ្សែទី១ដែលមានទិសដៅកំណត់តាមវិធានដៃស្តាំ។ចំណែកខ្សែទី២គឺស្ថិតក្នុងដែនម៉ាញេទិចបង្កើតដោយខ្សែទី១ ធ្វើឱ្យវារងនូវកម្លាំងរបស់ខ្សែទី១ដែលកម្លាំងនេះមានទិសដៅកំណត់តាមវិធានដៃស្តាំ។ | -ខ្សែចម្លងទី១ស្ថិតក្នុងដែនម៉ាញេទិចរបស់ខ្សែចម្លងទី២។ ខ្សែទី២បានបញ្ចេញកម្លាំងលើខ្សែទី១ដែលមានទិសដៅកំណត់តាមវិធានដៃស្តាំ។ ចំណែកខ្សែទី២គឺស្ថិតក្នុងដែនម៉ាញេទិចបង្កើតដោយខ្សែទី១ ធ្វើឱ្យវារងនូវកម្លាំងរបស់ខ្សែទី |

<table>
<tr><td></td><td></td><td>១ដែលកម្លាំងនេះមានទិសដៅកំណត់តាមវិធានដៃស្តាំ។</td></tr>
<tr><td>-ក្រោយពីធ្វើពិសោធន៍ ប្អូនបានរកឃើញនូវចម្លើយដែលត្រឹមត្រូវ។ចូរប្អូនធ្វើសេចក្តីសន្និដ្ឋានដោយផ្អែកលើលទ្ធផលពិសោធន៍</td><td>សន្និដ្ឋានៈ<br>• កាលណាគេឱ្យចរន្តឆ្លងកាត់ខ្សែចម្លងពីរដាក់ជិតគ្នា ក្នុងទិសដៅដូចគ្នា គេឃើញខ្សែចម្លងទាំងពីរទាញគ្នាទៅវិញទៅមក។ទិសដៅនៃកម្លាំងដែលទាញគ្នានេះកំណត់តាមវិធានដៃស្តាំ។<br>• កាលណាគេឱ្យចរន្តឆ្លងកាត់ខ្សែចម្លងពីរដាក់ជិតគ្នា ក្នុងទិសដៅផ្ទុយគ្នា គេឃើញខ្សែទាំងពីរប្រានគ្នាទៅវិញទៅមក។ទិសដៅនៃកម្លាំងដែលប្រានគ្នានេះកំណត់តាមវិធានដៃស្តាំ។</td><td>• កាលណាគេឱ្យចរន្តឆ្លងកាត់ខ្សែចម្លងពីរដាក់ជិតគ្នា ក្នុងទិសដៅដូចគ្នា គេឃើញខ្សែចម្លងទាំងពីរទាញគ្នាទៅវិញទៅមក។ទិសដៅនៃកម្លាំងដែលទាញគ្នានេះកំណត់តាមវិធានដៃស្តាំ។<br>• កាលណាគេឱ្យចរន្តឆ្លងកាត់ខ្សែចម្លងពីរដាក់ជិតគ្នា ក្នុងទិសដៅផ្ទុយគ្នា គេឃើញខ្សែទាំងពីរប្រានគ្នាទៅវិញទៅមក។ទិសដៅនៃកម្លាំងដែលប្រានគ្នានេះកំណត់តាមវិធានដៃស្តាំ។</td></tr>
<tr><td colspan="3">ជំហានទី៤៖ ពង្រឹងពុទ្ធិ</td></tr>
<tr><td>-ចូរគូសទិសដៅកម្លាំងអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលខ្សែចម្លងទាំង២មានអំពើលើគ្នា</td><td></td><td>-គូសទិសដៅកម្លាំង</td></tr>
<tr><td colspan="3">
</td></tr>
<tr><td colspan="3">ជំហានទី៥៖ បណ្តាំផ្ញើ ឬកិច្ចការផ្ទះ</td></tr>
<tr><td>-តើប្អូនៗសង្កេតឃើញថាដែនម៉ាញេទិចត្រូវបានគេអនុវត្តក្នុងឧបករណ៍អ្វីខ្លះក្នុងបច្ចេកទេសនិងក្នុងជីវភាពប្រចាំថ្ងៃ ?</td><td></td><td>-ស្តាប់ហើយកត់ទុក</td></tr>
</table>

# សន្លឹកកិច្ចការកម្លាំងអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

-តើអ្នកសង្កេតឃើញដូចម្តេច បើគេដាក់មេដែកពីរក្បែរគ្នា?

..........................................................................................................................................

..........................................................................................................................................

-ហេតុអ្វីបានជាមេដែកអាចមានអំពើលើគ្នាបាន?

..........................................................................................................................................

..........................................................................................................................................

-គេដាក់ម្ជុលមេដែក(ត្រីវិស័យ)នៅជិតខ្សែចម្លងមួយ។ តើអ្នកសង្កេតឃើញដូចម្តេច បើគេឱ្យចរន្តឆ្លងកាត់ខ្សែចម្លងនោះ?

..........................................................................................................................................

..........................................................................................................................................

..........................................................................................................................................

-បើម្ជុលមេដែកមានលំងាកបញ្ជាក់ថានៅលំហជុំវិញខ្សែចម្លងមានអ្វី?

..........................................................................................................................................

..........................................................................................................................................

-តើគេប្រើវិធានអ្វីដើម្បីរកទិសដៅដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តត្រង់?ចូររៀបរាប់ ?

..........................................................................................................................................

..........................................................................................................................................

..........................................................................................................................................

..........................................................................................................................................

..........................................................................................................................................

-តើប្អូនសង្កេតឃើញមានអ្វីកើតឡើងបើគេដាក់ខ្សែចម្លងឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនីក្បែរមេដែកមួយ?

..........................................................................................................................................

..........................................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

-តើកម្លាំងដែលមានអំពើលើខ្សែចម្លងមានទិសដៅកំណត់តាមវិធានអ្វី?ចូររៀបរាប់ ?

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................

– ចំពោះរូបតុក្កតាខាងក្រោម តើប្អូនគិតថាចម្លើយរបស់រូបតុក្កតាមួយណាដែលត្រឹមត្រូវ?ព្រោះអ្វី ?

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

ខ្សែទាំងពីរទាញគ្នាកាលណាចរន្តឆ្លងកាត់ពួកវាមានទិសដៅដូចគ្នា

១

ខ្សែទាំងពីរទាញគ្នាកាលណាចរន្តឆ្លងកាត់ពួកវាមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា

តើនៅពេលណាដែលខ្សែចម្លងទាំងពីរទាញគ្នា ហើយច្រានគ្នានៅពេលណា?

២

៣

ខ្សែទាំងពីរច្រានគ្នាកាលណាចរន្តឆ្លងកាត់ពួកវាមានទិសដៅដូចគ្នា

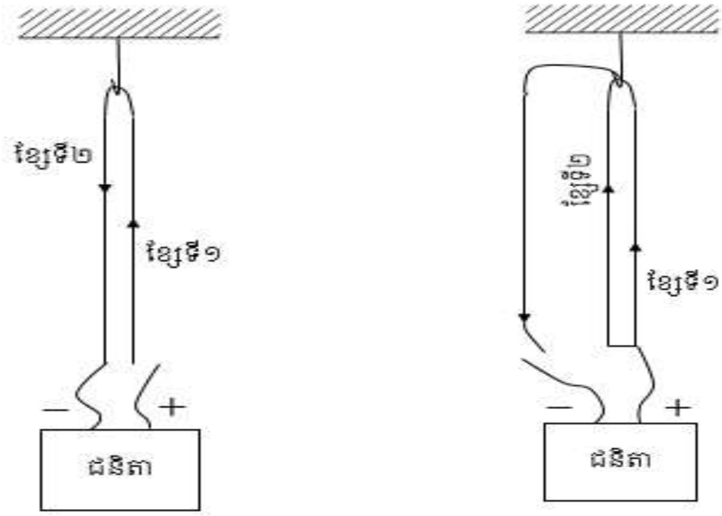
៤

ខ្សែខ្សែទាំងពីរច្រានគ្នាកាលណាខ្សែទាំងពីរច្រានគ្នាកាលណា ចរន្តឆ្លងកាត់ពួកវាមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា

ដើម្បីដឹងថាចម្លើយមួយណាត្រឹមត្រូវ យើងត្រូវ ..............................................................

.....................................................................................................................................

**ប្លង់ពិសោធន៍៖**




ករណីចរន្តមានទិសដៅដូចគ្នា និងករណីចរន្តមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា។

**លទ្ធផលពិសោធន៍៖**

| ពិសោធន៍ | លើកទី១ | លើកទី២ | លើកទី៣ |
|---|---|---|---|
| ចរន្តមានទិសដៅស្របគ្នា | | | |
| ចរន្តមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា | | | |

–ហេតុអ្វីបានជាខ្សែទាំងពីរទាញគ្នា ឬច្រានគ្នា? ចូរគូសទិសដៅកម្លាំងដែលខ្សែទាំងពីរមានអំពើលើគ្នា។

.....................................................................................................................................

.....................................................................................................................................

**សន្និដ្ឋាន៖**

តាមលទ្ធផលពិសោធន៍ ចូរប្អូនៗធ្វើសេចក្តីសន្និដ្ឋានអំពីខ្លឹមសារដែលយើងបានរៀនថ្ងៃនេះ។

.....................................................................................................................................

.....................................................................................................................................

**សំណួរ៖**

ចំពោះរូបខាងក្រោម។ ចូរគូសទិសដៅដែនម៉ាញេទិចបង្កើតដោយខ្សែទី១ នៅលើខ្សែទី២ ។ បន្ទាប់មកគូសទិសដៅដែនម៉ាញេទិចបង្កើតដោយខ្សែទី២ នៅលើខ្សែទី១ ។ រួចគូសកម្លាំងដែលខ្សែនីមួយៗមានអំពើលើគ្នា ។

- តើប្អូនៗសង្កេតឃើញថា ដែនម៉ាញេទិចត្រូវបានគេអនុវត្តក្នុងឧបករណ៍អ្វីខ្លះ ក្នុងបច្ចេកទេស និងក្នុងជីវភាពរស់នៅប្រចាំថ្ងៃ?

  ..........................................................................................................................

  ..........................................................................................................................

  ..........................................................................................................................

## តេស្តវាយតម្លៃ

ឈ្មោះ ....................................

មកពីវិទ្យាល័យ........................

បង្រៀនថ្នាក់ទី........................

ខេត្ត....................................

### តេស្តមុនចូលរៀន (រូបវិទ្យា)

១.តើលំហាត់មានអត្ថន័យយ៉ាងដូចម្តេចខ្លះ? ចូររៀបរាប់?

២.ការដោះស្រាយលំហាត់ តើវាធ្វើឱ្យមានការរីកចម្រើនអ្វីខ្លះចំពោះសិស្ស?

៣. ចូរសរសេរជំហានទាំង៤ សម្រាប់ការដោះស្រាយបញ្ហារបស់Goerge Polya។

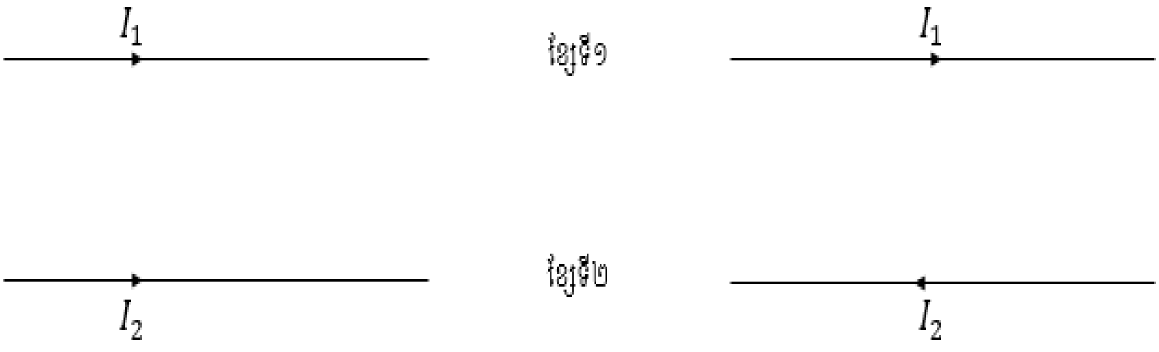
៤. ក្នុងនាមអ្នកជាគ្រូបង្រៀន តើអ្នកបង្រៀនសិស្សរបស់អ្នកឱ្យដោះស្រាយលំហាត់យ៉ាងដូចម្តេច? ចូររៀបរាប់។

៥. ចូរនិយាយពីការដោះស្រាយលំហាត់តាមបែបអនុមានញែក និងអនុមានរួម។

៦ .ចូររៀបចំគម្រោងបង្រៀនតាមតុក្កតាគំនិតលើមេរៀនរូបវិទ្យាណាមួយ។

**សំណួរ៖**

ចំពោះរូបខាងក្រោមនេះ។ ចូរគូសទិសដៅដែនម៉ាញេទិចដែលបង្កើតដោយខ្សែទី១ នៅលើខ្សែទី២។ បន្ទាប់មកគូសទិសដៅដែនម៉ាញេទិចដែលបង្កើតដោយខ្សែទី២ នៅលើខ្សែទី១។ រួចគូសកម្លាំងដែលខ្សែនីមួយៗមានអំពើលើគ្នា។




– តើប្អូនៗសង្កេតឃើញថា ដែនម៉ាញេទិចត្រូវបានគេអនុវត្តក្នុងឧបករណ៍អ្វីខ្លះ ក្នុងបច្ចេកទេស និងក្នុងជីវភាពប្រចាំថ្ងៃ?

........................................................................................................................................

........................................................................................................................................

........................................................................................................................................

........................................................................................................................................

........................................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

ឈ្មោះ ...................................

មកពីវិទ្យាល័យ........................

បង្រៀនថ្នាក់ទី........................

ខេត្ត.....................................

# តេស្តវាយតម្លៃ

**តេស្តក្រោយពេលរៀន (រូបវិទ្យា)**

១.តើលំហាត់មានអត្ថន័យយ៉ាងដូចម្តេចខ្លះ ? ចូររៀបរាប់ ?

២.ពីការដោះស្រាយលំហាត់ តើវាធ្វើឱ្យមានការរីកចម្រើនអ្វីខ្លះចំពោះសិស្ស ?

៣.ចូរសរសេរជំហានទាំង៤ សម្រាប់ការដោះស្រាយបញ្ហារបស់Goerge Polya។

៤. ក្នុងនាមអ្នកជាគ្រូបង្រៀន តើអ្នកបង្រៀនសិស្សរបស់អ្នកឱ្យដោះស្រាយលំហាត់យ៉ាងដូចម្តេច ? ចូររៀបរាប់។

៥. ចូរនិយាយពីការដោះស្រាយលំហាត់តាមបែបអនុមានញែក និងអនុមានរួម។

៦. ចូររៀបចំគម្រោងបង្រៀនតាមតុក្កតាគំនិតលើមេរៀនរូបវិទ្យាណាមួយ។

# ឯកសារយោង


១. ឯកសារវិធីសាស្ត្របង្រៀនរបស់វិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ (២០១៩ - ២០២០)ភ្នំពេញ។

២. សៀវភៅរូបវិទ្យាថ្នាក់ទី១០ របស់ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា (២០១២)ភ្នំពេញ។

៣. សៀវភៅរូបវិទ្យាថ្នាក់ទី១១ របស់ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា ((២០១២. ភ្នំពេញ។

៤. សៀវភៅរូបវិទ្យាថ្នាក់ទី១២ របស់ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា (២០១២)ភ្នំពេញ។

៥ .Raymond A. Serway, John W. Jewett, "Physics for Scientst and Enginners with Modern Physics",$9^{th}$ ed, Brook/Cole Cengage Learning, 2014

៦ .H. Young, and R. A. Freedman, "University Physics with Modern Physics",$12^{th}$ ed, Pearson International Edition,2008.

៧ .Douglas C. Giancoli, "Physics Principle with Applications",$6^{th}$ ed, Pearson Education.Inc.,2005