ឯកទេស

រូបវិទ្យា

សម្រាប់ការបណ្តុះបណ្តាលគ្រូបង្រៀនកម្រិតឧត្តម (បរិញ្ញាបត្រ+២)

២០២៦

បុព្វកថា

ទស្សនៈវិស័យអប់រំនាសតវត្សរ៍ទី២១ បានផ្តោតលើការរីកចម្រើនខ្លាំងផ្នែកវិទ្យាសាស្ត្រ បច្ចេកវិទ្យា និងឌីជីថល (Digital) ដែលជាមូលដ្ឋានគ្រឹះរឹងមាំមួយយ៉ាងសំខាន់ ក្នុងការអភិវឌ្ឍសង្គម និងសេដ្ឋកិច្ច ពិសេសគឺការអភិវឌ្ឍធនធានមនុស្សដើម្បីឆ្ពោះទៅរកគំនិតនវានុវត្តន៍ថ្មីៗ សម្រាប់បម្រើឱ្យសេចក្តីត្រូវការរបស់សង្គមជាតិទាំងមូល។ ដោយសារនិន្នាការពិភពលោក ដែលមានការអភិវឌ្ឍឥតឈប់ឈរ ទើបរាជរដ្ឋាភិបាលកម្ពុជាដែលមានក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា ជាសេនាធិការ បានយកចិត្តទុកដាក់យ៉ាងខ្លាំងលើការបណ្តុះបណ្តាល និងអភិវឌ្ឍធនធានមនុស្សប្រកបដោយចីរភាព។

ឈរលើស្មារតីនេះ ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា បានកំណត់ បានដាក់ចេញនូវគោលដៅជាអាទិភាពសម្រាប់ការធ្វើកំណែទម្រង់វិស័យអប់រំដោយផ្អែកលើ សសរស្តម្ភទាំងប្រាំរួមមាន៖ ១. ការអនុវត្តគោលនយោបាយគ្រូបង្រៀន ២.ការវាយតម្លៃ ៣.ការងារអធិការកិច្ច ៤. កម្មវិធីសិក្សា និងបរិស្ថាន ៥.ឧត្តមសិក្សា។ ដោយឡែក កំណែទម្រង់គ្រូបង្រៀន និងកម្មវិធីសិក្សាជានាឱ្យកម្ពុជាមានធនធានមនុស្ស ដែលមានសមត្ថភាពសម្រាប់ដំណើរការអភិវឌ្ឍលើគ្រប់វិស័យ។ ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡាបានកែលម្អកម្មវិធីសិក្សាគ្រប់មុខវិជ្ជា នៅគ្រប់កម្រិតគ្រប់ភូមិសិក្សារហូតដល់កម្មវិធីបណ្តុះបណ្តាលគ្រូបង្រៀន ដើម្បីឆ្លើយតបនឹងតម្រូវការទីផ្សារ ពលកម្ម ផលប្រយោជន៍របស់អ្នកសិក្សា និងកាន់តែធ្វើឱ្យប្រសើរឡើង នូវគុណភាពអប់រំ ក្នុងគោលបំណងឆ្លើយតបទៅនឹងការវិវឌ្ឍរបស់ពិភពលោក និងគោលដៅយុទ្ធសាស្ត្របញ្ចកោណរបស់រាជរដ្ឋាភិបាលកម្ពុជា។

សៀវភៅសិក្សាគោលនេះ ត្រូវបានកសាងឡើងដោយគ្រូឧទ្ទេសវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ ដើម្បីកសាងឧត្តមភាពគុណវុឌ្ឍគ្រូបង្រៀន ទៅតាមទស្សនៈ និងចក្ខុវិស័យថ្មី ជាមួយនឹងខ្លឹមសារបែបវិទ្យាសាស្ត្រ បែបបញ្ញត្តិសិក្សា និងបញ្ចូលគុណសម្បទាសតវត្សរ៍ទី២១ បន្ថែមទៅលើគុណសម្បទាពលរដ្ឋសកល។

វិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំសង្ឃឹមថា គ្រប់ស្ថាប័នអប់រំ ស្ថាប័នពាក់ព័ន្ធ និងអ្នកមានចំណាប់អារម្មណ៍ទាំងអស់ចូលរួមគាំទ្រសហការជាមួយក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា អនុវត្តលើ កម្មវិធីបណ្តុះបណ្តាលនេះ ដើម្បីពង្រឹងសក្តានុពលរបស់គ្រូបង្រៀននៅគ្រប់កម្រិតសិក្សាទាំងអស់ ដើម្បីអភិវឌ្ឍជំនាញវិជ្ជាជីវៈជាគ្រូបង្រៀនឱ្យកាន់តែល្អប្រសើរឡើង។

វិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំសូមថ្លែងអំណរគុណយ៉ាងជ្រាលជ្រៅ និងកោតសរសើរចំពោះ គណៈ កម្មការអភិវឌ្ឍកម្មវិធីបណ្តុះបណ្តាលគ្រូបរិញ្ញាបត្រ+១ ផ្នែកឯកទេស អ្នកបច្ចេកទេស លោកគ្រូ អ្នកគ្រូ ដែលបានខិតខំប្រឹងប្រែងយកអស់កម្លាំងកាយចិត្ត និងប្រាជ្ញាធ្វើឱ្យស្នាដៃដ៏មានសារៈសំខាន់នេះ សម្រេចបានដើម្បីជាប្រយោជន៍ដល់សង្គមជាតិយើង។

ថ្ងៃ ខែ ឆ្នាំម្សាញ់ សប្តស័ក ព.ស.២៥៦៩

រាជធានីភ្នំពេញ ថ្ងៃទី ខែ ឆ្នាំ២០២៥

នាយកវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ

អារម្ភកថា

ធនធានមនុស្សជាកម្លាំងយ៉ាងសំខាន់ សម្រាប់ការអភិវឌ្ឍសង្គមជាតិ ឱ្យទទួលបានជោគជ័យ។ គោលដៅចម្បងរបស់ផែនការអភិវឌ្ឍសង្គមសេដ្ឋកិច្ច គឺការរៀបចំប្រជាជនយើងឱ្យក្លាយទៅជាពលរដ្ឋពេញលេញដែលប្រកបទៅដោយវិជ្ជាសម្បទា បំណិនសម្បទា ចរិយាសម្បទា និងកាយសម្បទា ដែលការអប់រំជាយុទ្ធសាស្ត្រយ៉ាងសំខាន់ ដើម្បីឈានទៅសម្រេចបានគោលដៅអភិវឌ្ឍន៍ប្រជាជាតិប្រកបដោយជោគជ័យ។

ដូចនេះ ការកែលម្អវិស័យអប់រំជាការធានានូវការលើកកម្ពស់គុណភាពអប់រំដែលជានិន្នាការរួមរបស់បណ្តាប្រទេសក្នុងពិភពលោក។ ចំណែកឯការអភិវឌ្ឍសមត្ថភាពលើមុខវិជ្ជាឯកទេសរូបវិទ្យាសម្រាប់ការបង្រៀន គឺជាស្នូលនៃការបង្កើនគុណភាព និងប្រសិទ្ធភាពអប់រំ។ ឈរលើស្មារតីនេះ ក្រុមគ្រូឧទ្ទេសរូបវិទ្យាបានកសាងសៀវភៅសិក្សាគោលរូបវិទ្យាសម្រាប់ប្រើប្រាស់ក្នុងការបណ្តុះបណ្តាលគរុនិស្សិតបរិញ្ញាបត្រ+2

សៀវភៅសិក្សាគោលត្រូវបានរៀបចំជាពីរផ្នែកគឺ ពិសោធន៍ និងទ្រឹស្តី ព្រមទាំងកិច្ចការស្រាវជ្រាវរបស់គរុនិស្សិត។ នៅក្នុងឯកសារនេះមានខ្លឹមសារមេរៀន ដូចជាពិសោធន៍មេកានិច អគ្គិសនី ម៉ាញេទិច អេឡិចត្រូនិច អុបទិក ទែម៉ូឌីណាមិក រូបវិទ្យាទំនើប ។

គណៈកម្មការរៀបចំសៀវភៅសិក្សាគោលនេះ នឹងផ្តល់មូលដ្ឋានគ្រឹះដ៏មានប្រយោជន៍ សម្រាប់អ្នកអនុវត្តការបណ្តុះបណ្តាល ឬបំប៉នក្នុងវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ ប្រកបដោយគុណភាព ប្រសិទ្ធភាពខ្ពស់ និងជំរុញឱ្យការអប់រំនៅកម្ពុជាមានការអភិវឌ្ឍដូចបណ្តាប្រទេសនានាក្នុងតំបន់ និងលើសកលលោក។

គណៈកម្មការរៀបចំសៀវភៅ

ចងក្រង និងបោះពុម្ពដោយ៖ វិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ ឆ្នាំ២០២៦
គាំទ្រថវិការដោយវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ
© វិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា ឆ្នាំ២០២៦

គណៈកម្មការនិពន្ធ

— លោក ទូច ចន្ទទុំ — លោក បូ ចាន់ថា
— លោក ស្រ៊ន់ តៃស្រ៊ីម — លោក ហាម ចិន្តា

គណៈកម្មការត្រួតពិនិត្យ និងកែលម្អ

— លោក មាស ចាន់ — លោក ផែន សារឹត — លោក ឃី មឿយ

គណៈកម្មការរចនា

— លោក ស្រ៊ន់ តៃស្រ៊ីម — លោក ទូច ចន្ទទុំ
— លោក បូ ចាន់ថា

គណៈកម្មការគ្រប់គ្រង

— ឯកឧត្តមបណ្ឌិត សៀង សុវណ្ណា — លោក ម៉ៅ សារឿន
— បណ្ឌិត ឡឹយ សុគា

សេចក្តីផ្តើម

ការបណ្តុះបណ្តាល គរុនិស្សិតផ្នែករូបវិទ្យានៅវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ ហូតមកដល់បច្ចុប្បន្ននេះមានរយៈពេលម្ភៃប្រាំឆ្នាំមកហើយ។

វិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំបានបើកដំណើរការបណ្តុះបណ្តាល បរិញ្ញាបត្រ+២ (ឆ្នាំ២០២១ ~ ២០២២) ហើយតម្រូវឱ្យគរុនិស្សិតរូបវិទ្យាមួយចំនួន ត្រូវសិក្សារយៈពេលពីរឆ្នាំនៅវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ។ ដូចនេះវាចាំបាច់ណាស់ត្រូវធ្វើការកែសម្រួលកម្មវិធីសិក្សា ដើម្បីជានាឱ្យត្រូវនឹងបរិបទថ្មីនៃប្រទេសកម្ពុជា នៅក្នុងតំបន់ និងក្នុងពិភពលោក ដែលផ្តោតការយកចិត្តទុកដាក់លើ STEM, បញ្ញាសិប្បនិម្មិត (AI), ឧស្សាហម្ម4.0 និងជំនាញសតវត្សរ៍ទី២១។ល។

កម្មវិធីសិក្សានេះរួមមាន ៦ក្រេឌីតស្មើនឹង ១២០ម៉ោង (ក្នុងនោះទ្រឹស្តី 60 ម៉ោង និងអនុវត្តន៍ 60 ម៉ោង ដែលគរុនិស្សិតតម្រូវឱ្យសិក្សាដោយខ្លួនឯងចំនួន 10ម៉ោងក្នុងមួយសប្តាហ៍) ចែកចេញជាបីផ្នែក៖ ផ្នែកទី១ ទ្រឹស្តីសំខាន់ៗ និងពិសោធន៍(ពិសោធដោយប្រើសម្ភារៈជាក់ស្តែង និង E-Lab)(២ក្រេឌីត) ផ្នែកទី២ អេឡិចត្រូនិក (ការបញ្ចូល និងប្រើប្រាស់ Software Engineering និង Micro-Controller និង coding)(២ក្រេឌីត) និងផ្នែកទី៣ រូបវិទ្យាទំនើប (២ក្រេឌីត)។
គណៈកម្មការនិពន្ធយើងខ្ញុំសង្ឃឹម និងជឿជាក់យ៉ាងមុតមាំថា គរុនិស្សិតនឹងទទួលបាននូវ វិជ្ជាសម្បទា បំណិនសម្បទា និងចរិយាសម្បទា ពិតប្រាកដ ដើម្បីក្លាយជាពលរដ្ឋ ដែលមានសក្តានុពល ចូលរួមចំណែកក្នុង៖ (១) ការបង្ហាត់បង្រៀនសិស្សនៅសាលាមធ្យមសិក្សាទុតិយភូមិ (២) ការកសាងធនធានមនុស្សសម្រាប់ប្រទេសកម្ពុជា ដែលចូលរួមចំណែកក្នុងការអភិវឌ្ឍ និងការពារពិភពលោក ចៀសផុតពីការកើនកម្តៅនៃភពផែនដី ការបំផ្លាញបរិស្ថាន (ពិភពលោកគ្មានផ្សែង)... ក្រោយពេលបានបញ្ចប់ការបណ្តុះបណ្តាលវិជ្ជាជីវៈជាគ្រូបង្រៀននៅវិទ្យាស្ថានជាតិអប់រំ។

មាតិកា

ពិសោធន៍ ការប្រើប្រាស់កាលីព័រ 1

ពិសោធន៍ ការវាស់ម៉ាសមាឌ 6

ពិសោធន៍ការប្រើប្រាស់ម៉ុលទីម៉ែត្រ 9

ពិសោធន៍ទន្លាក់សេរី 14

ពិសោធន៍ រង្វាស់មេគុណកកិត 18

កកិតនឹងថ្កល់ 18

កកិតដោយរអិល 22

ពិសោធន៍ប៉ោលទោល 25

(**ប៉ោល - លំយោលអាកម៉ូនិកខាយ**) 25

រង្វាស់កម្ដៅម៉ាសរបស់អង្គធាតុ(**ទង់ដែង**) 34

ដែនអគ្គិសនី និងប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនី 37

ពិសោធន៍ទី រង្វាស់រេស៊ីស្តង់ និងច្បាប់អូម 54

សៀគ្វីស្ពានវីស្តុន 62

ច្បាប់គៀរឆុប 67

រង្វាស់កម្លាំងអគ្គិសនីចលករនៃថ្មពិលដោយប្រើប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ និងវ៉ុលម៉ែត្រ 73

រង្វាស់ស្ពានកាប៉ាស៊ីតេ និងបង្គុំកុងដង់ 79

សៀគ្វីRC (**ថេរពេល**) 83

កម្លាំងម៉ាញេទិច(**បម្លាស់ទីរបស់កំណាត់របារលោហ:**) 93

សៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់ RL 97

សៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់RC **និង** RLC 106

ដំណើរការសមាសធាតុអេឡិចត្រូនិក 114

ពិសោធន៍ទ្វារតក្ក 141
ពិសោធន៍ចំណាំងផ្លាត និងចំណាំងបែរនៃពន្លឺ 156
ពិសោធន៍ចម្ងាយគំលាំរបស់ឡង់ទី 159
កិច្ចការស្រាវជ្រាវរបស់គរុនិស្សិត 169
មេរៀនទី១៖ រូបវិទ្យាធៀប 171
1.1 **គោលការណ៍ធៀបហ្គាលីលេ** 171
1.2 ពិសោធន៍ Michelson-Morley 177
1.3 **គោលការណ៍ធៀបរបស់អាញស្តាញ**(Einstein’s Principle of Relativity) 180
1.4 **វិបាកនៃទ្រឹស្តីធៀប៖** 183
1.4.1 ភាពដំណាលគ្នា និងធៀបភាពនៃរយៈពេល 183
1.4.2 ការរីកនៃពេល៖ 186
1.4.3 ភាពរួញនៃប្រវែង៖ 188
1.5 **បំលែងរបស់ឡូរ៉ង់**(The Lorentz Transformations) 189
1.5.1 បំលែងកូអរដោនេរបស់ឡូរ៉ង់៖ 189
1.5.2 បំលែងនៃវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ឡូរ៉ង់៖ 192
1.6 **បរិមាណចលនាធៀប៖** 194
1.6.1 ធៀបភាព ច្បាប់ទី២ញូតុន៖ 196
1.6.2 ថាមពលស៊ីនេទិចធៀប៖ 197
1.6.3 អេឡិចត្រុងវ៉ុល(eV)៖ 200
មេរៀនទី២៖ សេចក្តីផ្តើមនៃរូបវិទ្យាកង់ទិច 202
2.1 បន្សាយស្មើនៃអង្គធាតុខ្មៅ និងសម្មតិកម្មប្លង់៖ 202
2.1.1 បន្សាយស្មើនៃអង្គធាតុខ្មៅ៖ 202
2.1.2 សម្មតិកម្មប្លង់៖ 207

2.2 ផលផូតូអគ្គិសនី៖ 210

2.3 ផលកំតុង (Compton Effect)៖ 214

2.4 ធម្មជាតិនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច៖ 221

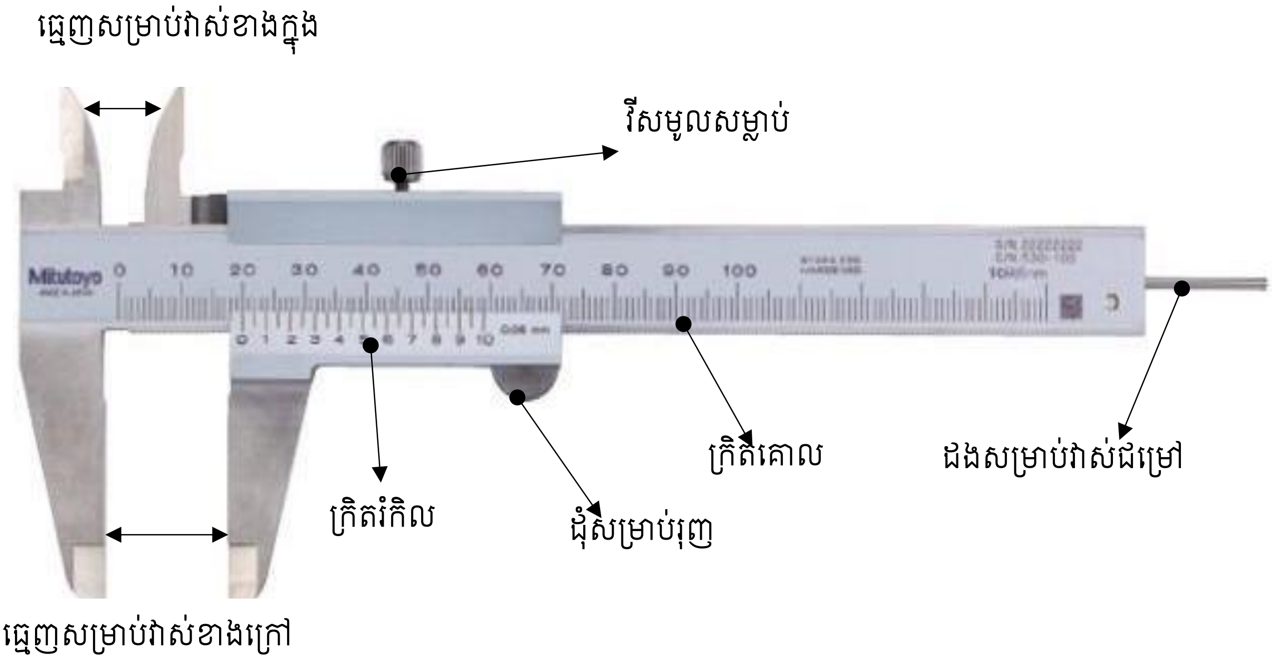
2.5 លក្ខណៈរលករបស់ភាគល្អិត៖ 222

2.6 ភាគល្អិតកង់ទិច៖ 223

2.7 ពិនិត្យពិសោធន៍រន្ធះពីរ៖ 229

2.8 គោលការណ៍នៃភាពមិនជាក់លាក់៖ 230

ពិសោធន៍ ការប្រើប្រាស់កាលីព័រ



- **របៀបប្រើប្រាស់**

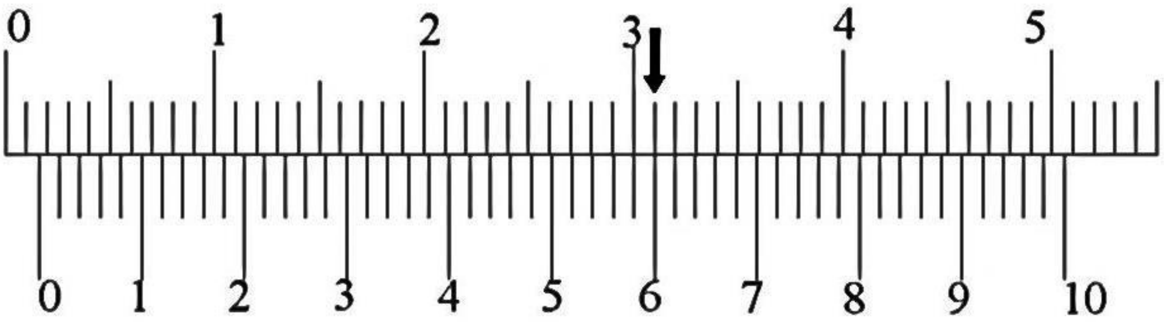
ក. តួនាទីបំណែកនីមួយៗរបស់ម៉ែត្រកៀបមានដូចខាងក្រោម៖

- ធ្មេញសម្រាប់វាស់ខាងក្នុង ៖ ប្រើសំរាប់វាស់ប្រវែង និងមុខកាត់ផ្នែកខាងក្នុង
- ធ្មេញសម្រាប់វាស់ខាងក្រៅ ៖ ប្រើសំរាប់វាស់ប្រវែង និងមុខកាត់ផ្នែកខាងក្រៅ
- ដងសម្រាប់វាស់ជម្រៅ ៖ ប្រើសំរាប់វាស់កម្ពស់ជម្រៅចង្អូរ ឬគន្លាក់
- វីសមូលសម្លាប់ ៖ ប្រើសំរាប់មួររឹតលើក្រិតរំកិលកុំឲ្យបំលាស់ទីនៅពេលធ្វើការអានតម្លៃខ្នាត
- ដុំរុញ ឬក្បាលរុយ ៖ ប្រើសំរាប់រុញឬទាញក្រិតរំកិលឲ្យបំលាស់ទីនៅពេលធ្វើការវាស់ខ្នាត
- មាត្រដ្ឋានកៀប ឬក្រិតរំកិល ៖ ប្រើសំរាប់កំណត់តម្លៃលេខដែលនៅខាងក្រោយក្បៀស ឬចំនួនទសភាគ
- មាត្រដ្ឋានចម្បង ឬក្រិតគោល ៖ ប្រើសំរាប់កំណត់តម្លៃលេខគោល ឬចំនួនគត់។

ខ. របៀបអានគំនូសក្រិត

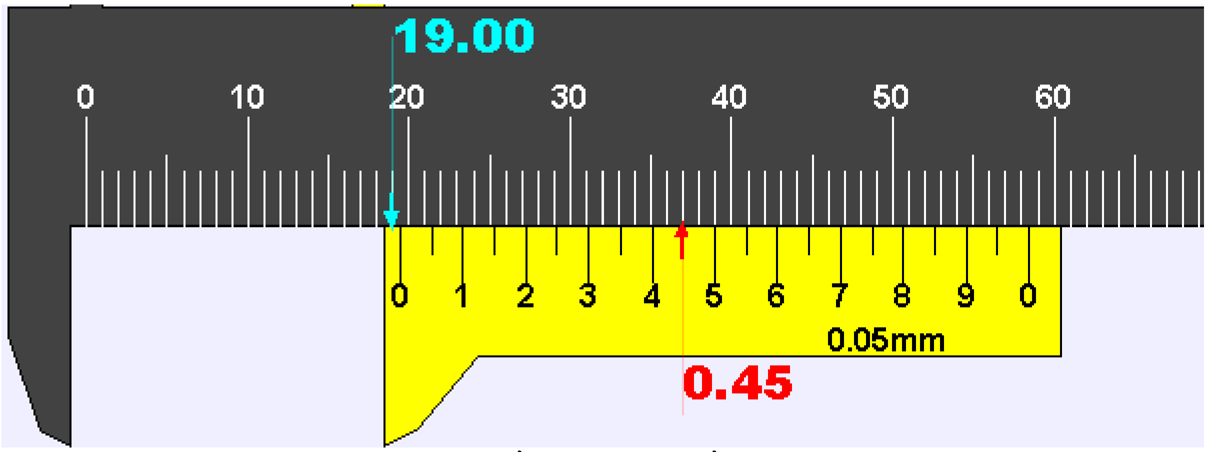
- អានតម្លៃនៅលើក្រិតគោល(ជាចំនួនគត់) ដោយរាប់ចំនួនប្រឡោះក្រិតពីគំនូសសូន្យនៅលើក្រិតគោលរហូតដល់គំនូស(នៅលើក្រិតគោល)ដែលចង្អុលដោយគំនូសសូន្យនៅលើក្រិតរំកិល។ មួយប្រឡោះក្រិតស្មើ $1\ mm$ (១ មីលីម៉ែត្រ)។

- អានតម្លៃនៅលើក្រិតរំកិល តម្លៃលេខនៅលើក្រិតរំកិលជាចំនួនទសភាគ(លេខក្រោយក្បៀស) ។ អានតម្លៃនៅលើក្រិតរំកិល ដោយរាប់ពីគំនូសសូន្យរហូតដល់គំនូសក្រិតដែលត្រួតស៊ីគ្នាបំផុតជាមួយគំនូសក្រិតនៅលើក្រិតគោល។ បន្ទាប់មកយកចំនួនប្រឡោះក្រិតដែលអានបាននៅលើក្រិតរំកិលគុណនឹងកម្រិតល្អៀង (អាច 0.02 និង 0.05)។



រូបទី២៖ ម៉ែត្រកៀបដែលកម្រិតល្អៀង $0.02\ mm$

- ចំពោះរូបទី២ តម្លៃអាននៅលើក្រិតគោលគឺ $1\ mm$ ។ ចំនួនប្រឡោះក្រិតនៅលើក្រិតរំកិលគឺ 30 ប្រឡោះ ដូច្នេះតម្លៃអាននៅលើក្រិតរំកិលគឺ $30 \times 0.02\ mm = 0.6\ mm$ ។
- ដូចនេះតម្លៃដែលវាស់បានគឺ $1\ mm + (30 \times 0.02\ mm) = 1.6\ mm$



រូបទី៣៖ ម៉ែត្រកៀបដែលកម្រិតល្អៀង $0.05\ mm$

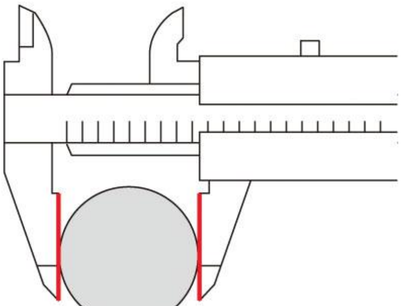
ចំពោះរូបទី៣ តម្លៃអាននៅលើក្រិតគោលគឺ $19\ mm$ ។ ហើយចំនួនប្រឡោះក្រិតនៅលើក្រិតរំកិលគឺ 9 ប្រឡោះក្រិត នោះតម្លៃអាននៅលើក្រិតរំកិលគឺ $9 \times 0.05\ mm = 0.45\ mm$ ។

- ដូចនេះតម្លៃដែលវាស់បានគឺ $19\ mm + (9 \times 0.05\ mm) = 19.45\ mm$ ។

គ.វិធីវាស់៖ ក្នុងការវាស់ដោយប្រើម៉ែតកៀប មានច្រើនចំណុចដែលយើងត្រូវវាស់៖

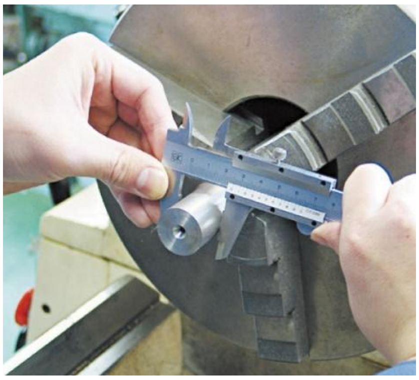
១. ការវាស់វិមាត្រក្រៅ

- ដាក់ដុំការងារ(វត្ថុដែលត្រូវវាស់)នៅនឹងមួយកន្លែង
- ទាញមាត់របស់ម៉ែតកៀប(ធ្មេញឬថ្គាមសម្រាប់វាស់ខាងក្រៅ)ឲ្យបានធំជាងដុំការងារបន្តិច ហើយយកទៅស៊កចូលដុំការងារ
- ប្រើមេដៃរុញដុំរុញ(មើលរូប១)ឲ្យធ្មេញសម្រាប់ក្រៅ កៀបដុំការងារបំផុតដែលអាចធ្វើបាន
- ត្រូវដាក់ធ្មេញម៉ែត្រកៀបឲ្យកែងនឹងដុំការងារឲ្យបានត្រឹមត្រូវ
- បន្ទាប់មកអានតម្លៃឲ្យបានត្រឹមត្រូវ



រូបទី៤៖ បង្ហាញពីការវាស់វិមាត្រក្រៅ។

ការវាស់មិនត្រឹមត្រូវ



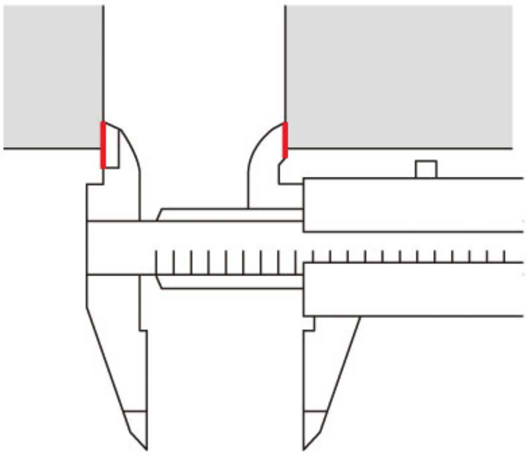
ការវាស់ត្រឹមត្រូវ

រូបទី៥៖ បង្ហាញពីការដាក់ម៉ែត្រកៀបដែលត្រឹមត្រូវ និងមិនត្រឹមត្រូវ

២.ការវាស់វិមាត្រខាងក្នុង

- ស៊កធ្មេញសម្រាប់វាស់ខាងក្នុងរបស់ម៉ែត្រកៀប ចូលក្នុងដុំការងារ(វត្ថុដែលត្រូវវាស់)ដូចរូបទី៦
- ហើយយកមេដៃទាញដុំរុញរបស់ម៉ែត្រកៀបឲ្យអឹបបំផុតដែលអាចធ្វើទៅបាន

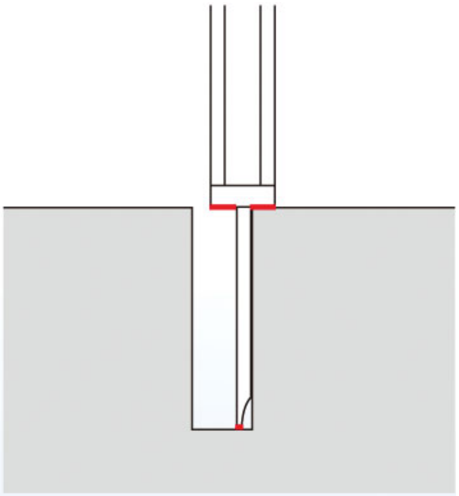
រួចអានតម្លៃឲ្យបានត្រឹមត្រូវ



រូបទី៦៖ បង្ហាញពីការវាស់វិមាត្រក្នុង

៣.ការវាស់ជម្រៅ

- ប្រើមេដៃទាញជំរុញដើម្បីឲ្យដងសម្រាប់វាស់ជម្រៅរបស់ម៉ែត្រកៀបលៀនចេញ
- ស៊កដងវាស់ជម្រៅចូលទៅក្នុងប្រហោងដែលត្រូវវាស់
- អានតម្លៃឲ្យបានត្រឹមត្រូវ



រូបទី៧៖ បង្ហាញពីការវាស់ជម្រៅរបស់ម៉ែត្រកៀប។

បំរុងប្រយ័ត្ន មុននិងក្រោយពេល ប្រើប្រាស់ម៉ែត្រកៀប

- មុនពេលប្រើប្រាស់ម៉ែត្រកៀបត្រូវជូតជាមួយក្រណាត់ទន់ៗហើយស្អាត
- ត្រួតពិនិត្យភាពសុក្រិតរបស់ម៉ែត្រកៀប
- ធូលីដែលជាប់នៅលើមាត់ម៉ែត្រកៀប ដែលអាចឲ្យយើងអានតម្លៃខ្វាតខុសប្រហែល 0,003-0,005 mm។
- ជូតធូលីនិងប្រេងចេញក្រោយពេល ប្រើប្រាស់ម៉ែត្រកៀប បន្ទាប់មកដាក់វាចូលក្នុងប្រអប់ដាក់ឧបករណ៍ឲ្យបានត្រឹមត្រូវ។

- កុំយកម៉ែត្រកៀប ទៅគូសឬដំ និងគាស់ឡើយ
- មិនត្រូវធ្វើឲ្យម៉ែត្រកៀបធ្លាក់ឡើយ
- ដាក់ឧបករណ៍វាស់ឲ្យមានសណ្តាប់ធ្នាប់

ពិសោធន៍ ការវាស់ម៉ាសមាឌ

១. វត្ថុបំណង៖

- ការប្រើប្រាស់កាលីព័រ និងជញ្ជីង
- កត្តាកំណត់ម៉ាសមាឌ
- គណនាមាឌអាតូម

២. ទ្រឹស្តី៖

- រង្វាស់ដោយប្រើកាលីបព័រ និងជញ្ជីង
- ម៉ាសមាឌនៃសារធាតុ

៣. ពិសោធន៍៖

ក. សំណួរគន្លឹះ

តើវត្ថុដែលមានម៉ាសខុសគ្នា មានជាតុគីមីដូចគ្នា ម៉ាសមាឌរបស់វាយ៉ាងដូចម្តេច?

ខ. ការបង្កើតសម្មតិកម្ម៖

- សារធាតុពីរដែលធ្វើឡើងពីដែកដូចគ្នា មានម៉ាសខុសគ្នា តើវាមានម៉ាសមាឌស្មើគ្នាឬទេ?

....

....

....

- សារធាតុពីរដែលធ្វើឡើងពីសំណដូចគ្នា មានម៉ាសខុសគ្នា តើវាមានម៉ាសមាឌស្មើគ្នាឬទេ?

....

....

....

- សារធាតុពីរដែលធ្វើឡើងពីទង់ដែងដូចគ្នា មានម៉ាសខុសគ្នា តើវាមានម៉ាសមាឌស្មើគ្នាឬទេ?

....

....

....

- សារធាតុពីរដែលធ្វើឡើងពីអាលុយមីញ៉ូមដូចគ្នា មានម៉ាសខុសគ្នា តើវាមានម៉ាសមាឌស្មើគ្នាឬទេ?

....

....

គ. ពិសោធន៍៖

- **សម្ភារៈចាំបាច់៖** កាលីបព័រ សំណ អាលុយមីញ៉ូម ទង់ដែង ដែក និងជញ្ជីង
- **ដំណើរការពិសោធ៖**
  - វាស់កម្ពស់ បណ្ដោយ និងទទឹងដើម្បីគណនាមាឌរបស់សារធាតុ
  - ថ្លឹងម៉ាសនៃសារធាតុ
  - គណនាម៉ាសមាឌនៃសារធាតុ
  - ធ្វើដូចគ្នាចំពោះម៉ាសផ្សេងៗទៀត

ឃ. លទ្ធផល៖

វត្ថុ	**មាឌ** (cm^3)	**ម៉ាស** (kg)	**ម៉ាសមាឌ** (kg/cm^3)

ង. សន្និដ្ឋាន៖

វត្ថុដែលមានមាឌដូចគ្នាគឺ៖

....

....

....

វត្ថុដែលបង្កើតពីធាតុគីមីតែមួយមានៈ

....

....

....

ប្រៀបធៀបម៉ាសមាឌដែលរកឃើញជាមួយតារាងខាងក្រោម រួចកំណត់អត្តសញ្ញាណធាតុគីមីនោះ

....

....

....

ដូចនេះ កត្តាដែលកំណត់ម៉ាសមាឌគឺ ....និង

....

តារាងម៉ាសមាឌនៃសារធាតុមួយចំនួន

សារធាតុ	**ម៉ាសមាឌ** (kg/m^3)
មាស	19.3×10^3
អ៊ីយ៉ាញ៉ូម	18.7×10^3
សំណ	11.3×10^3
ទង់ដែង	8.93×10^3
ដែក	7.89×10^3
អាលុយមីញ៉ូម	2.70×10^3
ទឹក	1.00×10^3
សំលោហៈ(ទង់ដែង៦០ និងសង្ក័សី ៤០)	8.52×10^3
ស័ង្កសី	7.14×10^3
ម៉ាញេស្យូម	1.75×10^3

ពិសោធន៍ការប្រើប្រាស់ម៉ុលទីម៉ែត្រ

១. វត្ថុបំណង៖

- បង្ហាញពីរបៀបប្រើម៉ុលទីម៉ែត្រ។
- បង្ហាញមុខងារ និងអានតម្លៃលេខតាមកាលីបរបស់មុលទីម៉ែត្រឱ្យបានត្រឹមត្រូវ។

  មុលទីម៉ែត្រមានមុខងារច្រើនយ៉ាង ប៉ុន្តែយើងសិក្សាតែអំពែម៉ែត្រ វ៉ុលម៉ែត្រ និងអូមម៉ែត្រ។ មុលទីម៉ែត្រមានពីរប្រភេទគឺ មុលទីម៉ែត្រលេខ និងមុលទីម៉ែត្រទ្រនិច។

២. មុខងាររបស់មុលទីម៉ែត្រទ្រនិច៖

(១) ច (អេក្រង់) បង្ហាញតម្លៃលេខ

(២) ប្រដាប់សម្រាប់ជ្រើសរើសកាលីប (ដើម្បីជ្រើសរើសមុខងាររបស់វាជាអំពែម៉ែត្រ វ៉ុលម៉ែត្រ និងអូមម៉ែត្រ)។

(៣) DCmA មានមុខងារជាអំពែម៉ែត្រសម្រាប់វាស់ចរន្តជាប់។

(៤) DCV មានមុខងារជាវ៉ុលម៉ែត្រសម្រាប់វាស់តង់ស្យុងជាប់។

(៥) ACV មានមុខងារជាវ៉ុលម៉ែត្រសម្រាប់វាស់តង់ស្យុងឆ្លាស់។

(៦) (Ω) មានមុខងារជាអូមម៉ែត្រសម្រាប់វាស់តម្លៃរេស៊ីស្តង់។

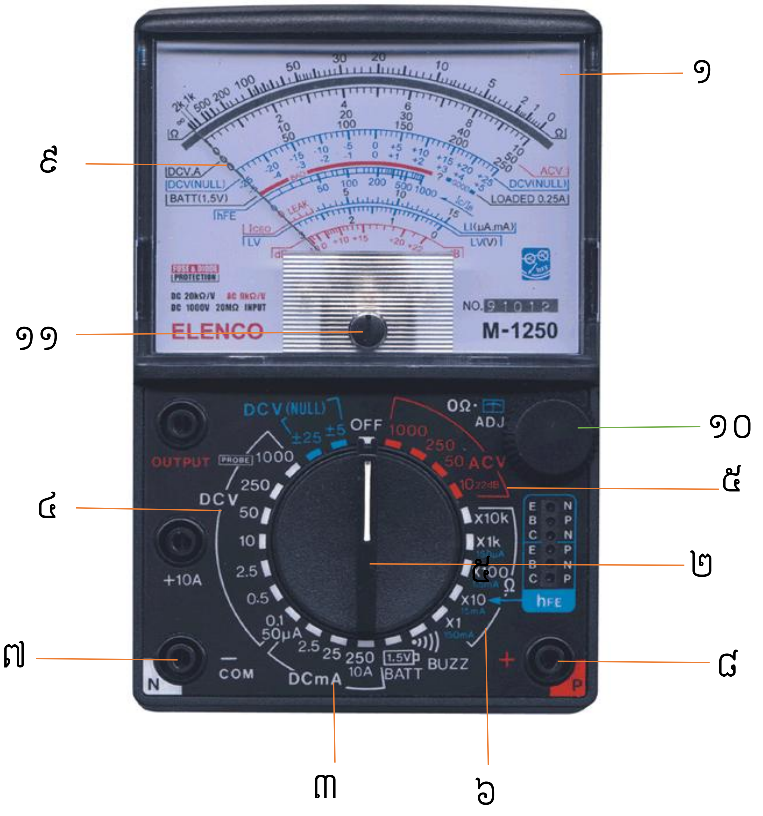
(៧) គោលម៉ាស COM (-)

(៨) គោល (+)

(៩) ទ្រនិចចង្អុលលេខ (គំនូសក្រិត)។

(១០) ឧបករណ៍លៃតម្រូវទ្រនិចក្នុងការប្រើប្រាស់ជាអូមម៉ែត្រ 0Ω។

(១១) ប្រដាប់សម្រាប់មួលលៃតម្រូវដើម្បីឱ្យទ្រនិចមកដល់ចំណុចសូន្យ (ករណីជាវ៉ុលម៉ែត្រ និងអំពែម៉ែត្រ)។



៣. ការជ្រើសរើសកាលីប៖

- ជ្រើសរើសមុខងារដែលអ្នកចង់វាស់ DCmA DCV ឬ ACV និងΩ ADJ។
- ជ្រើសរើសកាលីបឱ្យធំជាងតម្លៃដែលយើងចង់វាស់ ព្រោះតម្លៃលេខរបស់កាលីបនិមួយៗបង្ហាញតម្លៃលេខ អតិបរមាសម្រាប់វាស់។ ឧទាហរណ៍កាលីប 25V យើងអាចវាស់តង់ស្យុងពី 0V ទៅ 25V។

- ប្រសិនបើយើងមិនដឹងតម្លៃលេខពិតប្រាកដ យើងគួរប្រើកាលីបដែលមានតម្លៃធំជាងគេបំផុត។
- ដើម្បីវាស់តង់ស្យុងរបស់ថ្មពិលមួយ ដែលយើងមិនស្គាល់តម្លៃតង់ស្យុងពិតរបស់វា ជាដំបូងយើងគួរជ្រើសរើសមុខងារជា DCV និងចាប់ផ្តើមពីកាលីបដែលធំបំផុត 1000V។
- ប្រសិនបើទ្រនិចរបស់ម៉ុលទីម៉ែត្រមិនងាក អ្នកគួរបន្ថយកាលីបពីធំមកតូចជាបន្តបន្ទាប់ពី 250V → $50V \rightarrow 10V$។
- អ្នកនឹងឃើញទ្រនិចរបស់វាចង្អុលតម្លៃលេខ 1.5V ឬ 1.55V។ នេះជាតម្លៃពិតប្រាកដរបស់ថ្មពិល។

៤.របៀបភ្ជាប់ឧបករណ៍ដែលចង់វាស់ជាមួយនឹងមុលទីម៉ែត្រ

❖ ការវាស់តង់ស្យុងរវាងគោលនៃថ្មពិល ឬគោលនៃរេស៊ីស្តរ

ដើម្បីវាស់តង់ស្យុងរវាងគោលនៃថ្មពិល ឬគោលនៃរេស៊ីស្តរណាមួយយើងត្រូវ៖

- តវ៉ុលម៉ែត្រជាខ្នែងជាមួយនឹងគោលទាំងពីរនៃថ្មពិល ឬរេស៊ីស្តរ។
- ភ្ជាប់វាដោយឱ្យចរន្តចូលតាមប៉ូល (+) និងចេញតាមប៉ូល (-)។

❖ ការវាស់អាំងតង់ស៊ីតេចរន្តដែលឆ្លងកាត់អង្គធាតុចម្លង

ដើម្បីវាស់អាំងតង់ស៊ីតេចរន្តដែលឆ្លងកាត់អង្គធាតុចម្លងណាមួយយើងត្រូវ៖

- តអំពែម៉ែត្រជាស៊េរីជាមួយនឹងរេស៊ីស្តង់ R។ ចូរប្រុងប្រយ័ត្នកុំភ្ជាប់វាទៅនឹងប្រភពដូចជាថ្មពិល ឬអាគុយដោផ្ទាល់ វាធ្វើឱ្យអំពែម៉ែត្រឆេះខូច។
- ភ្ជាប់វាដោយឱ្យចរន្តចូលតាមប៉ូល (+) និងចេញតាមប៉ូល(-)នៃឧបករណ៍ បើពុំនោះទេប្រនិចរបស់វានឹងងាកបញ្ច្រាស។

❖ ការវាស់រេស៊ីស្តង់

ដើម្បីវាស់រេស៊ីស្តង់នៃរេស៊ីស្តរណាមួយយើងត្រូវ៖

- ដោតខ្សែចម្លងពណ៌ខ្មៅទៅក្នុងគោល COM (-) និងខ្សែចម្លងពណ៌ក្រហមទៅប៉ូល (+)
- ជ្រើសរើសយកមុខងារជាអូមម៉ែត្រ និងកាលីបដែលត្រូវប្រើ
- ធ្វើតេស្តអូមម៉ែត្ររយៈពេលខ្លី ដោយដាក់ខ្សែក្រហមឱ្យប៉ះនឹងខ្សែខ្មៅដើម្បីឱ្យទ្រនិចរបស់វាចង្អុលត្រង់ចំណុចសូន្យ។ ប្រសិនបើទ្រនិចរបស់វាមិនចង្អុលត្រង់ចំណុចសូន្យទេ អ្នកត្រូវមួលឧបករណ៍លៃតម្រូវ 0Ω ADJ ដើម្បីឱ្យទ្រនិចងាកមកចំណុចសូន្យ។ ប្រសិនបើទ្រនិចមិនចង្អុលចំណុចសូន្យទេអ្នកត្រូមប្តូរថ្ម។
- កុំវាស់រេស៊ីស្តង់ក្នុងសៀគ្វីបិទ
- ភ្ជាប់ខ្សែចម្លងទៅនឹងគោលទាំងពីរនៃរេស៊ីស្តរ និងអានតម្លៃលេខ។

៥. ការអានតម្លៃលេខ

❖ **ចំពោះវ៉ុលម៉ែត្រ និងអំពែម៉ែត្រ**

យើងអានតម្លៃលេខដែលយើងវាស់បាននៅលើច (អេក្រង់) ត្រង់ប្រឡោះក្រិត B (រូបទី២) ដោយប្រើរូបមន្ត៖

– **អំពែម៉ែត្រ**

$$I = \frac{Cal}{n_0} \times n$$

- n ចំនួនប្រឡោះក្រិតដែលវាស់បាន
- n_0 ចំនួនប្រឡោះក្រិតសរុប
- **Cal** កាលីប

– **វ៉ុលម៉ែត្រ**

$$V = \frac{Cal}{n_0} \times n$$

❖ **ចំពោះអូមម៉ែត្រ**

ក្នុងប្រឡោះក្រិតនិមួយៗរបស់អូមម៉ែត្រមានតម្លៃផ្សេងៗគ្នា។ យើងអានតម្លៃលេខតាមលេខនៅលើច (អេក្រង់) ត្រង់ប្រឡោះក្រិត A (រូបទី២) ដោយគិតមេគុណទៅតាមកាលីបនិមួយៗ។

បើកាច់កាលីបមកកតម្លៃ ×1 មានន័យថា៖

ពីលេខ 0 → 2: មួយប្រឡោះក្រិតតូចត្រូវនឹង 0.2Ω

2 → 10: មួយប្រឡោះក្រិតតូចត្រូវនឹង 0.5Ω

10 → 20: មួយប្រឡោះក្រិតតូចត្រូវនឹង 1Ω

20 → 50: មួយប្រឡោះក្រិតតូចត្រូវនឹង 2Ω

50 → 100: មួយប្រឡោះក្រិតតូចត្រូវនឹង 5Ω

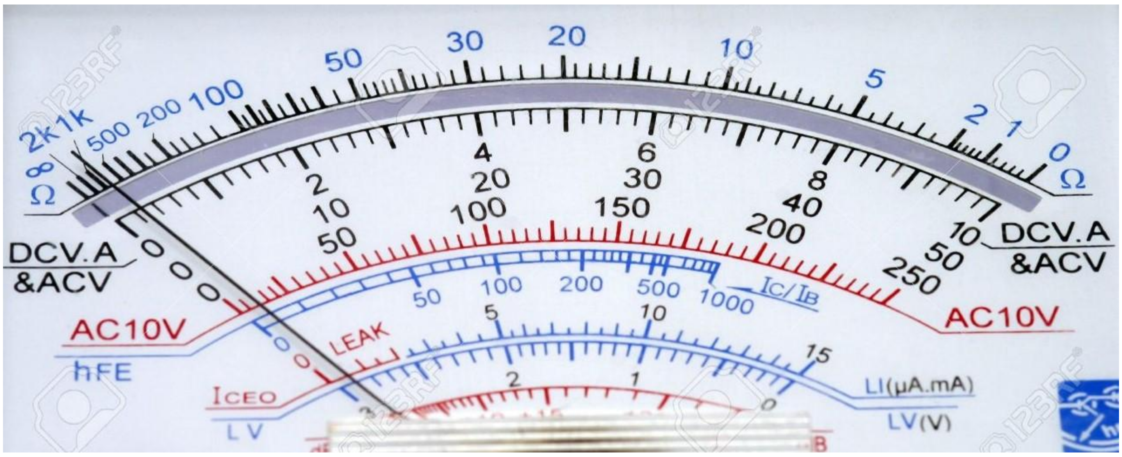
100 → 200: មួយប្រឡោះក្រិតតូចត្រូវនឹង 20Ω

200 → 300: មួយប្រឡោះក្រិតតូចត្រូវនឹង 50Ω

300 → 500: មួយប្រឡោះក្រិតតូចត្រូវនឹង 100Ω

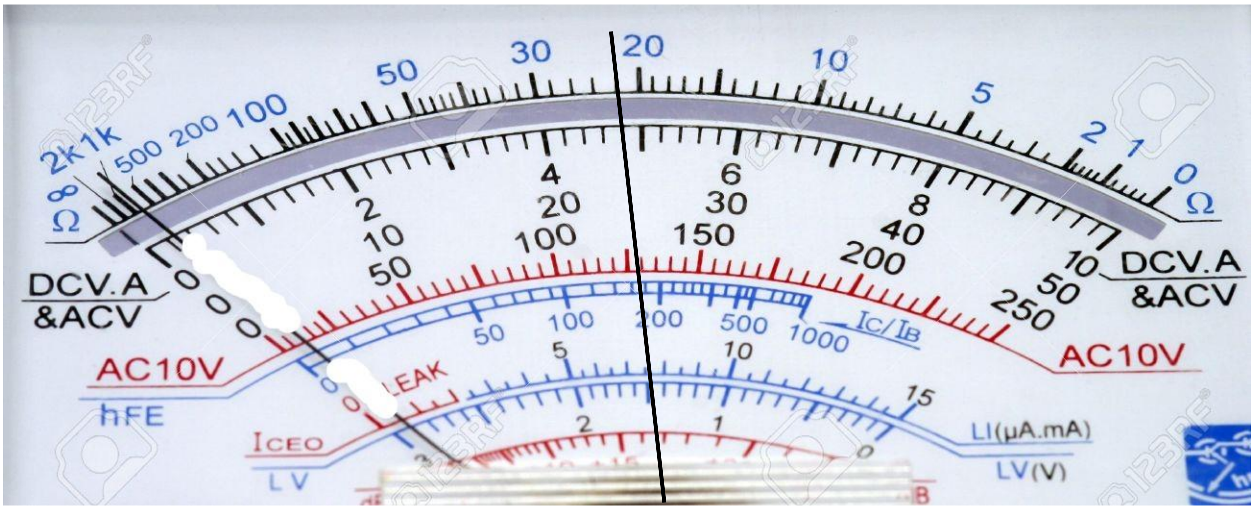
500 → $1k$: មួយប្រឡោះក្រិតតូចត្រូវនឹង 500Ω

1k → $2k$: មួយប្រឡោះក្រិតតូចត្រូវនឹង 1000Ω=1kΩ



ឧទាហរណ៍៖

ចូរសង្កេតរូបភាព រួចឆ្លើយសំណួរដូចខាងក្រោម៖



១. យើងចង់វាស់តង់ស្យុងរវាងគោលនៃរេស៊ីស្តង់មួយដោយជ្រើសរើសកាលីប DCV, 50V។ យើងសង្កេតឃើញទ្រនិចងាកបានដូចរូបខាងលើ។ តើតង់ស្យុងរវាងគោលនៃរេស៊ីស្តង់មានតម្លៃប៉ុន្មាន?

....

....

....

....

....

២. ប្រសិនបើទ្រនិចងាកបានដូចរូបខាងលើ តើតង់ស្យុងរវាងគោលនៃរេស៊ីស្តង់មានតម្លៃប៉ុន្មាន? ក្នុងករណីគេជ្រើសរើសកាលីប៖ ក. 10V ខ. 250V គ. 0.5V

....

....

....

៣.ដូចរូបខាងលើដដែល តើរេស៊ីស្តង់មានតម្លៃប៉ុន្មាន? ក្នុងករណីគេកាច់កាលីប៖ក. ×1Ω ខ. ×10Ω គ. ×1kΩ

....

....

....

....

៤. ប្រសិនបើយើងវាស់អាំងតង់ស៊ីតេចរន្តដោយជ្រើសរើសកាលីប 0.25A ហើយទ្រនិចងាកបានដូចរូបខាងលើ។ តើអាំងតង់ស៊ីតេចរន្តមានតម្លៃប៉ុន្មាន?

....

....

....

....

ពិសោធន៍ទន្លាក់សេរី

១. ទស្សនៈចំណាច

កំណត់សំទុះទន្លាក់សេរី(សំទុះទំនាញផែនដី)និង(%)កម្រិតល្អៀងរបស់វាបានត្រឹមត្រូវតាមពិសោធន៍។

២. ចំណេះដឹងមូលដ្ឋាន(ទ្រឹស្តី)

- កម្ពស់ធ្លាក់របស់អង្គធាតុ $h = \frac{1}{2}gt^2$
- ល្បឿន $v = gt$
- សំទុះ $g = 9.80\ \mathrm{m/s^2}$
- %កម្រិតល្អៀង $= \left|\frac{\text{តម្លៃទ្រឹស្តី}-\text{តម្លៃពិសោធន៍}}{\text{តម្លៃទ្រឹស្តី}}\right| \times 100\% = \left|\frac{g-a}{g}\right| \times 100\%$

  ឬ %កម្រិតល្អៀង $= \left|\frac{\text{តម្លៃពិត}-\text{តម្លៃពិសោធន៍}}{\text{តម្លៃពិត}}\right| \times 100\% = \left|\frac{g-a}{g}\right| \times 100\%$

៣. ពិសោធន៍

៣.១ ការកំណត់បញ្ហា

តើអ្នកអាចកំណត់សំទុះទន្លាក់សេរី (សំទុះទំនាញផែនដី) និង(%)កម្រិតល្អៀងរបស់វាបានយ៉ាងដូចម្ដេច ?

៣.២ សម្មតិកម្ម

………

………

………

………………………………………………………………………………………………

៣.៣ តេស្តសម្មតិកម្ម

(ក) តម្រូវការសម្ភារៈ

………

………

………

………………………………………………………………………………………………

(ខ) ដំណើរការដំឡើងសម្ភារៈ និងពិសោធន៍

……

………

……

៣.៤ លទ្ធផល

តារាងទិន្នន័យ និងគណនា

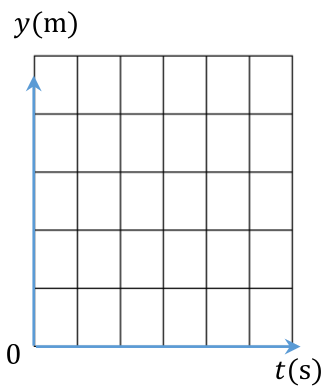
ចំណុច	y (cm)	Δy (cm)	v (cm/s)	Δv (cm/s)	a (cm/s^2)
ទី0	$y_0 = 0$				
ទី5	$y_1 =$	$\Delta y_1 =$	$v_1 = \frac{\Delta y_1}{\Delta t_1} =$		
ទី10	$y_2 =$	$\Delta y_2 =$	$v_2 = \frac{\Delta y_2}{\Delta t_2} =$	$\Delta v_1 =$	$a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} =$
ទី15	$y_3 =$	$\Delta y_3 =$	$v_3 = \frac{\Delta y_3}{\Delta t_3} =$	$\Delta v_2 =$	$a_2 = \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} =$
ទី20	$y_4 =$	$\Delta y_4 =$	$v_4 = \frac{\Delta y_4}{\Delta t_4} =$	$\Delta v_3 =$	$a_3 = \frac{\Delta v_3}{\Delta t_3} =$
ទី25	$y_5 =$	$\Delta y_5 =$	$v_5 = \frac{\Delta y_5}{\Delta t_5} =$	$\Delta v_4 =$	$a_4 = \frac{\Delta v_4}{\Delta t_4} =$
………					

រយៈពេល $t = \Delta t =$ ថេរ $=$	$g = \dots\dots\dots \mathrm{m/s^2}$	$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}{4} =$	%កម្រិតល្អៀង =

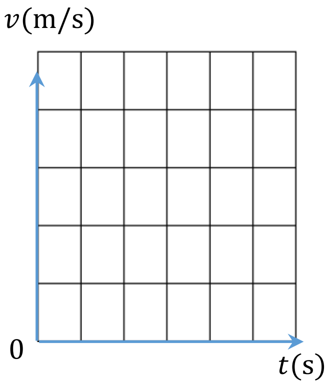
ការគណនាគំរូ

- $\Delta y_1 = y_1 - y_0 =$
- $\Delta y_2 = y_2 - y_1 =$
- $v_1 = \frac{\Delta y_1}{\Delta t_1} =$
- $v_2 = \frac{\Delta y_2}{\Delta t_2} =$
- $\Delta v_1 = v_2 - v_1$
- $a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} =$
- %កម្រិតល្អៀង $= \left|\frac{\text{តម្លៃទ្រឹស្តី}-\text{តម្លៃពិសោធន៍}}{\text{តម្លៃទ្រឹស្តី}}\right| \times 100\% = \left|\frac{g-a}{g}\right| \times 100\% =$

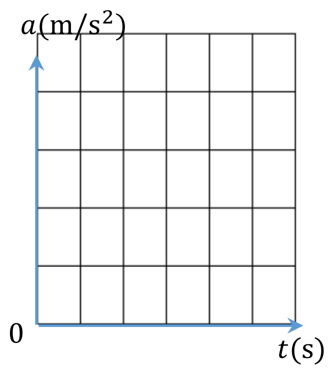
ក្រាប៖



បម្លាស់ទី-ពេល



(វ៉ិចទ័រ)ល្បឿន-ពេល



សំទុះ-ពេល

៣.៥ វិភាគ និងសន្និដ្ឋាន

- វិភាគ៖ ផ្អែកតាមការពិសោធខាងលើ

………

………

………

………

……………………………………………………………………………………………………

- សន្និដ្ឋាន៖

………

………

………

……។

៤. ពិភាក្សា៖

(១) ហេតុអ្វីបានជាតម្លៃសំទុះ(a)ដែលអ្នកបានរកឃើញតូចជាងសំទុះទំនាញផែនដី(g) ទោះបីជាកូនទម្ងន់ដែលអ្នកបានទន្លាក់នោះស្ថិតក្រោមតែអំពើកម្លាំងទំនាញផែនដី?

………

………

………។

(២) តើអ្នកមានគំនិតច្នៃប្រឌិតដូចម្តេច ដើម្បីឱ្យការពិសោធលើកក្រោយៗទៀតទទួលបានលទ្ធផលល្អប្រសើរជាងនេះ?

………

………

………។

(៣) ក្រោយពីបានប្រើប្រាស់ឧបករណ៍ពិសោធន៍នេះរួចមក តើអ្នកយល់ពីគោលការណ៍ដំណើរការរបស់វា និងដឹងពីវិធីផលិត ឬអភិវឌ្ឍវាដែលឬទេ? បើដឹងចូរបង្ហាញយោបល់អ្នក។

(៤)តើសំទុះនៃអង្គធាតុដែលធ្លាក់ក្នុងដែនទំនាញផែនដីអាស្រ័យនឹងម៉ាសរបស់អង្គធាតុដែលធ្លាក់ដែរឬទេ(មិនគិតកម្លាំងទប់នៃខ្យល់? ចូរបង្ហាញហេតុផល។

………

………

……

(៥) តើសំទុះនៃអង្គធាតុដែលធ្លាក់ក្នុងដែនទំនាញផែនដីអាស្រ័យនឹងរាងរបស់អង្គធាតុដែលធ្លាក់ដែរឬទេ(គិតកម្លាំងទប់នៃខ្យល់ ? ចូរបង្ហាញហេតុផល និងលើកឧទាហរណ៍ក្នុងការរស់នៅឬក្នុងបច្ចេកទេសមកបញ្ជាក់។

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………

(៦) យានអវកាសមួយត្រូវ បានបាញ់បង្ហោះចេញពីផ្ទៃផែនដីទៅកម្ពស់ 800 km ។ រយៈកម្ពស់នេះគឺជាព្រំដែននៃស្រទាប់បរិយាកាសពីររបស់ផែនដីគឺ Thermosphere និងExosphere ហើយសីតុណ្ហភាពប្រហែលជា 1200 °C។ ចូរប្រៀបធៀបសំទុះទំនាញផែនដីដែលនៅក្បែរផ្ទៃផែនដី និងនៅរយៈកម្ពស់ខាងលើ។

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………

ពិសោធន៍ ទំនាស់មេគុណកកិត
កកិតនឹងថ្កល់

១. ទស្សនៈបំណង

- មេគុណកកិតនឹងថ្កល់ និងមេគុណកកិតដោយរអិលមិនអាស្រ័យនឹងម៉ាសទេ វាអាស្រ័យនឹងភាពគ្រើម ឬរលោងនៃផ្ទៃប៉ះ។

- គណនាមេគុណកកិតនឹងថ្កល់ និងមេគុណកកិតដោយរអិល។

- ប្រៀបធៀបមេគុណកកិតនឹងថ្កល់ និងដោយរអិល។

២. ចំណេះដឹងមានស្រាប់

-ប្រភេទនៃកកិត។

-ការគូសទិសដៅកម្លាំង។

វត្ថុមួយមានម៉ាស ។ តើគេត្រូវផ្តល់កម្លាំងយ៉ាងតិចបំផុតប៉ុន្មាន ដើម្បីអោយវត្ថុនេះផ្លាស់ទី ?

ក តិចជាង 100N ☐

ខ ស្មើ 100N ☐

គ ធំជាង 100N ☐

៣. ពិសោធន៍ទី១៖ កកិតនឹងថ្កល់

ក. ការកំណត់បញ្ហា

-តើយើងអាចរកមេគុណកកិតនឹងថ្កល់បានយ៉ាងដូចម្តេច ?

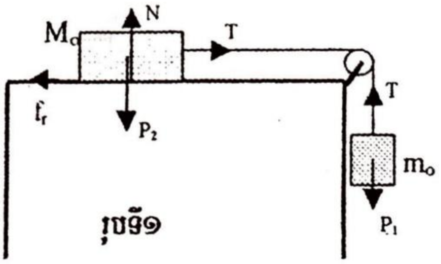
ខ. ការបង្កើតសម្មតិកម្ម

យើងយកដុំឈើមួយដែលមានម៉ាស M_o ដាក់លើប្លង់ដេក រួចយើងយកដុំឈើនោះ មកភ្ជាប់នឹងវត្ថុដែលមានម៉ាស m_o ដោយខ្សែកាត់តាមរ៉កដែលមានម៉ាសអាចចោលបាន។ យើងឃើញថាម៉ាស ចាប់ផ្តើមរំកិលតិចៗ។ មេគុណកកិតនឹងថ្កល់រវាងវត្ថុ និងប្លង់ដេក(រូបទី១) អាចកំណត់បានតាមទំនាក់ទំនង៖

$\mu_s = \frac{f_r}{N}$ ☐

$\mu_s = \frac{M_o}{m_o}$ ☐

$\mu_s = \frac{m_o}{M_o}$ ☐



រូបទី១

❖ **គំរូឃេះ:**

ត្រង់ម៉ាស M_o ៖ តាមច្បាប់ទី២របស់ញូតុនៈ ....⇒f_r=.............................(1)

ត្រង់ម៉ាស m_o ៖ តាមច្បាប់ទី២របស់ញូតុនៈ ....⇒ T =...........................(2)

(1) និង (2) ⇒ $f_r = P_1$ (3)

តាមរូបមន្ត កម្លាំងកកិត f_r = ...(4)

ជំនួស (4) ក្នុង (3) ⇒ μ_s =........................

គ. ពិសោធន៍

- **សំភារៈចាំបាច់៖** ដុំឈើរាងប្រលេពីប៉ែតកែង ខ្សែអំបោះ កន្ត្រក (សម្រាប់ដាក់កូនទម្ងន់) បន្ទះ ក្តារ កូនទំងន់ (100g, 10g និង1g) បន្ទាត់ ជញ្ជីង និងរ៉ក។
- **ដំណើរការពិសោធន៍៖**

១. ថ្លឹងដុំឈើ ដែលមានម៉ាស M_o (g) និងកន្ត្រកដែលមានម៉ាស m_o (g)។

២. តំឡើងឧបករណ៍ដូចរូបទី២។ កែតម្រូវទីតាំងរបស់រ៉កដើម្បីអោយខ្សែលោតត្រង់ស្មើ។

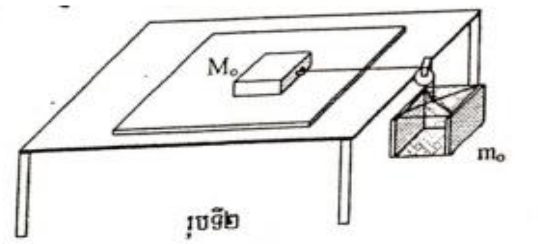
៣. កំណត់ទីតាំងលំនឹងរបស់វត្ថុ ដោយគូសខ្មៅដៃចំណាំ។

៤. ដាក់កូនទម្ងន់ដែលមានម៉ាស 100g ទៅលើកន្ត្រកម្តងមួយៗ រហូតដល់វត្ថុនោះចាប់ផ្តើមផ្លាស់ទី។ នៅពេលវាចាប់ផ្តើមផ្លាស់ទី ដកកូនទំងន់ដែលមានម៉ាស 100g ចេញ។ បន្ទាប់មកដាក់កូនទំងន់ 10g បន្ថែមលើកូនទំងន់ 100g ម្តងមួយៗ។ បើដុំឈើចាប់ផ្តើមផ្លាស់ទី ដកកូនទំងន់ 10g ចេញរួចបន្ថែម

កូនទំងន់ 1g ម្តងមួយៗរហូតដុំឈើ ចាប់ផ្តើមផ្លាស់ទីបានបន្តិច។ រកម៉ាសសរុបរវាងកូនទំងន់ និងកន្ត្រក ($m_o + m$) g។

៥. កំនត់មេគុណកកិតនឹងថ្កល់រវាងដុំឈើ និងបន្ទះក្តារ។

៦. ដាក់កូនទម្ងន់បន្ថែមទៅលើដុំឈើ។ ធ្វើដូចគ្នានឹងដំណើរការទី១-៤ ជាមួយកូនទំងន់ខុសគ្នាដែលបន្ថែមទៅលើដុំឈើឱ្យបាន៤ ទៅ ៥ដង។ ចូរកំណត់មេគុណកកិតនឹងថ្កល់ ក្នុងករណី នីមួយៗ។



រូបទី២

ឃ. លទ្ធផល

ម៉ាសកូនទំងន់សរុប($m + m_o$) (g)	ម៉ាសវត្ថុរាងប្រលេពីប៉ែតកែង (M_o+M)(g)	មេគុណកកិតនឹងថ្កល់អតិបរមា μ_o

ង. វិភាគ និងសន្និដ្ឋាន

វិភាគ

១. នៅពេលយើងចង់អោយវត្ថុមួយផ្លាស់ទី តើចាំបាច់ត្រូវផ្តល់កំលាំងដែលធំជាងទំងន់របស់វត្ថុនោះដែរឬទេ ? ហេតុអ្វី ?

………

………

………

………

២. តើមេគុណកកិតអាស្រ័យនឹងម៉ាស ដែររឺទេ ?

………

………

………

………

៣. តើកម្លាំងកកិតអាស្រ័យនឹងម៉ាសដែររឺទេ ?

………

………

………

………

………

សន្និដ្ឋាន៖

………

………

………

………

………

- **ពិភាក្សា៖**

ដើម្បីលើកវត្ថុមួយដែលមានម៉ាស តើចាំបាច់ផ្តល់កម្លាំងយ៉ាងតិចបំផុតប៉ុន្មាន ទៅលើវត្ថុនោះ ?

………

………

………

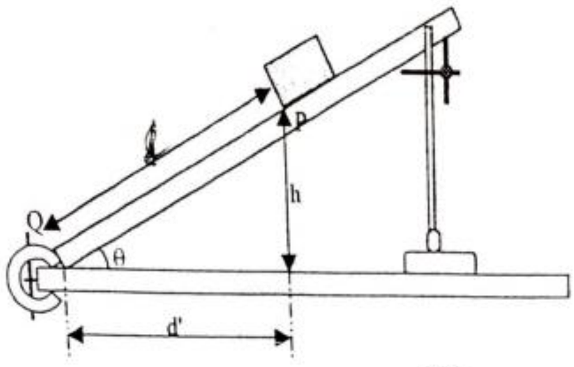
កកិតដោយរអិល

ក. ការកំណត់បញ្ហា

តើយើងអាចរកមេគុណកកិតដោយរអិលបានដោយរបៀបណា ?

ខ. សម្មតិកម្ម

យកដុំឈើ $M_o = 320,0g$ អោយរអិលលើប្លង់ទេរ ដែលបង្កើតបានមុំ $\theta = 45°$ ជាមួយប្លង់ដេក(រូបទី៣) (បន្ទះក្តារក្នុងពិសោធន៍ទី១ មកធ្វើជាប្លង់ទេរ)។ តើមេគុណកកិតដោយរអិល រវាងដុំឈើនិងបន្ទះក្តារមានតម្លៃប្រហែលប៉ុន្មាន ?



រូបទី៣

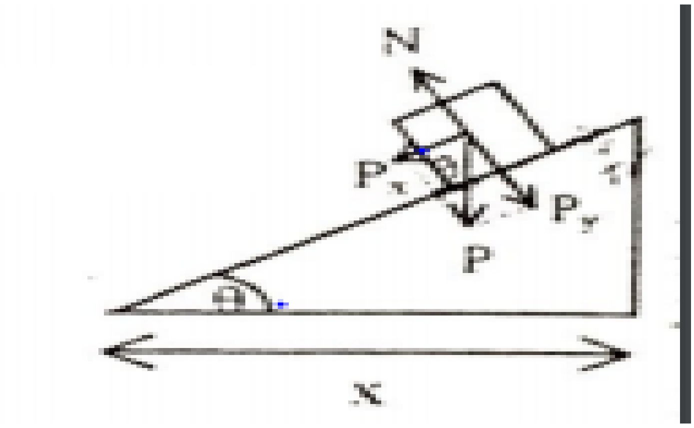
❖ **គំរូយេះ**

ត្រង់ចំនុច តាមច្បាប់ទី២ញូតុន៖ ....

$$P_X - f_r = ma \ (*)$$

តាមរូប P_X= ………………..(1) និង N=…………………………

តាមរូបមន្ត $f_r = \mu . N$ (2)



ដោយដុំឈើរអិលលើប្លង់ទេរដោយចលនាស្ទុះ យើងបាន $l = \frac{1}{2}at^2 \Rightarrow \ a = \frac{2l}{t^2}$ (3)

យក (1), (2) និង (3) ជំនួសក្នុង(*)

$\Rightarrow P\ \sin\theta - \mu P\cos\theta = \ m\frac{2l}{t^2}$

$\Rightarrow \mu P\ \cos\theta = P\sin\theta - m\ \frac{2l}{t^2}$

$\Rightarrow \mu = \ \tan\theta - 2m\frac{1}{P\cos\theta\, t^2}$ (P=mg,និង $\cos\theta = \frac{1}{\sqrt{1+\tan\theta}}$)

$\Rightarrow$ μ = ⋯ … … … … … … … … … … ….

គ. ពិសោធន៍

- **តម្រូវការសម្ភារះ** ដុំឈើរាងប្រលេពីប៉ែតកែង កូនទំងន់ ជើងទំរ បន្ទះក្ដារ ម៉ែត្រ ក្រូណូម៉ែត្រ (stopwatch។
- **ដំណើការពិសោធន៍៖**

១. តំឡើងឧបករណ៏ដូចបង្ហាញក្នុងរូបទី៣។

២. គូសខ្មៅដៃកំនត់ទីតាំងដើមរបស់ដុំឈើ។

៣. ប្រើបន្ទាត់ ឬ ម៉ែត្រ វាស់កំពស់ និងចំងាយ ដើម្បីកំណត់តង់សង់។

៤. ប្រើក្រូណូម៉ែត្រ វាស់រយៈពេលដែលវត្ថុផ្លាស់ទីពី ទៅ យ៉ាងហោចណាស់ អោយបាន៤ដង។

៥. បន្ថែមកូនទំងន់លើវត្ថុរាងប្រលេពីប៉ែតកែង រួចវាស់រយៈពេល ដូចដំណាក់កាលទី៤។ បន្ថែមកូនទំងន់ឱ្យបាន៤ដង ឬ៥ ដង រួចវាស់រយៈពេលនៅពេលវាផ្លាស់ទី។

៦. គណនាមេគុណកកិតដោយរអិលរវាងដុំឈើ និងបន្ទះក្ដារក្នុងករណីនីមួយៗ។

ឃ. លទ្ធផល

d= …………………………cm

$\tan\theta = \cdots$ … … … … … … … …, $\cos\theta = \frac{1}{\sqrt{1+tg^2\theta}} = \cdots$ … … … … … …

មេគុណកកិតដោយរអិល (ប្លង់ទេរ) $\mu = \tan\theta - \frac{2l\sqrt{1+tg^2\theta}}{gt^2}$

ម៉ាសដុំឈើ M (Kg)	$M_{1=}$…………	M_2=………	M_3=……	M_4=……	M_5=…
រយៈពេលផ្លាស់ទី t (s)	t_1 =……	t_2 =…………	t_3 =……	t_4 =…	t_5=…
មេគុណកកិតរវាងដុំឈើ និងបន្ទះក្តារ μ	μ_1=………	μ_2=………	μ_3=…….	μ_4=……	μ_5=…

ង. វិភាគ និងសន្និដ្ឋាន

វិភាគ

១. ចូរប្រៀបធៀបតំលៃ រវាងមេគុណកកិតនឹងថ្កល់ និងមេគុណកកិតដោយរអិល?

……

……

………

២. មេគុណកកិតដោយរអិលអាស្រ័យនឹងម៉ាសរឺទេ?

……

……

………

សន្និដ្ឋានៈ

- មេគុណកកិតនឹងថ្កល់ និងមេគុណកកិតដោយរអិលមិនអាស្រ័យនឹងម៉ាសទេ វាអាស្រ័យតែនឹងភាពគ្រើមឬរលោងនៃផ្ទៃប៉ះ។

- មេគុណកកិតនឹងថ្កល់ មានតម្លៃធំជាមេគុណកកិតដោយរអិល។

- កម្លាំងកកិតកំណត់ដោយរូបមន្ត

$$f_r = \mu_o \cdot N$$

f_r កំលាំងកកិត N កំលាំងប្រតិកម្ម μ_oមេគុណកកិត។

ពិភាក្សាៈ

តើ μ_kអាស្រ័យនឹងមុំឬទេ? ចូរពន្យល់បកស្រាយ។

ពិសោធន៍ប៉ោលទោល
(ប៉ោល - លំយោលអាកម៉ូនិកខាយ)

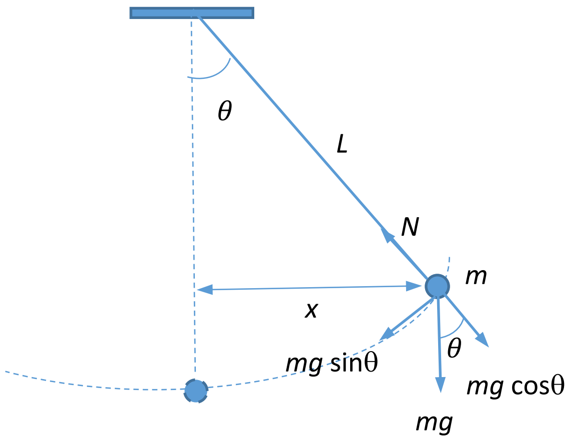
១. វត្ថុបំណង

- កំណត់ភាពអាស្រ័យគ្នារវាងខួប(*T*) ប្រវែង(*L*) និងម៉ាស(*m*)របស់ប៉ោល។
- បង្ហាញថាខួបនៃប៉ោល(*T*)អាស្រ័យលើអំព្លីទុតមុំនៃលំយោលចំពោះមុំលំយោលធំ ប៉ុន្តែភាពអាស្រ័យនេះអាចចោលបាន ចំពោះមុំលំយោលតូច(ខួបនៃប៉ោលទោល)។
- កំណត់តម្លៃសំទុះទំនាញផែនដីតាមពិសោធន៍ដែលទាញតាមរង្វាស់ខួបនៃប៉ោល និងប្រៀបធៀបវាជាមួយនឹងតម្លៃតាមទ្រឹស្តី។

២. ទ្រឹស្តី

ប៉ោលផ្សំឡើងដោយខ្សែមិនយឺតមួយប្រវែង(*L*) ដែលចុងម្ខាងរបស់វាភ្ជាប់ទៅនឹងម៉ាស(*m*) និងចុងម្ខាងទៀតរបស់ខ្សែភ្ជាប់ទៅនឹងចំណុចនឹងមួយ។ សំណុំនេះត្រូវបានគេហៅថាប៉ោលទោលដែលយើងសិក្សាក្នុងករណីមុំតូច(លំយោលមិនថយ) (បើមុំធំ លំយោលថយ វាមិនមែនជាប៉ោលទោលទេ)។

ម៉ាស(*m*)ផ្លាស់ទីតាមមួយវិមាត្រ នោះចលនាជាចលនាស៊ីនុយសូអ៊ីត បើបម្លាស់ទី *x* ពីទីតាំងលំនឹងណាមួយជាអនុគមន៍នៃស៊ីនុសឬកូស៊ីនុស។ ចលនានេះកើតឡើង កាលណាចំណុចរូបធាតុមួយរងនូវកម្លាំង *F* ដែលសមាមាត្រដោយផ្ទាល់នឹងអាំងតង់ស៊ីតេនៃបម្លាស់ទី និងមានទិសដៅឆ្ពោះទៅកាន់ទីតាំងលំនឹង។ សមីការឲ្យដោយ៖



$$F = -k\,x \qquad (1)$$

ខួប(*T*)នៃចលនា គឺជារយៈពេលមួយលំយោលពេញ និងត្រូវបានកំណត់ដោយ

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{k}} \qquad (2)$$

ប៉ោលទោលមិនគោរពលក្ខខណ្ឌលំយោលអាកម៉ូនិចងាយពេញលេញនោះទេ ប៉ុន្តែវាសឹងតែជាលំយោលអាកម៉ូនិចងាយ។ ប៉ោលទោលបរិសុទ្ធមានម៉ាសជាចំណុច និងខ្សែមិនគិតម៉ាសបង្ហាញដូចរូបខាងលើ។

ចលនារបស់ប្រព័ន្ធកើតឡើងក្នុងប្លង់ឈរ កាលណាម៉ាស m ត្រូវបានលែងពីទីតាំងមួយដែលបង្កើតបានមុំ θ ជាមួយនឹងខ្សែឈរ។ ទម្ងន់នៃប៉ោលមានទិសដៅចុះក្រោមអាចត្រូវបានបំបែកជាកំប៉ូសង់ពីរដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងលើ។

កំប៉ូសង់ $mg\cos\theta = N$ (តំណឹងខ្សែនៃប៉ោល)

កំប៉ូសង់ $mg\sin\theta$ប៉ះទៅនឹងធ្នូវង់តាមបណ្តោយម៉ាស m ផ្លាស់ទី។ កំប៉ូសង់នេះផ្តល់កម្លាំងដើម្បីទាញប្រព័ន្ធ។ សមីការនៃកម្លាំងតាមបណ្តោយទិសដៅចលនាឲ្យដោយៈ

$F = -mg\sin\theta$ (3)

កាលណាមុំ θ តូច នោះ sinθ ≈ tanθ ≈ θ ≈ mg/L

$F = -mgx/L$ (4)

ពីសមីការ (4)និង(1) យើងបាន $k = mg/L$

ដូចនេះខួបនៃប៉ោលទោលគឺ

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{mg/L}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \qquad (5)$$

សមីការ (5) បង្ហាញថាខួបនៃប៉ោលទោល T មិនអាស្រ័យនឹងម៉ាស m និងអំព្លីទុតមុំ θ ទេ និងវាអាស្រ័យតែប្រវែង(ខ្សែ)ប៉ោលប៉ុណ្ណោះ។

កាលណាមុំធំ នោះតម្លៃនៃខួបពិតគឺ

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}\ \left(1 + \frac{1}{4}\sin^2\theta/2 + \frac{9}{64}\sin^4\theta/2 + \cdots\right) \qquad (6)$$

ចំពោះប៉ោលបរិសុទ្ធ(គ្មានកកកិត) ចលនាយោលសាចុះសាឡើងមានអំព្លីទុតមិនថយទោះបីជារយៈពេលបន្តទៅមុខទៀតក៏ដោយ។ ចំពោះប៉ោលពិត វាតែងតែមានកកិតខ្លះៗ និងអំព្លីទុតនៃលំយោលថយចុះយឺតៗតាមពេល។ **ចំពោះអំព្លីទុតដើមតូច បម្រែបម្រួលខួបតាមអំព្លីទុតថយចុះអាចចោលបាន។** នេះជាមូលដ្ឋានគ្រឹះនៃនាឡិកាប៉ោល។

៣. តេស្តមុនចូលទីពិសោធន៍

១. តើអ្វីទៅជាប៉ោលទោល?

២. សរសេររូបមន្តខួបនៃប៉ោលទោល។

៣. តើខួបនៃប៉ោលទោលអាស្រ័យនឹងអ្វីខ្លះ?

៤. ក្នុងករណីអំព្លីទុតនៃលំយោធំ ឬមុំធំ តើលំយោលជាលំយោលអ្វី?

៥. ចូរបង្ហាញថាខួបនៃប៉ោលទោលឲ្យតាមរូបមន្ត $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ ។

៦. ចូរបង្ហាញថាកាលណាមុំធំ ខួបនៃប៉ោលឲ្យតាមរូបមន្ត

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}\ \left(1 + \frac{1}{4}\sin^2\theta/2 + \frac{9}{64}\sin^4\theta/2 + \cdots\right)$$

៧. ប៉ោលទោលមួយមានប្រវែងខ្សែស្មើនឹង 0.700 m និងគេទាញវាចេញពីទីតាំងលំនឹងក្រោមមុំតូចប្រហែល $5.0°$ បន្ទាប់មកគេលែងវាឲ្យយោល។ កំណត់ខួបនៃប៉ោលទោល។ យក $g = 9.80\, m/s^2$ ។

៨. ប៉ោលទោលមួយមានប្រវែងខ្សែ L ។ គេទាញវាចេញពីទីតាំងលំនឹងក្រោមមុំលំយោលតូច រួចលែងវាឲ្យយោល។ គេវាស់ឃើញខួបលំយោលរបស់វាស្មើ 1.81 s ។ គណនាប្រវែងខ្សែ L នេះ។ $g = 9.80\, m/s^2$ ។

៩. ប៉ោលទោលមួយមានប្រវែងខ្សែ 1.00 m ។ គេទាញវាចេញពីទីតាំងលំនឹងក្រោមមុំតូចប្រហែល $5.0°$ បន្ទាប់មកគេលែងវាឲ្យយោល។

ក. កំណត់ខួបនៃប៉ោលទោល។ យក $g = 9.80\, m/s^2$ ។

ខ. ដោយប្រើក្រូណូម៉ែត្រកត់ត្រារយៈពេល 10 លំយោលពេញចំនួន 5 ដងផ្សេងៗគ្នា គេបានតម្លៃក្នុងតារាងខាងក្រោម៖

ពិសោធន៍	លើកទី1	លើកទី2	លើកទី3	លើកទី4	លើកទី5
រយៈពេល10 លំយោលពេញ (s)	20.05	20.08	20.08	20.04	20.08
ខួប(T)					

$\overline{T}$					
%កម្រិតល្អៀង					
ល្អៀងគំរូ(α)					

(a) គណនាខួប(រយៈពេលមួយលំយោលពេញ) (T)

(b) គណនាតម្លៃមធ្យមនៃខួប $\overline{T}$

(c) គណនាកម្រិតល្អៀង(ភាគរយ)

(d) កម្រិតល្អៀងគំរូ (α)

៤. ឧបករណ៍សម្ភារ

Software PHET

៥. ដំណើរការ

(ក) Install Software PHET (Offline or online) ចូលក្នុងកុំព្យូទ័ររបស់អ្នក។ បើ Online ពេលប្រើត្រូវភ្ជាប់ Internet ។ បើ Offline មិនចាំបាច់ភ្ជាប់ Internet ទេ។ បន្ទាប់ពី Install ចប់ វានឹងបង្ហាញ Icon PHET simulations នៅលើ Screen នៃកុំព្យូទ័ររបស់អ្នក។

(ខ) ដាក់ Mouse pointer លើ Icon PHET simulations រួចចុចពីរដងលើ Mouse ខាងឆ្វេងនោះវានឹងលេចចេញផ្ទាំងបញ្ជីឈ្មោះពិសោធន៍ដែលរៀបតាមអក្ខរក្រម(Alphabet) ពី A ទៅ Z ។ នៅជួរខាងឆ្វេងមានពាក្យថា Simulations និងខាងក្រោមវាមានពាក្យថា Physics, Chemistry, Biology, Earth Science, Math, ... ដែលបញ្ជាក់ថាអ្នកអាចធ្វើពិសោធន៍បានជាមួយ Physics, Chemistry, Biology, Earth Science, Math ។

(គ) ចុចលើពាក្យថា Physics (រូបវិទ្យា) វានឹងបង្ហាញបញ្ជីពិសោធន៍យ៉ាងច្រើនដែលអ្នកអាចធ្វើពិសោធន៍បានក្រោមទម្រង់ជារូបភាព។ សូមចងចាំថា ពិសោធន៍របស់អ្នកគឺប៉ោលទោល(Pendulum Lab)។ ដូចនេះត្រូវយក Pendulum Lab ។

(ឃ) ចុចលើពាក្យ Pendulum Lab ពេលនោះវានឹងលេចចេញជា File VIDEO ។

(ង) ចុចលើ VIDEO នេះ វានឹងចេញរូបប៉ោលដែលនៅស្ងៀម និងប្រអប់ជាច្រើន។

- **ចំពោះប្រវែងប៉ោល**

(ច) ចុចជ្រើសរើសប្រវែងខ្សែ (L) ម៉ាសប៉ោល(m) សំទុះទំនាញដី(g) (ផែនដី) និងគ្មានកកិត នៅក្នុងប្រអប់ខាងស្តាំនៃប៉ោល។។ តម្លៃទាំងនេះមើលតាមតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី១ខាងក្រោម។

(ឆ) ទាញប៉ោលចេញពីទីតាំងលំនឹងបានមុំប្រហែល 5.0° រួចលែងវា។

(ជ) ចុចលើប្រអប់ខាងក្រោមផ្នែកខាងឆ្វេងដើម្បីជ្រើសយក Stopwatch (ក្រូណូម៉ែត្រ) នោះវានឹងលេចចេញនូវ Stopwatch (ក្រូណូម៉ែត្រ)ដែលអាចឲ្យយើងវាស់ខួបនៃលំយោលបាន។

(ឈ) វាស់ខួប 10 លំយោលពេញ រួចកត់ត្រាទិន្នន័យដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី១ខាងក្រោម។ វាស់វាចំនួនបីដងផ្សេងៗគ្នាទៀត។ **ធ្វើដូចគ្នាចំពោះប្រវែងខ្សែផ្សេងៗទៀត**។

- **ចំពោះម៉ាសប៉ោល**

(ញ) ពិនិត្យតារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី២ រួចយកម៉ាសតាមក្នុងតារាង និងធ្វើតាមចំណុច(ឈ)។ **ធ្វើដូចគ្នាចំពោះម៉ាសប៉ោលផ្សេងៗទៀត**។ពិសោធន៍នេះត្រូវរក្សាប្រវែងប៉ោល និងមុំ(អំព្លីទុត)ថេរ។

- **ចំពោះមុំប៉ោល(អំព្លីទុតមុំ)**

(ដ) ពិនិត្យតារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី៣ រួចយកមុំតាមក្នុងតារាង និងធ្វើតាមចំណុច(ឈ)។**ធ្វើដូចគ្នាចំពោះមុំប៉ោល(អំព្លីទុតមុំ)ផ្សេងៗទៀត**។ ពិសោធន៍នេះត្រូវរក្សាប្រវែងប៉ោល និងម៉ាសថេរ។

- **ដំបូន្មានក្នុងការគណនា**
  ប្រវែងប៉ោល

១. គណនាតម្លៃមធ្យម $\bar{t}$ កម្រិតល្អៀងស្តង់ដា α_t សម្រាប់ប្រវែងនីមួយៗនិងកត់ត្រាតម្លៃរបស់វាក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី១។

២. គណនាខួប T ដែល $T=\bar{t}/10$ និងកត់ត្រាវាក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី១។

៣. គណនា $\sqrt{L}$ និងកត់ត្រាវាក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី១។ សង់ក្រាបរវាង T និង$\sqrt{L}$ ដែល T ស្ថិតលើអ័ក្សឈរនិង $\sqrt{L}$ លើអ័ក្សដេក។ តាមរូបមន្ត $T=\frac{2\pi}{\sqrt{g}}\sqrt{L}$ នោះមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ $\tan\theta=\frac{2\pi}{\sqrt{g}}$ ដែល g ជាអញ្ញត្តិ

និងកត់ត្រាវាជាg_{exp} ក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី១។ កត់ត្រាមេគុណទំនាក់ទំនង r (Correlation coefficient)។

ម៉ាសប៉ោល

១. គណនាតម្លៃមធ្យម $\bar{t}$ និងកម្រិតល្អៀងស្តង់ដា α_t សម្រាប់ម៉ាសនីមួយៗ និងកត់ត្រាតម្លៃរបស់វាក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី២។

២. គណនាខួប T ដែល $T = \bar{t}/10$ និងកត់ត្រាវាក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី២។

មុំប៉ោល(អំព្លីទុតមុំ)

១. គណនាតម្លៃមធ្យម $\bar{t}$ និងកម្រិតល្អៀងស្តង់ដា α_t សម្រាប់មុំនីមួយៗ និងកត់ត្រាតម្លៃរបស់វាក្នុងតារាង

ទិន្នន័យនិងគណនាទី៣។

២. គណនាខួប T ដែល $T = \bar{t}/10$ និងកត់ត្រាវាក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី៣ជា T_{exp} ។

៣. ប្រើសមីការ (6) គឺ $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}\left(1 + \frac{1}{4}\sin^2\theta/2 + \frac{9}{64}\sin^4\theta/2 + \cdots\right)$ដើម្បីគណនា Tដោយយក L = 1.00 m, និង m = 0.200 kg និង θ ក្នុងតារាង។ កត់ត្រាវាក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី៣ជា T_{theo} ។

៤. សម្រាប់តម្លៃខួបតាមពិសោធន៍ T_{exp} គណនាផលធៀបនៃខួបត្រង់មុំផ្សេងៗទៅនឹងខួបត្រង់មុំ 5.0°។ ហៅផលធៀបនេះជា $\frac{T_{\text{exp}}(\theta)}{T_{\text{exp}}(5°)}$ ។ កត់ត្រាតម្លៃនេះក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី៣។

៥. សម្រាប់តម្លៃខួបតាមទ្រឹស្តី T_{theo} គណនាផលធៀបនៃខួបត្រង់មុំផ្សេងៗទៅនឹងខួបត្រង់មុំ 5.0°។ ហៅផលធៀបនេះជា $\frac{T_{\text{theo}}(\theta)}{T_{\text{theo}}(5°)}$ ។ កត់ត្រាតម្លៃនេះក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី៣។

៦. លទ្ធផល

តារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី១

- **យក m = 0. 200 kg, និង $\theta = 5.0°$** (ថេរ)

L (m)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	$\bar{t}$(s)	T(s)= $\bar{t}$/10	$\sqrt{L}(\sqrt{m})$	α_t (s)
1.00	19.91	19.94	19.86	19.90	1.990	1.00	
0.800	17.74	17.73	17.83	17.77	1.777	0.8944	
0.600	15.61	15.44	15.46	15.50	1.550	0.7746	
0.500	14.05	14.09	14.08	14.07	1.407	0.7071	

0.400	12.59	12.59	12.58	12.59	1.259	0.6325	
0.300	10.91	10.99	10.96	10.95	1.095	0.5477	
0.200	8.85	8.90	8.83	8.86	0.886	0.4472	
0.100							
មេគុណប្រាប់ទិស tanθ = 2		g_{exp}= 9.86 m/s^2		%កម្រិតល្អៀង =		r = 1	

តារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី២

❖ **យក L = 1. 00 m, និង $\theta = 5.0°$ (ថេរ)**

m (kg)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	$\bar{t}(s)$	T(s) = $\bar{t}/10$	α_t (s)
0.100	19.91	19.93	19.96	19.93	1.993	
0.200	19.94	19.92	19.93	19.93	1.993	
0.300	19.87	19.88	19.98	19.91	1.991	
0.500	19.95	19.90	19.92	19.92	1.992	

តារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី៣

❖ **យក L = 1.00 m, និង m = 0.200 kg (ថេរ)**

θ	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	$\bar{t}(s)$	α_t (s)	T(s)=T_{exp}	T_{theo} (s)	$\frac{T_{exp}(\theta)}{T_{exp}(5°)}$	$\frac{T_{theo}(\theta)}{T_{theo}(5°)}$
5°	19.85	19.93	20.07	19.95		1.995	2.008	1.000	1.000
10°	20.03	20.01	20.00	20.01		2.001	2.011	1.003	1.001
20°	20.07	20.25	20.15	20.16		2.016	2.022	1.010	1.007
30°	20.26	20.31	20.30	20.29		2.029	2.042	1.017	1.017

45°	20.78	20.85	20.76	20.80		2.080	2.087	1.043	1.039

ការគណនាគំរូ

$$T_{exp} = \frac{\bar{t}}{10} = \sqrt{L} =$$

$$g_{exp} = \frac{4\pi^2}{\tan^2\theta} =$$

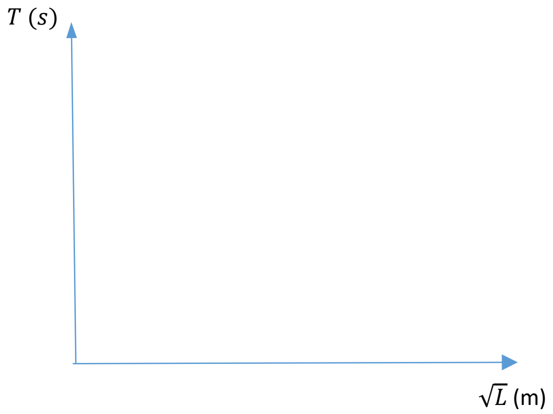
$$T_{\text{theo}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}\left(1 + \frac{1}{4}\sin^2\theta/2 + \frac{9}{64}\sin^4\theta/2 + \cdots\right)$$

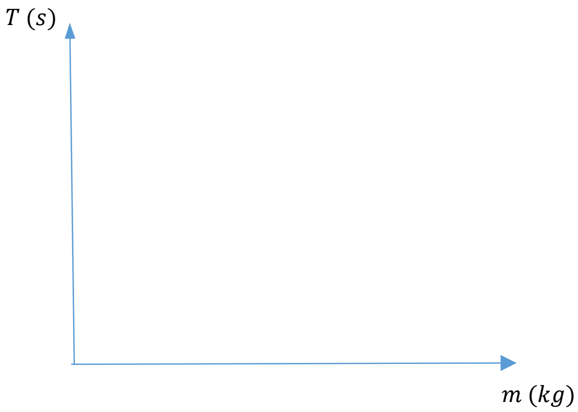
$$\delta_{n-1} = \sum \frac{1}{n-1}(t-\bar{t})^2$$

$$\alpha_t = \frac{\delta_{n-1}}{\sqrt{n}} =$$

%កម្រិតល្មៀង $= \left|\frac{g_{theo}-g_{exp}}{g_{theo}}\right| \times 100\% =$

- ក្រាប





៧. សន្និដ្ឋាន

-ផ្អែកលើសទ្ធផលពិសោធន៍តាមតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី១កាលណាប្រវែង (L)ប៉ោល……………..នោះខួប(T)នៃប៉ោល…………..។ ចំណែកឯតាមតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី២ កាលណាម៉ាស (m)ប៉ោល……………….នោះខួប(T)នៃប៉ោល………………….។ ដូចនេះ

យើងអាចសន្និដ្ឋានបានថា ខួបនៃប៉ោលទោល(T)អាស្រ័យលើ***ប្រវែង***នៃប៉ោល និងមិនអាស្រ័យលើ***ម៉ាស***របស់ប៉ោលទេ។

- តាមលទ្ធផលក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី៣ កាលណាមុំ(អំព្លីទុតមុំ)ប៉ោលθ = 5.0^{o} នោះ ខួប(T)នៃប៉ោលស្មើ………………..និងθ = 10° នោះ ខួប(T)នៃប៉ោលស្មើ………..។ ប៉ុន្តែកាលណាមុំ(អំព្លីទុតមុំ)ប៉ោលធំ θ> 10° នោះ ខួប(T)នៃប៉ោល………..។ ដូចនេះយើងអាចសន្និដ្ឋានបានថា ខួបនៃប៉ោលទោល(T)មាន***តម្លៃថេរ*** កាលណាមុំ(អំព្លីទុតមុំ)ប៉ោល(θ) តូចប្រហែល 10° និងមាន***តម្លៃកើនឡើង*** កាលណាមុំ(អំព្លីទុតមុំ)ប៉ោល(θ) ធំ (> 10°) និង ។

- សំទុះទំនាញផែនដីអាចត្រូវបានកំណត់តាមពិសោធន៍ g_{exp} =………….m/s^{2}។

៨. ពិភាក្សា

១. តើកត្តាអ្វីខ្លះដែលធ្វើលទ្ធផលពិសោធន៍របស់អ្នកមិនបានល្អ?

២. តើអ្នកធ្វើដូចម្តេចបានជាលទ្ធផលពិសោធន៍របស់អ្នកបានល្អ?

៣. ដើម្បីឲ្យការពិសោធន៍លើកក្រោយៗទៀតទទួលបានលទ្ធផលកាន់តែល្អជាងនេះ តើអ្នកត្រូវយកចិត្តទុកដាក់លើចំណុចអ្វីខ្លះ?

រង្វាស់កម្ដៅម៉ាសរបស់អង្គធាតុ(ទង់ដែង)

១. វត្ថុបំណង

កំណត់កម្ដៅម៉ាសទង់ដែងតាមពិសោធន៍ និងគណនាកម្រិតល្អៀងរបស់វាបានត្រឹមត្រូវ។

២. ចំណេះដឹងមូលដ្ឋាន(ទ្រឹស្ដី)

- កម្ដៅម៉ាស (c)
- រូបមន្តបរិមាណកម្ដៅដែលទឹក និងកាឡូរីម៉ែត្រស្រូប
  $$Q_{\text{ស្រូប}} = (m_1c_1 + m_2c_2)\Delta T = (m_1c_1 + m_2c_2)(T_f - T_c)$$
- រូបមន្តបរិមាណកម្ដៅដែលអង្គធាតុក្ដៅបញ្ចេញ $Q_{\text{បញ្ចេញ}} = (m_3c_3)\Delta T = (m_3c_3)(T_h - T_f)$
- គោលការណ៍បណ្ដូរកម្ដៅ $Q_{\text{ស្រូប}} = Q_{\text{បញ្ចេញ}}$
- %កម្រិតល្អៀង (c)= $\left|\frac{c_{\text{ទ្រឹស្ដី}} - c_{\text{ពិ}}}{c_{\text{ទ្រឹស្ដី}}}\right| \times 100\%$

៣. ពិសោធន៍

៣.១ ការកំណត់បញ្ហា

ដោយប្រើប្រាស់កាឡូរីម៉ែត្រ តើអ្នកអាចកំណត់កម្ដៅម៉ាសរបស់លោហៈបានយ៉ាងដូចម្ដេច?

៣.២ សម្មតិកម្ម

ដាក់ដុំទង់ដែងក្ដៅដែលស្គាល់ម៉ាសនិងសីតុណ្ហភាពរបស់វាចូលក្នុងទឹកនៃកាឡូរីម៉ែត្រដែលស្គាល់ម៉ាសទឹក និងម៉ាស់កាឡូរីម៉ែត្រ និងសីតុណ្ហភាពដើមរបស់វា រួចវាស់សីតុណ្ហភាពស្រេចរបស់ប្រព័ន្ធ នោះយើងអាចកំណត់កម្ដៅម៉ាសនៃទង់ដែងបាន។

៣.៣ តេស្តសម្មតិកម្ម(ពិសោធន៍)

(ក) តម្រូវការសម្ភារៈ៖ ដុំទង់ដែង កាឡូរីម៉ែត្រទង់ដែង ទឹក ជញ្ជីង ទែម៉ូម៉ែត្រ តង្កៀបចាប់ដុំទង់ដែង ឆ្នាំងដាំទឹក និងចង្ក្រានហ្គាស

(ខ) ដំណើរការដំឡើង និងពិសោធន៍

- ថ្លឹងម៉ាសកាឡូរីម៉ែត្រ និងម៉ាសដុំទង់ដែងដោយប្រើជញ្ជីងរៀងគ្នា។ ម៉ាសកាឡូរីម៉ែត្រm_1 និងម៉ាសដុំទង់ដែង m_3 និងកត់ត្រាទិន្នន័យនីមួយៗដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យខាងក្រោម។

- ចាក់ទឹកចូលជិតពាក់កណ្ដាលកាឡូរីម៉ែត្រ រួចថ្លឹងវាដោយប្រើជញ្ជីង។ ម៉ាសទឹក-កាឡូរីម៉ែត្រគឺ m ម៉ាសទឹកគឺ m_2 ដែល $m_2 = m - m_1$ រួចកត់ត្រាទិន្នន័យដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យខាងក្រោម។
- ដាក់ដុំទង់ដែងក្នុងឆ្នាំងដាំទឹក រួចដាំទឹករហូតដល់ពុះដោយប្រើចង្ក្រានហ្គាស។ ត្រាំតង្កៀប និងទែម៉ូម៉ែត្រក្នុងទឹកពុះ។ វាស់សីតុណ្ហភាពទឹកពុះ t_h រួចកត់ត្រាទិន្នន័យដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យខាងក្រោម។ សីតុណ្ហភាពនៃទឹកពុះស្មើគ្នានឹងសីតុណ្ហភាពនៃដុំទង់ដែង។
- ដកទែម៉ូម៉ែត្រពីឆ្នាំងដាំទឹកពុះយកទៅដាក់ក្នុងទឹកត្រជាក់ដើម្បីបញ្ចុះសីតុណ្ហភាពវាមកធម្មតាវិញ រួចដាក់បញ្ចូលក្នុងរន្ធនៃគម្របកាឡូរីម៉ែត្រ ដោយលៃយ៉ាងណាឱ្យបាតនៃកណ្ដក់ត្រឹមពាក់កណ្ដាលកាឡូរីម៉ែត្រគិតពីគម្របលើ។
- ដាក់ម៉ាសទឹក-កាឡូរីម៉ែត្រក្នុងផើងធំនៃកាឡូរីម៉ែត្រ។
- ចាប់ដុំទង់ដែងក្ដៅដាក់ចូលក្នុងទឹក-កាឡូរីម៉ែត្រ ដោយប្រើតង្កៀប និងគ្របគម្របដែលមានទែម៉ូម៉ែត្រ។ កូរទឹកដោយប្រើប្រដាប់កូរ(ខ្នូរ) រួចអានសីតុណ្ហភាស្រេចនៃទឹក។ កត់ត្រាទិន្នន័យដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យ។

៣.៤ លទ្ធផល

តារាងទិន្នន័យ

<table>
<tr><th></th><th>តម្លៃម៉ាស (kg)</th><th>សីតុណ្ហភាព(℃)</th><th>កម្ដៅម៉ាស (c) (J/kg℃)</th></tr>
<tr><td>ម៉ាសទឹក-កាឡូរីម៉ែត្រ m</td><td></td><td rowspan="3">t_c</td><td>កម្ដៅម៉ាសទឹក $c_2 = 4187$ J/kg℃</td></tr>
<tr><td>ម៉ាសកាឡូរីម៉ែត្រទង់ដែង m_1</td><td></td><td>កម្ដៅម៉ាសទង់ដែង $c_{\text{ទ្រី}} = 387$ J/kg℃</td></tr>
<tr><td>ម៉ាសទឹក $m_2 = m - m_1$</td><td></td><td>$c_{\text{ពិ}} =$</td></tr>
<tr><td>ម៉ាសដុំទង់ដែង m_3</td><td></td><td>$t_h =$</td><td>$t_f =$</td></tr>
</table>

%កម្រិតល្អៀងនៃកម្ដៅម៉ាស (c)	

ការគណនាគំរូ

………

………

………

……………………………………………………

៣.៥ សន្និដ្ឋាន

ផ្អែកលើលទ្ធផលពិសោធន៍ខាងលើ កម្ដៅម៉ាសទង់ដែងតាមទ្រឹស្ដី $c_{ទ្រឹ} =$ ………………………… និងតាមពិសោធន៍ ត្រូវបានរកឃើញ $c_{ពិ} =$ ………………………….។ កម្រិតល្អៀងរបស់វាគឺ …………………………………….។ ដូចនេះសម្មតិកម្មត្រូវបាន……………………ដោយពិសោធន៍។

ពិភាក្សា៖ ១. តើកត្តាអ្វីខ្លះដែលមានឥទ្ធិពលលើលទ្ធផលពិសោធន៍របស់អ្នកដែលធ្វើឱ្យវាមិនបានល្អ?

២. តើអ្នកមានគំនិតបែបណាដើម្បីកាត់បន្ថយកត្តាទាំងនោះដើម្បីឱ្យការពិសោធលើក្រោយបានលទ្ធផលល្អជាងនេះ?

ដែនអគ្គិសនី និងប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនី

ដែនអគ្គិសនី

១. វត្ថុបំណង៖

- បង្ហាញខ្សែដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនី និងស្ប៉ិចអគ្គិសនី។
- កំណត់ទិសដៅ និងអាំងតង់ស៊ីតេដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកត្រង់ចំណុចណាមួយ។គូរក្រាបដែនអគ្គិសនី(*E*) ជាអនុគមន៍នៃចម្ងាយ(*a*) ។
- កំណត់កម្រិតល្អៀងរវាងតម្លៃតាមទ្រឹស្តី និងពិសោធន៍។

២. ទ្រឹស្តី

កាលពីពិសោធន៍មុនយើងបានសិក្សាពីអគ្គិសនីកម្ម និងបានបញ្ចូលបញ្ញតិកម្លាំងអគ្គិសនី ដែនអគ្គិនីនិងទំនាក់ទំនងរវាងកម្លាំងនិងដែនអគ្គិសនីខ្លះៗមកហើយ ក្នុងគោលបំណងដើម្បីពន្យល់ពីអន្តកម្មនៃបន្ទុកអគ្គិសនី។ ពិសោធន៍នេះយើងនឹងរៀនពិស្តាពីបន្ទុកបង្កើតដែនអគ្គិសនី។ តើដែនអគ្គិសនីជាអ្វី? ដែលអគ្គិសនីជាលំហមួយដែលកើតមានជុំវិញបន្ទុកអគ្គិសនី ដែលតាមរយៈលំហនេះអាចឲ្យបន្ទុកអគ្គិសនីមួយមានអំពើលើបន្ទុកអគ្គិសនីមួយទៀតដែលនៅក្បែរនោះ។

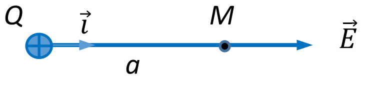
ដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកមួយឲ្យដោយ៖

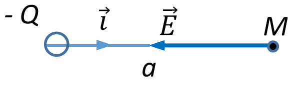
$\vec{E} = K\frac{Q}{a^2}\vec{\imath}$ ដែល $\vec{\imath}$ ជាវ៉ិចទ័រឯកតា

ជាម៉ូឌុល $E = K\frac{Q}{a^2}$

ដែល $K = 9.0 \times 10^9$ Nm^2/C^2 ហៅថាថេរគូឡុំ, *Q* ជាបន្ទុកបង្កើតដែនត្រង់ចំណុចណាមួយ គិតជា (C)

a ជាចម្ងាយពីបន្ទុកបង្កើតដែន(*Q*)ទៅចំណុចបង្កើតដែន គិតជា (m), *E* ជាដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំណុចណាមួយ គិតជា (N/C)ឬ (V/m)

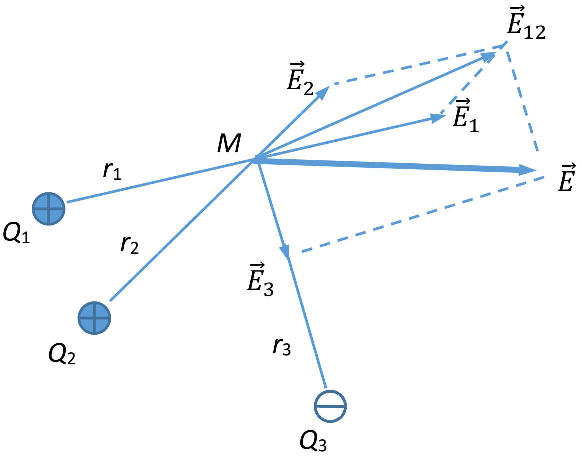




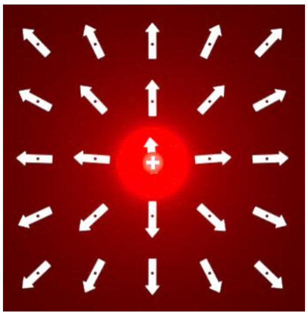
$Q > 0$ ដែនអគ្គិសនីចាកផ្ចិត $\vec{E} = K\frac{Q}{a^2}\vec{\imath}$ $Q < 0$ ដែនអគ្គិសនីចូលផ្ចិត $\vec{E} = -K\frac{Q}{a^2}\vec{\imath}$

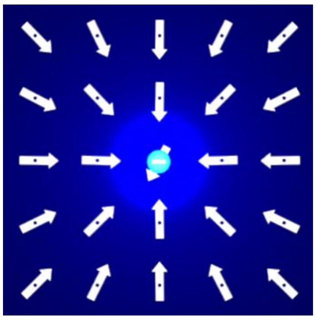
ដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកច្រើនឲ្យដោយ៖

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \cdots = \sum_i K \frac{Q_i}{{a_i}^2} \vec{\imath}$$



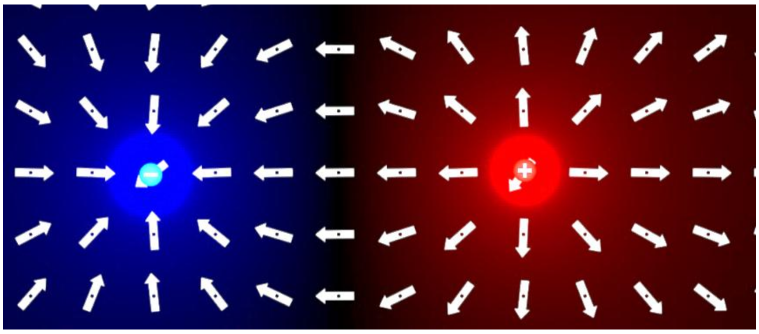
ខ្សែដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនី





ខ្សែដែនអគ្គិសនីនៃបន្ទុកវិជ្ជមាន

ខ្សែដែនអគ្គិសនីនៃបន្ទុកអវិជ្ជមាន



(សំណុំខ្សែដែនអគ្គិសនីហៅថាស្ប៉ិចអគ្គិសនី)

ខ្សែដែនអគ្គិសនីនៃបន្ទុកវិជ្ជមាន និងអវិជ្ជមានដែលដាក់ក្បែរគ្នា

កម្រិតល្អៀងភាគរយ(%Error)

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

៣. សំណួរមុនចូលទីពិសោធន៍

១. តើដែនអគ្គិសនីជាអ្វី?

២. តើដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកវិជ្ជមានមួយត្រង់ចំណុចផ្សេងៗក្បែរៗចំណុចបន្ទុកមានទិសដៅដូចម្តេច? គូររូបតាងខ្សែដែនអគ្គិសនីជុំវិញចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីនេះ។

៣. តើដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកអវិជ្ជមានមួយត្រង់ចំណុចផ្សេងៗក្បែរៗចំណុចបន្ទុកមានទិសដៅដូចម្តេច? គូររូបតាងខ្សែដែនអគ្គិសនីជុំវិញចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីនេះ។

៤. តើស្ប៉ិចអគ្គិសនីជាអ្វី?

៥. សរសេររូបមន្តនៃដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកមួយ។

៦. សរសេររូបមន្តនៃដែនអគ្គិសនីផ្លូបដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកច្រើន។

៧. ចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីមួយ $q = 25.0\,\mu C$ ស្ថិតក្នុងខ្យល់។ កំណត់ដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំណុច M ចម្ងាយ 5.0 cm ពីចំណុចបន្ទុកនេះ។ គេឲ្យ $K = 9.0 \times 10^9$ Nm^2/C^2 ។

៨. ចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីមួយ $q = -25.0\,\mu C$ ស្ថិតក្នុងខ្យល់។ កំណត់ដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំណុច M ចម្ងាយ 1.0 m ពីចំណុចបន្ទុកនេះ។ គេឲ្យ $K = 9.0 \times 10^9$ Nm^2/C^2 ។

៩. ចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីពីរ $q_1 = 25.0\,\mu C$និង $q_2 = -25.0\,\mu C$ ស្ថិតក្នុងខ្យល់។ កំណត់ដែនអគ្គិសនីផ្ទួបត្រង់ចំណុច M ស្ថិតនៅពាក់កណ្តាលរវាងចំណុចបន្ទុកទាំងពីរ។ ចម្ងាយរវាងចំណុចបន្ទុកទាំងពីរគឺ 2.0 m ។ គេឲ្យ $K = 9.0 \times 10^9$ Nm^2/C^2 ។

១០. ចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីពីរ $q_1 = q_2 = 1.0\,nC$ ស្ថិតក្នុងខ្យល់ ត្រូវបានដាក់លើកំពូលនៃត្រីកោណសម័ង្ស(ABC)មួយដែលមានជ្រុង a ។

(ក) កំណត់ដែនអគ្គិសនីផ្ទួបត្រង់ចំណុច Cដែលគ្មានបន្ទុកអគ្គិសនី។ គេឲ្យ $K = 9.0 \times 10^9$ Nm^2/C^2 និង $a = 3.0$ m ។

(ខ) បើតម្លៃដែនអគ្គិសនីផ្ទួបតាមពិសោធន៍ត្រង់ Cត្រូវបានវាស់ឃើញស្មើនឹង 1.73 N/C គណនាកម្រិតល្អៀង(ភាគរយ)របស់វា។

១១. ចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីពីរ $q_1 = 1.0\,nC$ និង$q_2 = -1.0\,nC$ ស្ថិតក្នុងខ្យល់ ត្រូវបានដាក់លើកំពូលនៃត្រីកោណសម័ង្ស(ABC)មួយដែលមានជ្រុង a ។

(ក) កំណត់ដែនអគ្គិសនីផ្ទួបត្រង់ចំណុច Cដែលគ្មានបន្ទុកអគ្គិសនី។ គេឲ្យ $K = 9.0 \times 10^9$ Nm^2/C^2 និង $a = 3.0$ m ។

(ខ) បើតម្លៃដែនអគ្គិសនីផ្ទួបតាមពិសោធន៍ត្រង់ Cត្រូវបានវាស់ឃើញស្មើនឹង 1.01 N/C គណនាកម្រិតល្អៀង(ភាគរយ)របស់វា។

៤. តម្រូវការសម្ភារ

Software PHET Simulation ដែលដំឡើងរួចលើកំព្យូទ័ររបស់អ្នក

៥. ដំណើរការ

(ក) ចុចពីរដងជាប់គ្នាលើ PHET Simulations លើអេក្រង់នៃកំព្យូទ័ររបស់អ្នក ពេលនោះវានឹងលេចចេញផ្ទាំងបញ្ជីឈ្មោះពិសោធន៍ដែលរៀបតាមអក្ខរក្រម(Alphabet) ពី A ទៅ Z ។ នៅជួរខាងឆ្វេងមានពាក្យថា Simulations និងខាងក្រោមវាមានពាក្យថា Physics, Chemistry, Biology, Earth

Science, Math, ... ដែលបញ្ជាក់ថាអ្នកអាចធ្វើពិសោធន៍បានជាមួយ Physics, Chemistry, Biology, Earth Science, Math ។

(ខ) ចុចលើពាក្យថា Physics (រូបវិទ្យា) វានឹងបង្ហាញបញ្ជីពិសោធន៍យ៉ាងច្រើនដែលអ្នកអាចធ្វើពិសោធន៍បានក្រោមទម្រង់ជារូបភាព។ សូមចងចាំថា ពិសោធន៍របស់អ្នកគឺដែនអគ្គិសនី (Charges and Fields)។ ដូចនេះត្រូវយក Charges and Fields ។ ចុចលើពាក្យ Charges and Fields ពេលនោះវានឹងលេចចេញជា File VIDEO ។

(គ) ចុចលើ VIDEO នេះ វានឹងចេញប្រអប់ធំៗបី គឺខាងក្រោមមួយ និងខាងស្តាំពីរ។

- ប្រអប់ធំខាងក្រោមមាន៖
  - + 1 nC មានន័យថាបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមាន 1 nC
  - - 1 nC មានន័យថាបន្ទុកអគ្គិសនីអវិជ្ជមាន -1 nC
  - Sensors មានន័យថាជាឧបករណ៍សម្រាប់វាស់ដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំណុចណាមួយដែលចង់វាស់។
- ប្រអប់ធំខាងស្តាំ និងខាងលើមាន៖
  - Electric Field មានន័យថាបង្ហាញទិសដៅខ្សែដែនអគ្គិសនី ឆ្ងាយពីបន្ទុកខ្សែដែនព្រាលៗ
  - Direction Only មានន័យថាបង្ហាញតែទិសដៅខ្សែដែនអគ្គិសនីប៉ុណ្ណោះ
  - Voltage មានន័យថាតង់ស្យុង វាបង្ហាញព៌ណជុំវិញបន្ទុក។ (+) ព៌ណក្រហម និង(-)ព៌ណខៀវ។
  - Values មានន័យថាបង្ហាញតម្លៃដែនអគ្គិសនីដែលវាស់ដោយប្រើ Sensors និងមុំជាដឺក្រេ។
  - Grid មានន័យថាបង្ហាញក្រឡាការ៉ូដែលជាមាត្រដ្ឋាន 2 ការ៉ូធំត្រូវជា 1 m ។
- ប្រអប់ធំខាងស្តាំ និងខាងក្រោមមាន៖
  - 0.0 V មានន័យថាបង្ហាញឧបករណ៍វាស់ប៉ូតង់ស្យែលត្រង់ចំណុចណាមួយ
  - ម៉ែត្ររមូ សម្រាប់វាស់ប្រវែងឬចម្ងាយ។

➢ ខ្សែដែន និងស្ប៉ិចអគ្គិសនី

(ឃ) ទាញយកបន្ទុកវិជ្ជមាន (+1 nC) ដាក់ក្នុងកន្លែងធ្វើការ(Work sheet) ខាងលើត្រង់ចំណុចណាមួយ។ពិនិត្យមើលខ្សែដែនអគ្គិសនីជុំវិញបន្ទុកអគ្គិសនី។ កត់ត្រាទម្រង់ខ្សែដែនអគ្គិសនីដាក់ក្នុងតារាង

ទិន្នន័យទី១ខាងក្រោម។

(ង) ទាញបន្ទុកវិជ្ជមាន (+1 nC) មួយទៀតដាក់នៅជ្រុងម្ខាងទៀតឆ្ងាយពីបន្ទុកមុន។ ពិនិត្យមើលខ្សែដែនអគ្គិសនីជុំវិញបន្ទុកអគ្គិសនីទាំងពីរ។ កត់ត្រាទម្រង់ខ្សែដែនអគ្គិសនីដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យទី១ខាងក្រោម។

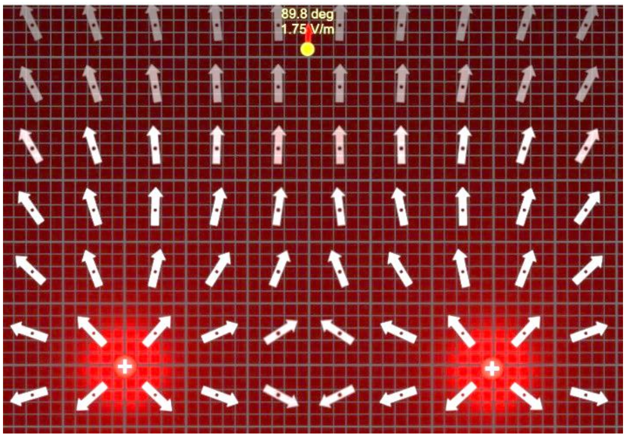
(ច) ទាញបន្ទុកទាំងពីរដាក់ក្នុងប្រអប់នៅកន្លែងដើមវិញ។ រួចទាញបន្ទុកអវិជ្ជមាន (-1 nC) មួយដាក់ក្នុងកន្លែងធ្វើការ(Work sheet)ជំនួសបន្ទុកវិជ្ជមាន ពិនិត្យមើលខ្សែដែនអគ្គិសនីរបស់វា បន្ទាប់មកទាញបន្ទុកអវិជ្ជមានមួយទៀតដាក់នៅជ្រុងម្ខាងទៀតឆ្ងាយពីបន្ទុកមុន។ ពិនិត្យមើលខ្សែដែនអគ្គិសនីជុំវិញបន្ទុកអគ្គិសនីទាំងពីរ។ កត់ត្រាទម្រង់ខ្សែដែនអគ្គិសនីដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យទី១។

(ឆ) ទាញបន្ទុកអវិជ្ជមានមួយដាក់ក្នុងប្រអប់នៅកន្លែងដើមវិញ រួចទាញបន្ទុកវិជ្ជមានដាក់ជំនួសវិញ។ ពិនិត្យមើលខ្សែដែនអគ្គិសនីជុំវិញបន្ទុកទាំងពីរ។ កត់ត្រាទម្រង់ខ្សែដែនអគ្គិសនីដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យទី១។

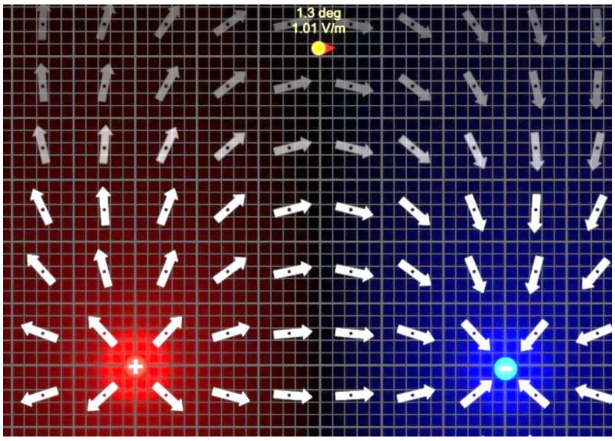
- **ការគណនាដែនអគ្គិសនី និងគូរក្រាប**

(ជ) រក្សាទុកតែបន្ទុកវិជ្ជមាន +1.0 nC មួយប៉ុណ្ណោះនិងដាក់វានៅផ្នែកខាងឆ្វេងនិងខាងក្រោមក្បែរបាត។ ប្រើSensors (ដាក់ត្រង់ទីតាំងផ្សេងៗ) និងម៉ែត្រដើម្បីវាស់ដែនអគ្គិសនីនិងប្រវែងរៀងគ្នាដូចបង្ហាញក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី២។

(ឈ) ជំឡើងរូបតាមលំហាត់ទី១០ និង១១ ក្នុងសំណួរមុនចូលទីពិសោធន៍ និងធ្វើពិសោធន៍ម្តងមួយៗ រួចគណនាដែនអគ្គិសនីផ្ទប និងគណនាកម្រិតល្បឿងរបស់វា។ កត់ត្រាទិន្នន័យដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី៣ខាងក្រោម។ ចម្ងាយរវាងបន្ទុក a = 3.0 m



បន្ទុក + 1.0 nC បន្ទុក + 1.0 nC



បន្ទុក + 1.0 nC   បន្ទុក - 1.0 nC

៦. លទ្ធផល

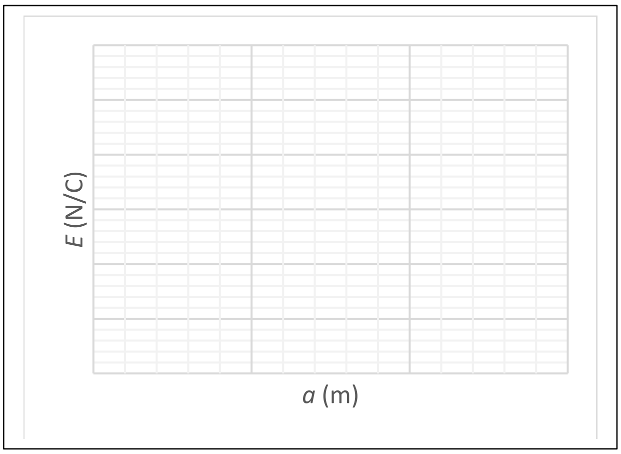
តារាងទិន្នន័យទី១

ប្រភេទបន្ទុកអគ្គិសនី	ខ្សែដែនអគ្គិសនី
(+)	
(-)	
(+) និង (-)	
(+) និង (+)	
(-) និង (-)	
ស្ប៉ិចអគ្គិសនី	

តារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី២

ចម្ងាយ *a* (m)	$E_{ពិសោធន៍}$(N/C)	$E_{ទ្រឹស្តី}$(N/C)
0.50 m		
0.60 m		
0.70 m		
0.80 m		
1.0 m		
1.5 m		
2.0 m		
2.5 m		
3.0 m		
3.5 m		
4.0 m		
$Q = 1.0\times10^{-9}$ C	$K = 9.0\times10^{9}$ Nm^2/C^2	

ក្រាប



តារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី3

<table>
<tr><td>ចម្ងាយ a (m)</td><td colspan="2">$E_{ពិសោធន៍}$(N/C)</td><td>$E_{ទ្រឹស្ដី}$(N/C)</td></tr>
<tr><td>3.0 m</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">% Error =</td></tr>
<tr><td colspan="2">$Q_1 = Q_2 = 1.0\times10^{-9}$ C</td><td colspan="2">$K = 9.0\times10^{9}$ Nm^2/C^2</td></tr>
<tr><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>ចម្ងាយ a (m)</td><td colspan="2">$E_{ពិសោធន៍}$(N/C)</td><td>$E_{ទ្រឹស្ដី}$(N/C)</td></tr>
<tr><td>3.0 m</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">% Error =</td></tr>
<tr><td colspan="4">$Q_1 = 1.0\times10^{-9}$ C និង $Q_2 = -1.0\times10^{-9}$ C</td></tr>
</table>

ការគណនាគំរូ

- $E = K\frac{Q}{a^2} =$

- $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ យើងបាន $E =$

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

៧. សន្និដ្ឋាន

ផ្អែកលើលទ្ធផលពិសោធន៍ខាងលើបង្ហាញខ្សែដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមានមានរាងជា………………….និងទិសដៅ………………… ចំណែកឯចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីអវិជ្ជមានមានរាងជា………………….និងទិសដៅ……………..។ សំណុំខ្សែដែនអគ្គិសនីច្រើនត្រូវបានគេហៅថា………………………..។

អាំងតង់ស៊ីតេដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកត្រង់ចំណុចមួយនៅជិតបន្ទុកមានតម្លៃ…………..និងនៅឆ្ងាយពីបន្ទុកមានតម្លៃ……………..ជាអនុគមន៍……………………….បង្ហាញដូចក្រាបខាងលើ។ កម្រិតល្អៀងរវាងតម្លៃតាមទ្រឹស្តី និងពិសោធន៍មានតម្លៃ < 5% ។ ដូចនេះទ្រឹស្តីត្រូវបានគាំទ្រដោយពិសោធន៍។

៨. ពិភាក្សា

១. ដោយប្រើតារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី២ ចូរគូរក្រាបរវាង E ជាអនុគមន៍នៃ $1/a^2$ និងគណនាកម្រិតល្អៀងនៃបន្ទុក។

ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនី

១. វត្ថុបំណង៖

- កំណត់ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកត្រង់ចំណុចណាមួយ។ គូរក្រាបប៉ូតង់ ស្យែលអគ្គិសនី(V)ត្រង់ចំណុចណាមួយជាអនុគមន៍នៃចម្ងាយ(a) ។
- កំណត់កម្រិតល្អៀងរវាងតម្លៃតាមទ្រឹស្តី និងពិសោធន៍។

២. ទ្រឹស្តី

កាលពីពិសោធន៍មុនយើងបានសិក្សាដែនអគ្គិសនីរួចហើយ ឥឡូវនេះយើងនឹងសិក្សាប៉ូតង់ស្យែអគ្គិ សនីវិញម្តង។ ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីស្រដៀងគ្នានឹងដែនអគ្គិសនីដែរ ប៉ុន្តែត្រូវគិតតាមតម្លៃពីជគណិត។ គេថាប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីចង្អុលបង្ហាញលក្ខណៈនៃដែនអគ្គិសនី។

ដែនអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកមួយឲ្យដោយ៖

$\vec{E} = K\frac{Q}{a^2}\vec{\imath}$ ដែល $\vec{\imath}$ ជាវ៉ិចទ័រឯកតា

ជាម៉ូឌុល $E = K\frac{Q}{a^2}$

ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកមួយឲ្យដោយ៖

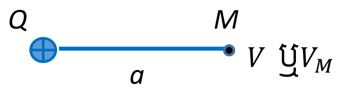
$$V = K\frac{Q}{a}$$

បើ $Q > 0$ នោះ $V > 0$

បើ $Q < 0$ នោះ $V < 0$

ដែល $K = 9.0 \times 10^9\ Nm^2/C^2$ ហៅថាថេរគូឡុំ, Q ជាបន្ទុកបង្កើតដែនត្រង់ចំណុចណាមួយ គិតជា (C)

a ជាចម្ងាយពីបន្ទុកបង្កើតដែន(Q)ទៅចំណុចបង្កើតប៉ូតង់ស្យែល គិតជា (m), V ជាប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីត្រង់ចំណុចណាមួយ គិតជា (V)



$Q > 0$ ប៉ូតង់ស្យែលត្រង់ M, $V_M = +K\frac{Q}{a} > 0$ $-Q < 0$ ប៉ូតង់ស្យែលត្រង់ M, $V_M = K\left(\frac{-Q}{a}\right) < 0$

ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកច្រើនឲ្យដោយ៖

$$V = V_1 + V_2 + \cdots = \sum_i K\frac{Q_i}{a_i}$$

កម្រិតល្អៀងភាគរយ(%Error)

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

៣. សំណួរមុនចូលទីពិសោធន៍

១. តើប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីជាអ្វី?

២. សរសេររូបមន្តនៃប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមាន និងបន្ទុកអគ្គិសនីអវិជ្ជមានមួយ។

៣. កំណត់ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីផ្ចិតត្រង់កំពូលត្រីកោណសម័ង្សមួយជ្រុងង a ដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមាន(q) និងបន្ទុកអគ្គិសនីអវិជ្ជមាន($-q$)មួយដែលដាក់ត្រង់បាតនៃត្រីកោណ។

៤. ចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីមួយ $q = 25\,\mu C$ ស្ថិតក្នុងខ្យល់។ កំណត់ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីត្រង់ចំណុច M ចម្ងាយ 5.0 cm ពីចំណុចបន្ទុកនេះ។ គេឲ្យ $K = 9.0 \times 10^9$ Nm^2/C^2 ។

៥. ចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីមួយ $q = -25\,\mu C$ ស្ថិតក្នុងខ្យល់។ កំណត់ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីត្រង់ចំណុច M ចម្ងាយ 1.0 m ពីចំណុចបន្ទុកនេះ។ គេឲ្យ $K = 9.0 \times 10^9$ Nm^2/C^2 ។

៦. ចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីពីរ $q_1 = 25.0\,\mu C$និង $q_2 = -30\,\mu C$ ស្ថិតក្នុងខ្យល់។ កំណត់ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីផ្ចិតត្រង់ចំណុច M ស្ថិតនៅពាក់កណ្តាលរវាងចំណុចបន្ទុកទាំងពីរ។ ចម្ងាយរវាងចំណុចបន្ទុកទាំងពីរគឺ 2.0 m ។ គេឲ្យ $K = 9.0 \times 10^9$ Nm^2/C^2 ។

៧. ចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីពីរ $q_1 = q_2 = 1.0\,nC$ ស្ថិតក្នុងខ្យល់ ត្រូវបានដាក់លើកំពូលនៃត្រីកោណសម័ង្ស (*ABC*)មួយដែលមានជ្រុង *a* ។

(ក) កំណត់ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីផ្ទួបត្រង់ចំណុច *C* ដែលគ្មានបន្ទុកអគ្គិសនី។ គេឲ្យ $K = 9.0 \times 10^9$ Nm^2/C^2 និង $a = 3.0$ m ។

(ខ) បើតម្លៃប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីផ្ទួបតាមពិសោធន៍ត្រង់ *C* ត្រូវបានវាស់ឃើញស្មើនឹង 6.034 V គណនាកម្រិតល្អៀង(ភាគរយ)របស់វា។

៨. ចំណុចបន្ទុកអគ្គិសនីបី $q_1 = q_2 = 1.0\,nC$ និង$q_3 = -1.0\,nC$ ស្ថិតក្នុងខ្យល់ ត្រូវបានដាក់លើកំពូលនៃការេ(*ABCD*)មួយដែលមានជ្រុង *a* ។

(ក) កំណត់ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីផ្ទួបត្រង់ចំណុច *D* ដែលគ្មានបន្ទុកអគ្គិសនី។ គេឲ្យ $K = 9.0 \times 10^9$ Nm^2/C^2 និង $a = 3.0$ m ។

(ខ) បើតម្លៃប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីផ្ទួបតាមពិសោធន៍ត្រង់ *D* ត្រូវបានវាស់ឃើញស្មើនឹង 2.110 V គណនាកម្រិតល្អៀង(ភាគរយ)របស់វា។

៤. តម្រូវការសម្ភារ

Software PHET Simulation ដែលដំឡើងរួចលើកំព្យូទ័ររបស់អ្នក

៥. ដំណើរការ

(ក) ចុចពីរដងជាប់គ្នាលើ PHET Simulations លើអេក្រង់នៃកំព្យូទ័របស់អ្នក ពេលនោះវានឹងលេចចេញផ្ទាំងបញ្ជីឈ្មោះពិសោធន៍ដែលរៀបតាមអក្ខរក្រម(Alphabet) ពី A ទៅ Z ។ នៅជ្រុងខាងឆ្វេងមានពាក្យថា Simulations និងខាងក្រោមវាមានពាក្យថា Physics, Chemistry, Biology, Earth Science, Math, … ដែលបញ្ជាក់ថាអ្នកអាចធ្វើពិសោធន៍បានជាមួយ Physics, Chemistry, Biology, Earth Science, Math ។

(ខ) ចុចលើពាក្យថា Physics (រូបវិទ្យា) វានឹងបង្ហាញបញ្ជីពិសោធន៍យ៉ាងច្រើនដែលអ្នកអាចធ្វើពិសោធន៍បានក្រោមទម្រង់ជារូបភាព។ សូមចងចាំថា ពិសោធន៍របស់អ្នកគឺដែនអគ្គិសនី (Charges and Fields)។ ដូចនេះត្រូវយក Charges and Fields ។ ចុចលើពាក្យ Charges and Fields ពេលនោះវានឹងលេចចេញជា File VIDEO ។

(គ) ចុចលើ VIDEO នេះ វានឹងចេញប្រអប់ធំៗបី គឺខាងក្រោមមួយ និងខាងស្តាំពីរ។

- ប្រអប់ធំខាងក្រោមមានៈ
  - + 1 nC មានន័យថាបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមាន 1 nC
  - - 1 nC មានន័យថាបន្ទុកអគ្គិសនីអវិជ្ជមាន -1 nC
  - Sensors មានន័យថាជាឧបករណ៍សម្រាប់វាស់ដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំណុចណាមួយដែលចង់ វាស់។
- ប្រអប់ធំខាងស្តាំ និងខាងលើមានៈ
  - Electric Field មានន័យថាបង្ហាញទិសដៅខ្សែដែនអគ្គិសនី ឆ្ងាយពីបន្ទុកខ្សែដែនព្រាលៗ
  - Direction Only មានន័យថាបង្ហាញតែទិសដៅខ្សែដែនអគ្គិសនីប៉ុណ្ណោះ
  - Voltage មានន័យថាតង់ស្យុង វាបង្ហាញព៌ណជុំវិញបន្ទុក។ (+) ព៌ណក្រហម និង (-) ព៌ណខៀវ។
  - Values មានន័យថាបង្ហាញតម្លៃដែនអគ្គិសនីដែលវាស់ដោយប្រើ Sensors និងមុំជាដឺក្រេ។
  - Grid មានន័យថាបង្ហាញក្រឡាការ៉ូដែលជាមាត្រដ្ឋាន 2 ការ៉ូធំត្រូវជា 1 m ។
- ប្រអប់ធំខាងស្តាំ និងខាងក្រោមមានៈ
  - 0.0 V មានន័យថាបង្ហាញបង្ហាញឧបករណ៍វាស់ប៉ូតង់ស្យែលត្រង់ចំណុចណាមួយ
  - ម៉ែត្ររមូ សម្រាប់វាស់ប្រវែងឬចម្ងាយ។

- **ការគណនាប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនី និងគូរក្រាប**

(ឃ) ដាក់បន្ទុកវិជ្ជមាន +1.0 nC មួយនៅផ្នែកខាងឆ្វេង ។ ប្រើឧបករណ៍វាស់ប៉ូតង់ស្យែល(ដាក់ត្រង់ទីតាំងផ្សេងៗ) និងម៉ែត្រដើម្បីវាស់ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីនិងប្រវែងរៀងគ្នាដូចបង្ហាញក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី១។ គូរក្រាប V(V) ជាអនុគមន៍ a(m) ។

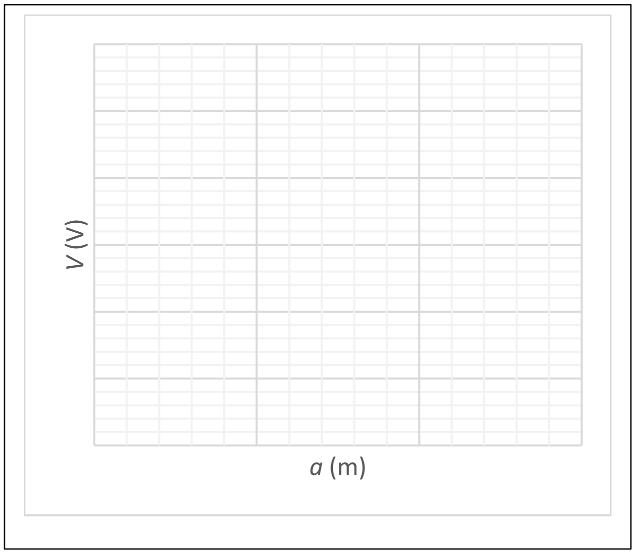
(ឈ) ដំឡើងរូបតាមលំហាត់ទី៧ និង៨ ក្នុងសំណួរមុនចូលទីពិសោធន៍ និងធ្វើពិសោធន៍ម្តងមួយៗ រួចគណនាដែនអគ្គិសនីផ្គួប និងគណនាកម្រិតល្អៀងរបស់វា។ កត់ត្រាទិន្នន័យដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី២ខាងក្រោម។

៦. លទ្ធផល

តារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី១

ចម្ងាយ a (m)	$V_{\text{ពិសោធន៍}}$(V)	$V_{\text{ទ្រឹស្តី}}$(V)
0.50 m		
0.60 m		
0.70 m		
0.80 m		
1.0 m		
1.5 m		
2.0 m		
2.5 m		
3.0 m		
3.5 m		
4.0 m		
$Q = 1.0\times10^{-9}$ C	$K = 9.0\times10^{9}$ Nm^2/C^2	

ក្រាប



តារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី2

ចម្ងាយ a (m)	$V_{ពិសោធន៍}$(V)	$V_{ទ្រឹស្តី}$(V)
3.0 m		
% Error =		
$Q_1 = Q_2 = 1.0\times10^{-9}$ C	$K = 9.0\times10^{9}$ Nm^2/C^2	
ចម្ងាយ a (m)	$V_{ពិសោធន៍}$(V)	$V_{ទ្រឹស្តី}$(V)
3.0 m		
% Error =		
$Q_1 = 1.0\times10^{-9}$ C និង $Q_2 = -1.0\times10^{-9}$ C		

ការគណនាគំរូ

- $V_1 = K\frac{Q}{a} =$
- $V = V_1 + V_2 =$

$$\%កម្រិតល្អៀង = \left|\frac{តម្លៃតាមទ្រឹស្តី - តម្លៃតាមពិសោធន៍}{តម្លៃតាមតទ្រឹស្តី}\right| \times 100\%$$

៧. សន្និដ្ឋាន

តាមលទ្ធផលពិសោធន៍ខាងលើបង្ហាញថាប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីដែលបង្កើតដោយចំណុចបន្ទុកត្រង់ចំណុចណាមួយអាចត្រូវបានកំណត់។ ក្រាបនៃប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនី(V)ជាអនុគមន៍នៃចម្ងាយ(a) មានរាងជា...។ កម្រិតល្អៀងរបស់វារវាងតម្លៃតាមទ្រឹស្តី និងពិសោធន៍ < 5% ។ ដូចនេះ សម្មតិកម្ម(វត្ថុបំណង)ត្រូវបានគាំទ្រដោយពិសោធន៍។

៨. ពិភាក្សា

ដោយប្រើតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី១ ចូរធ្វើពិសោធន៍និងគូរក្រាបឡើងវិញចំពោះបន្ទុកអគ្គិសនី-1.0 nC។

ពិសោធន៍ទី វាស់រេស៊ីស្តង់ និងច្បាប់អូម

១. វត្ថុបំណង

- វាស់តង់ស្យុង និងចរន្តអគ្គិសនី ដូច្នេះយើងអាចកំណត់តម្លៃរេស៊ីស្តង់ (មេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់)តាមរយៈក្រាប។
- គណនាកម្រិតល្អៀង.
- កំណត់រេស៊ីស្តង់សមមូលក្នុងបង្គុំជាស៊េរី និងជាខ្នែង។
- ធ្វើពិសោធន៍ដោយប្រើ Software Proteus ។

២. ទ្រឹស្តី

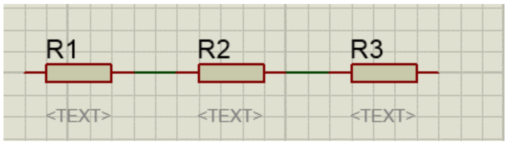
- រេស៊ីស្តង់ និង និមិត្តសញ្ញារបស់វា

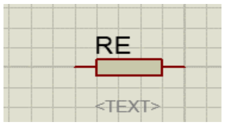
- រេស៊ីស្តង់មានន័យថា ទប់ ឬប្រឆាំង។ រេស៊ីស្តង់អគ្គិសនីមានន័យថាជាការប្រឆាំង ឬទប់លំហូរអេឡិចត្រុងដែលហូរ ឆ្លងកាត់ខ្សែចម្លង ឬអង្គធាតុចម្លង។
- រេស៊ីស្តង់បំព្រួញ៖ 560R មានន័យថា 560 Ω

  2K5 មានន័យថា 2.5 k Ω = 2 500 Ω

  45K មានន័យថា 45 k Ω = 45 000 Ω

  2M0 មានន័យថា 2.0 M Ω = 2 000 k Ω = 2 000 000 Ω
- បង្គុំរេស៊ីស្តង់ជាស៊េរី

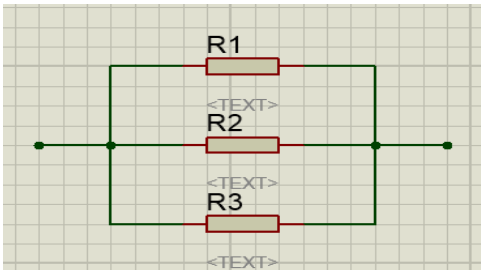


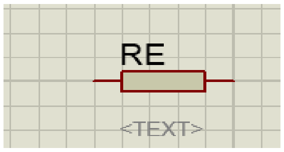


រេស៊ីស្តង់សមមូល R_e

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3$$

- បង្គុំរេស៊ីស្តង់ជាខ្នែង





រេស៊ីស្តង់សមមូល R_e

$1/R_e = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$

- ចេះប្រើប្រាស់ Software Proteus

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

$$\% \text{ ផលសងភាគរយ (Difference)} = \left|\frac{\text{តម្លៃវង្វាស់តាមវិធីទី}1 - \text{តម្លៃវង្វាស់តាមវិធីទី}2}{(\text{តម្លៃវង្វាស់តាមវិធីទី}1 + \text{វិធីទី}2)/2}\right| \times 100\%$$

៣. សំណួរមុនចូលទីពិសោធន៍

១. ដូចម្តេចដែលហៅថារេស៊ីស្តង់, រេស៊ីស្តង់នៃអង្គធាតុចម្លងអូម?

២. គេមានរេស៊ីស្តរពីរដែលរេស៊ីស្តង់ទី១គឺ $R_1 = 22\ \Omega$ និង $R_2 = 33\ \Omega$ ។ តើរេស៊ីស្តង់សមមូល របស់វាមានតម្លៃប៉ុនាន?

ក. បើគេតវាជាស៊េរី

ខ. បើគេតវាជាខ្នែង

៣. គេមានរេស៊ីស្តរបីដែលរេស៊ីស្តង់ $R_1 = 22\ \Omega$, $R_2 = 33\ \Omega$ និង $R_3 = 11\ \Omega$ ។ តើរេស៊ីស្តង់សមមូលរបស់វាមានតម្លៃប៉ុន្មាន?

ក. បើគេតវាជាស៊េរី

ខ. បើគេតវាជាខ្នែង

៤. គេមានរេស៊ីស្តរពីដែលរេស៊ីស្តង់ R_1 = 50 Ω,និង R_2 = 25 Ω ។ តើរេស៊ីស្តរណាមួយក្តៅជាង បើគេភ្ជាប់វាទៅ នឹងប្រភព 9.0 V និងតវាក្នុងករណី ៖

ក. R_1 និង R_2 ជាស៊េរី

ខ. R_1, និង R_2ជាខ្នែង

៤. តម្រូវការសម្ភារ

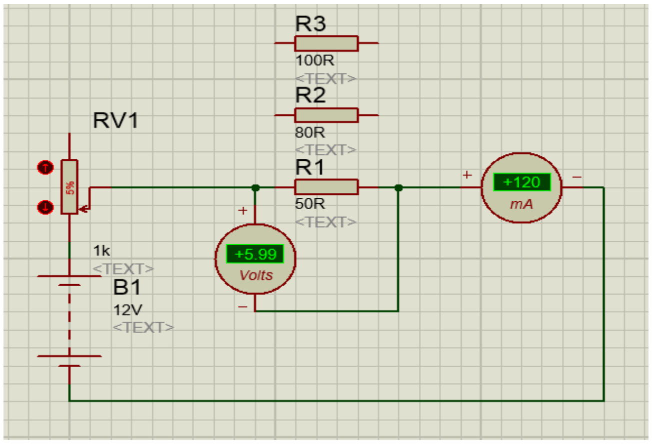
Software Proteus ដែលដំឡើងរួច និងទាញយករេស៊ីស្តង់ 50.0 Ω, 80.0 Ω, 100 Ω, ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ 1kΩ អំពែម៉ែត្រចរន្តជាប់, តង់ស្យុងចរន្តជាប់, ប្រភពចរន្តជាប់ 12 V

៦. ដំណើរការ

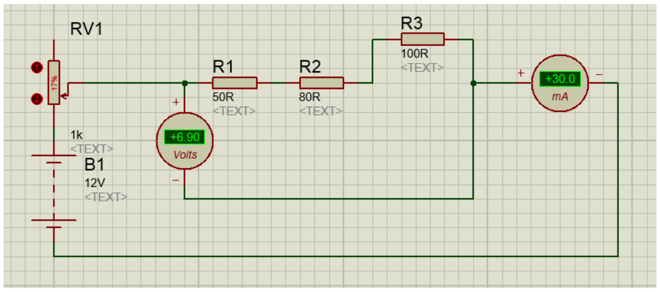
ដំឡើងតាមរូបដោយធ្វើពិសោធន៍ជាមួយ R_1 R_2 និង R_3

ម្តងមួយៗរៀងគ្នា។

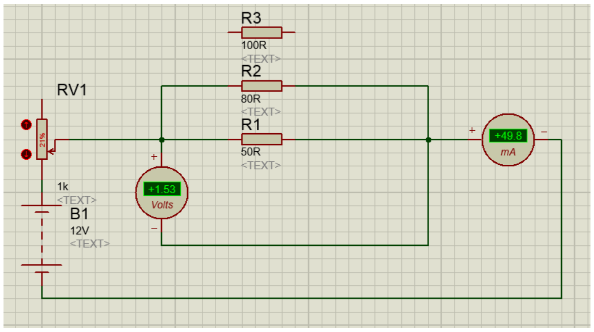
ពិសោធន៍នេះត្រូវគ្នានឹងតារាងទិន្នន័យ និងតារាងគណនាទី១ និងគូរក្រាប។



- បង្គុំជាស៊េរី (ធ្វើតាមតារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី២)



- បង្គុំជាខ្នែង (ធ្វើតាមតារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី២)



៦. លទ្ធផល

តារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី១

I (mA)	V_{R1}(V)	V_{R2}(V)	V_{R3}(V)
0	0	0	0
20.0			
40.0			
60.0			
79.9			
99.9			
120			

	R_1(Ω)	R_2(Ω)	R_3(Ω)
R_{Exp}(Ω)			
R_{Theo}(Ω)			
R(Correlation Coefficient)			
%Error			

តារាងទិន្នន័យទី២

	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)
R_1 R_2 R_3 ស៊េរី	30.0		50.0	
R_1 R_2 ស៊េរី	30.0		50.0	
R_1 R_2 ខ្នែង	29.9		49.8	
R_1 R_3 ខ្នែង	29.0		49.3	
R_2 R_3 ខ្នែង	29.7		49.1	

តារាងគណនាទី២

	$(R_e)_{exp}1(\Omega)$	$(R_e)_{exp}2\ (\Omega)$	$(\bar{R}_e)_{exp}\ (\Omega)$	$(R_e)_{theo}1(\Omega)$	% Diff
R_1 R_2 R_3 ស៊េរី					
R_1 R_2 ស៊េរី					
R_1 R_2 ខ្នែង					
R_1 R_3 ខ្នែង					
R_2 R_3 ខ្នែង					

ការគណនាគំរូ

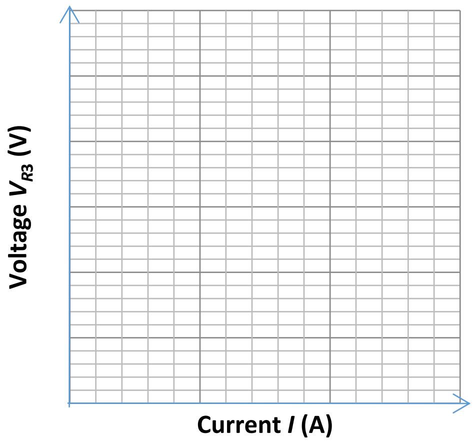
$(R_e)_{exp} = V/I =$

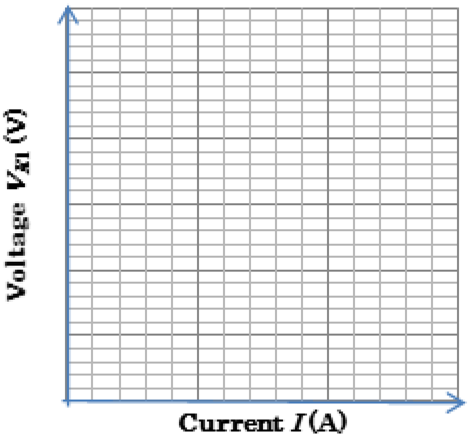
$$\% \text{ កម្រិតល្អៀង(Error)} = \left|\frac{\text{តម្លៃតាមទ្រឹស្តី} - \text{តម្លៃតាមពិសោធន៍}}{\text{តម្លៃតាមទ្រឹស្តី}}\right| \times 100\% =$$

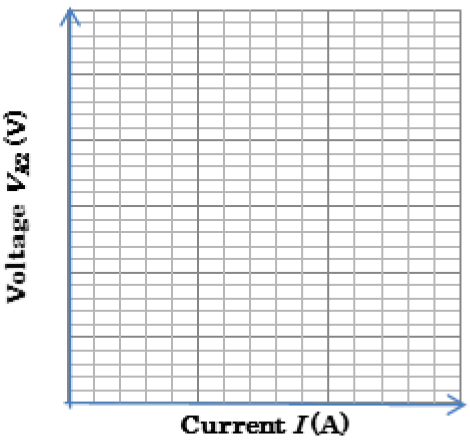
(ស៊េរី) $(R_e)_{theo} = R_1 + R_2 + R_3 =$ ....

(ខ្នែង) $(R_e)_{theo} = 1/(1/R_1 + 1/R_2) =$ ....

$$\% \text{ ផលសងភាគរយ (Difference)} = \left|\frac{\text{តម្លៃវង្វាស់តាមវិធីទី}1 - \text{តម្លៃវង្វាស់តាមវិធីទី}2}{\frac{\text{តម្លៃវង្វាស់តាមវិធីទី}1 + \text{វិធីទី}2}{2}}\right| \times 100\%$$







៧. សន្និដ្ឋាន

ផ្អែកលើលទ្ធផលពិសោធន៍ខាងលើ កម្រិតល្បឿង(ភាគរយ) និងផលសងល្បឿង(ភាគរយ)មានតម្លៃ ____ និងមេគុណទំនាក់ទំនង r =________________ ។ ដូចនេះ អ្នកអាចសន្និដ្ឋានថា តម្លៃរេស៊ីស្តង់អគ្គិសនី(មេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់) និងរេស៊ីស្តង់ ក្នុងបង្គុំជាស៊េរី និងជាខ្នែងអាចត្រូវ____________________ ________ហើយ ចរន្ត និងតង់ស្យុងអគ្គិសនីត្រូវបានវាស់តាម ______________________ ______ដោយប្រើនៃកម្មវិធី Proteus។

៨. ពិភាក្សា

១. ក្នុងបាតឺរីខាងលើ រេស៊ីស្តង់ក្នុងរបស់វាស្មើនឹង 0.1 Ω ។ បើយើងឲ្យរេស៊ីស្តង់ក្នុងរបស់វាស្មើនឹង 2Ω វិញ តើកម្រិតល្បឿងរបស់វាទៅជាយ៉ាងណា? □ កើនឡើងធំជាងមុន □ ថយចុះតូចជាងមុន □ នៅតែដដែល។ ហេតុអ្វីបានជាអ្នកគិតដូច្នេះ?

សៀគ្វីស្ពានវីស្តុន

១. វត្ថុបំណង

- កំណត់គោលការណ៍អនុវត្តន៍នៃស្ពានវីស្តុនប្រើប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ និងរេស៊ីស្តង់នៃរេស៊ីស្ទរ

២. ទ្រឹស្តី

សៀគ្វីដែលបង្ហាញដូចរូបខាងក្រោមជាសៀគ្វីស្ពានវីស្តុន (រូបទី១)និងស្ពានវីស្តុនប្រើប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ(រូបទី២)។ ស្ពានរងលំនឹង កាលណាចរន្តឆ្លងកាត់វ៉ុលម៉ែត្រស្មើសូន្យ ($I_V = 0$) នេះមានន័យថាប៉ូតង់ស្យែលត្រង់ A (V_A) ស្មើនឹងប៉ូតង់ស្យែល ត្រង់ B (V_B) គេសរសេរ ៖ $V_A = V_B$

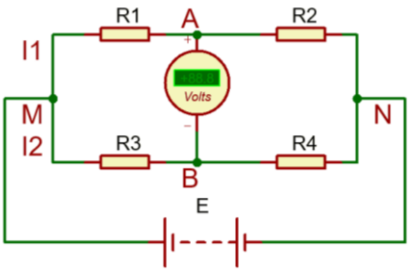
ដោយ $V_A = V_B$ នោះ $V_{MA} = V_{MB}$

យើងបាន $R_1 I_1 = R_3 I_2$ និង $R_1 / R_3 = I_2 / I_1$ (1)

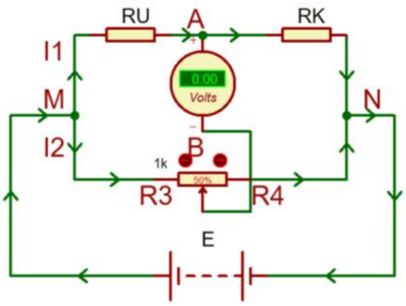
$V_{AN} = V_{BN}$ យើងបាន $R_2 I_1 = R_4 I_2$ និង $R_2 / R_4 = I_2 / I_1$ (2)

ពីសមីការ (1) = (2) យើងបាន $R_1 / R_3 = R_2 / R_4$ (3) ឬ $R_1 / R_2 = R_3 / R_4$ (3)

រូបទី១



រូបទី២



ដោយសន្មតថា $R_1 = R_U$, $R_2 = R_K$ និង R_3 , R_4 វាស់ដោយប្រើអូមម៉ែត្រ យើងបាន ៖

$$R_U = (R_K \; R_3) / R_4 \quad (4)$$

៣. សំណួរមុនពេលធ្វើពិសោធន៍

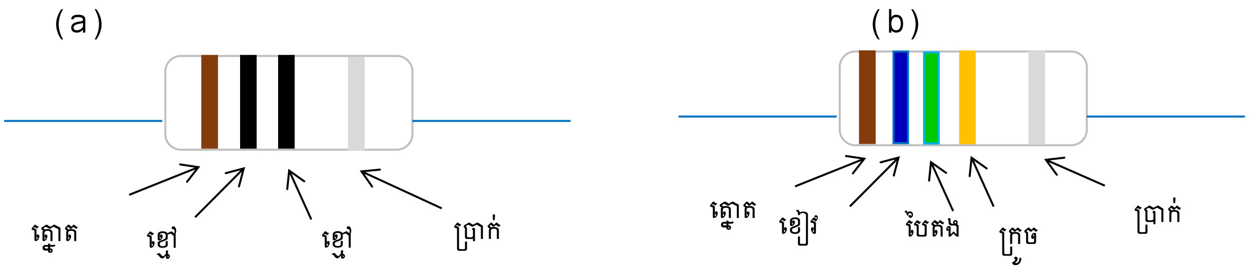
១.តាមរូបទី១កាលណាចរន្តឆ្លងកាត់វ៉ុលម៉ែត្រស្មើសូន្យ ($I_V = 0$) ចូរបង្ហាញថា $R_1 = R_2 R_3 / R_4$ ។

២. តាមរូបទី២ ចូរបង្ហាញថា $R_U = (R_K \; R_3) / R_4$

៣. តាមរូបទី១ គេឱ្យ $R_2 = 100\ \Omega$, $R_3 = 500\ \Omega$, និង $R_4 = 1000\ \Omega$ ចូរកំណត់ R_1 ?

៤. តាមរូបទី២ គេឱ្យ $R_K = 60\ \Omega$, $R_3 = 54\%$នៃប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រដែលមានរេស៊ីស្តង់សរុប 1kΩ ។ ចូរកំណត់ R_U ?

៥. តើរេស៊ីស្តង់បង្ហាញដូចរូបខាងក្រោមមានតម្លៃប៉ុន្មាន?



៤. តម្រូវការសម្ភារ

- ស្ពានវីស្តូនប្រើប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ, ប្រអប់រេស៊ីស្តង់ពី 10 Ω ទៅ 1000 Ω និងវ៉ុលម៉ែត្រ។

➢ ប្រភពចរន្តជាប់ 1.50 V ឬ 3.00 V, ខ្សែតភ្ជាប់ និងអូមម៉ែត្រ ។

➢ រេស៊ីស្ទរចំនួនប្រាំដែលមានរេស៊ីស្តង់ចន្លោះពី 10 Ω ទៅ 100 Ω ។

៥. ដំណើរការពិសោធ

១. អានតម្លៃរេស៊ីស្តង់ពីកូដពណ៌លើរេស៊ីស្តង់នីមួយៗនៃរេស៊ីស្តង់ទាំងប្រាំដែលជារេស៊ីស្តង់មិនស្គាល់ (R_U) និងកត់ត្រា តម្លៃរបស់វាដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យទី១។ កត់ត្រាតម្លៃដែលតូចជាងគេជា រេស៊ីស្តង់មិនស្គាល់ទី១ (Unknown-1) និងបន្តបន្ទាប់។

២. កែ ឬមួលតម្រូវតង់ស្យុងទៅតម្លៃប្រហែល 1.5 V ឬ 3.0 V ។ តម្លៃតង់ស្យុងនៃប្រភពត្រូវរក្សាតម្លៃថេរនេះគ្រប់ រង្វាស់ទាំងអស់។ ដោយសាររង្វាស់តង់ស្យុងដែលជ្រើសរើសមានតម្លៃស្មើៗគ្នា នោះចរន្តឆ្លងកាត់រេស៊ីស្ទទាំងអស់ មានតម្លៃតូចដែលបញ្ជាក់ថារេស៊ីស្ទរមិនឡើងកម្តៅទេ។ បើរេស៊ីស្ទរឡើងក្តៅ នោះនឹងនាំឱ្យមានកម្រិតល្អៀង។

៣. ដាក់រេស៊ីស្ទរមិនស្គាល់ទី១(រេស៊ីស្ទរដែលត្រូវវាស់)ក្នុងសៀគ្វីស្ពានវីស្តូនត្រង់ទីតាំងនៃ R_U រូបទី២។ ដាក់រេស៊ីស្តង់ ប្រអប់ត្រង់ទីតាំង R_K រូបទី២ និងជ្រើសរើសតម្លៃ R_K សឹងតែស្មើ ឬធំជាង R_U ពីរដង។ កត់ត្រាតម្លៃ R_K ដាក់ក្នុង តារាងទិន្នន័យទី១។ តម្លៃ R_K ត្រូវថែមមួយតួលេខទៀតពីក្រោយតួលេខចុងក្រោយរបស់រេស៊ីស្តង់ប្រអប់ ព្រោះ ភាពមិនជាក់លាក់មិនស្ថិតត្រង់តួលេខចុងក្រោយនៃរេស៊ីស្តង់ប្រអប់ទេ។ ឧទាហរណ៍ បើរេស៊ីស្តង់ប្រអប់ត្រូវបាន ជ្រើសរើសត្រង់តម្លៃ 153Ω នោះត្រូវសរសេរជា 153.0 Ω វិញ ព្រោះតួលេខមិនជាក់លាក់មិនមែនជាតួលេខ 3 នោះទេ។

៤. រំកិលកូនបូត B ហូតដល់ទ្រនិចវ៉ុលម៉ែត្រមានលំនឹង(ចង្អុលលេខតូចជាងគេបំផុត)មានន័យថា គ្មានចរន្តឆ្លងកាត់វ៉ុលម៉ែត្រ។

៥. កត់ត្រាតម្លៃ R_3 និង R_4 ដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យទី១។ ឧទាហរណ៍ R_3 = 54% នៃ 1kΩ យើងបាន R_3 = 540 Ω
និង R_3 = 460 Ω ។
៦. ដោយប្រើរេស៊ីស្តរមិនស្គាល់ដដែល (រេស៊ីស្តង់ដែលវាស់អំបាញ់មិញ)ចូរធ្វើពីជំហានទី៣.ដល់ទី៥ឡើងវិញនូវតម្លៃ R_K ដែលធំ និងតូចជាងតម្លៃ R_K ដើមប្រហែល 10% ។
៧. ចូរធ្វើពីជំហានទី៣.ដល់ទី៦ឡើងវិញចំពោះតម្លៃនៃរេស៊ីស្តរដែលមិនស្គាល់ផ្សេងៗទៀត។
៨. (ដោយប្រើអូមម៉ែត្រ) អាន/វាស់តម្លៃរេស៊ីស្តង់នៃរេស៊ីស្តរដែលមិនស្គាល់ទាំងប្រាំ និងកត់ត្រាទិន្នន័យរបស់វាដាក់ក្នុងតារាង ទិន្នន័យទី២។

- ដំបូន្មានក្នុងការគណនា

១. គណនា និងកត់ត្រាតម្លៃរង្វាស់ទាំងបីនៃរេស៊ីស្តរមិនស្គាល់នីមួយៗ និងធ្វើទាំងប្រាំដាក់ក្នុងតារាងគណនា

២. គណនា និងកត់ត្រាតម្លៃមធ្យម និងកម្រិតល្អៀងស្តង់ដា (Standard error) ចំពោះតម្លៃរង្វាស់ទាំងបីនៃតម្លៃរបស់រេស៊ីស្តរមិនស្គាល់នីមួយៗ និងទាំងប្រាំក្នុងតារាង។ ចូរគណនាលំងាកស្តង់ដា (Standard deviation) និងកម្រិតល្អៀងភាគរយ។

៦. **លទ្ធផល**

តារាងទិន្នន័យទី១ (រេស៊ីស្តង់ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ 1kΩ)

	R_K (Ω)	R_3 (Ω)	R_4 (Ω)
រេស៊ីស្តង់មិនស្គាល់ទី១ (100 Ω)	90		
	100		
	110		
រេស៊ីស្តង់មិនស្គាល់ទី២ (200 ▯)	190		
	200		
	210		
រេស៊ីស្តង់មិនស្គាល់ទី៣ (500▯▯)	480		
	500		
	520		
រេស៊ីស្តង់មិនស្គាល់ទី៤ (▯)	950		
	1000		
	1050		
រេស៊ីស្តង់មិនស្គាល់ទី៥ (1500 ▯)	1450		
	1500		
	1550		

តារាងគណនាទី១

R_U (Ω)	$\bar{R}_U$ (Ω)	$\alpha(R_U)$ (Ω)

➢ **ការគណនាគំរូ**

- R_3 = %(1kΩ) = Ω, R_4 = Ω,
- $R_U = (R_K R_3) / R_4$
- % Error =

$$\delta_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum(x_i - \bar{x}_i)^2}$$

- $\alpha(R_U) = \frac{\delta_{n-1}}{\sqrt{n}}$

១. គណនាកម្រិតល្អៀង(ភាគរយ)នៃរេស៊ីស្តង់នីមួយៗរបស់រេស៊ីស្តរមិនស្គាល់ទាំងប្រាំដែលវាស់ដោយប្រើស្ពានវីស្តុន ទៅនឹងតម្លៃរបស់វាដែលអានតាមកូដពណ៌ដោយសន្មតថាតម្លៃនៃកូដពណ៌ត្រឹមត្រូវ។ ចូរពោលពីភាពជាក់លាក់ (Precision) នៃរេស៊ីស្តរដោយផ្អែកលើកូដពណ៌របស់វា។

1- %កម្រិតល្អៀង =______ 2- %កម្រិតល្អៀង =______ 3- %កម្រិតល្អៀង =______
4- %កម្រិតល្អៀង =______ 5- %កម្រិតល្អៀង =______

២. គណនាកម្រិតល្អៀង(ភាគរយ)នៃរេស៊ីស្តង់នីមួយៗរបស់រេស៊ីស្តរមិនស្គាល់ទាំងប្រាំដែលវាស់ដោយប្រើស្ពានវីស្តុន ទៅនឹងតម្លៃរបស់វាដែលវាស់ដោយអូមម៉ែត្រក្នុងតារាងទិន្នន័យទី២ដោយសន្មតថាតម្លៃក្នុងតារាងត្រឹមត្រូវ។ ចំពោះ រេស៊ីស្តរនីមួយៗ តើកម្រិតល្អៀងតាមកូដពណ៌ និងតាមការវាស់ណាមួយប្រសើរជាង។

1- %កម្រិតល្អៀង =______ 2- %កម្រិតល្អៀង =______ 3- %កម្រិតល្អៀង =______
4- %កម្រិតល្អៀង =______ 5- %កម្រិតល្អៀង =______ ភាពជាកើលាក់ =______.

៣. គណនាកម្រិតល្អៀងស្តង់ដា (Standard error) នីមួយៗរបស់វា

1- កម្រិតល្អៀងស្តង់ដា = ______. 2- កម្រិតល្អៀងស្តង់ដា =______.
3- កម្រិតល្អៀងស្តង់ដា =______. 4- កម្រិតល្អៀងស្តង់ដា = ______.
5- កម្រិតល្អៀងស្តង់ដា =______.

៧. សន្និដ្ឋាន

ផ្អែកលើលទ្ធផលពិសោធន៍ខាងលើ កម្រិតល្អៀង(ភាគរយ)និងល្អៀងស្តង់ដានៃរេស៊ីស្តង់នីមួយៗតូចជាង 5% និងតម្លៃ រវាងទ្រឹស្តី និងពិសោធន៍សឹងតែ ____________________។ ដូចនេះដោយប្រើស្ពានវីស្តុន អ្នកអាចសន្និដ្ឋានបានថា តម្លៃ នៃរេស៊ីស្តងមិនស្គាល់អាចត្រូវបានវាស់ ________________________។

៨. សំណួរពិភាក្សា

១. ដើម្បីទទួលបានលទ្ធផលពិសោធន៍ល្អ តើអ្នកត្រូវធ្វើដូចម្តេចខ្លះ ?

២. តើអ្នកមានគំនិតអ្វីខ្លះ ដើម្បីកែលំអពិសោធន៍នេះឲ្យកាន់តែប្រសើរឡើង?

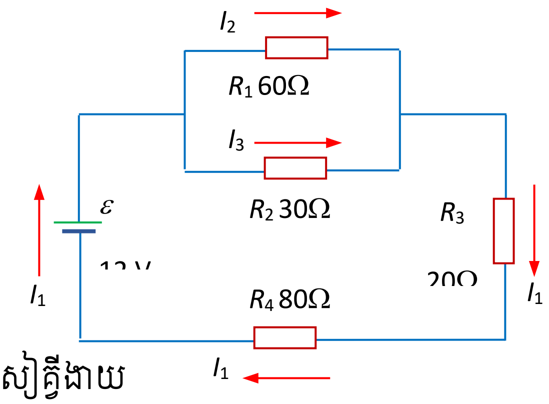
ច្បាប់គៀរឆូប

១. វត្ថុបំណង

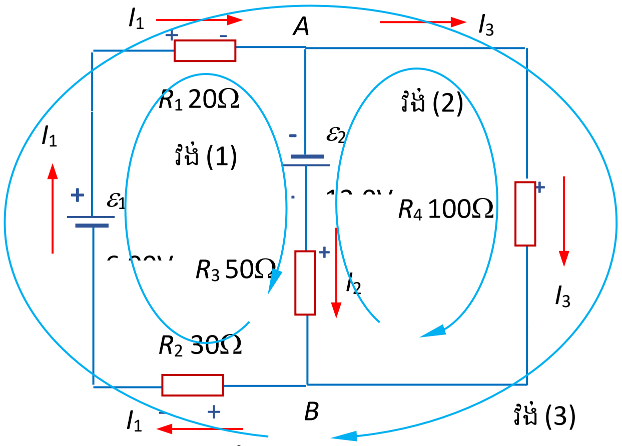
- កំណត់ថាតើសៀគ្វីបែបណាដែលអាចអនុវត្តន៍ច្បាប់គៀ ឆូបបាន។
- អនុវត្តន៍ច្បាប់គៀ ឆូបដើម្បីទាញរកចរន្តអគ្គិសនី និងកំណត់កម្រិតល្បឿង(ភាគរយ)របស់វា។

២. ទ្រឹស្តី

ច្បាប់គៀ ឆូបអនុវត្តចំពោះសៀគ្វីស្មុគស្មាញ។ សៀគ្វីស្មុគស្មាញជាសៀគ្វីដែលមិនអាចបង្រួមបាន។ ចំណែកសៀគ្វីងាយ យើងមិនប្រើច្បាប់គៀ ឆូបទេ គឺយើងប្រើតែច្បាប់អូម ប៉ុណ្ណោះ។



សៀគ្វីងាយ



សៀគ្វីស្មុគស្មាញ

- ច្បាប់គៀ ឆូបចំពោះចរន្ត(KCL)

  ផលបូកចរន្តចូលថ្នាំង = ផលបូកចរន្តចេញពីថ្នាំង

  ចំពោះថ្នាំង A $\quad I_1 = I_2 + I_3 \quad (1)$

- ច្បាប់គៀ ឆូបចំពោះតង់ស្យុង(KVL)

ផលបូកពីជគណិតនៃតង់ស្យុងជុំវិញវង់ឬខ្សែបិទ = 0

ចំពោះវង់ (1) $\quad -R_2 I_1 + \varepsilon_1 - R_1 I_1 + \varepsilon_2 - R_3 I_2 = 0$ or $-30 I_1 + 6 - 20 I_1 + 12 - 50 I_2 = 0$

(2)

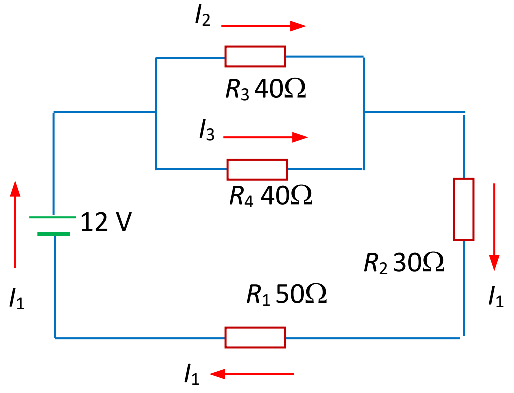
ចំពោះវង់ (2) $R_3 I_2 - \varepsilon_2 - R_4 I_3 = 0$ or $-50 I_2 - 12 - 100 I_3 = 0$ (3)

ពីសមីការ(1), (2) និង (3) យើងទាញរក I_1, I_2 និង I_3 ។

ដូចនេះយើងបាន $I_1 = 168\text{mA}$, $I_2 = 192\text{mA}$, $I_3 = 24.0\text{mA}$.

៣. សំណួរមុនពេលធ្វើពិសោធន៍

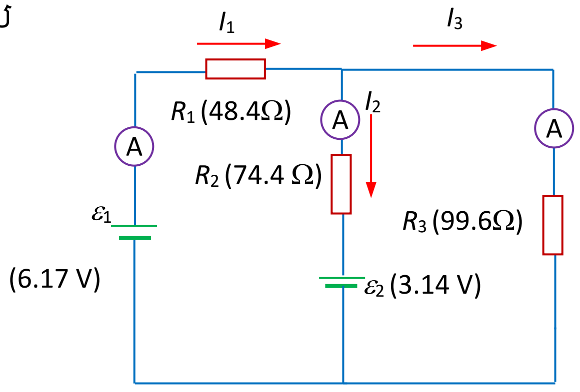
១. ពិនិត្យសៀគ្វីបង្ហាញដូចខាងក្រោម ។ ចូរជ្រើសរើសពំនោលខាងក្រោមដែលត្រឹមត្រូវ។ ពំនោលដែលត្រឹមត្រូវអាចមាន ច្រើនជាងមួយ។ ក. វាជាសៀគ្វីងាយមួយ   ខ. វាជាសៀគ្វីស្មុគស្មាញ
គ. ស្គាល់រេស៊ីស្តរ និងតង់ស្យុងទាំង អស់, ចរន្តអាចត្រូវបានគណនាដោយប្រើតែច្បាប់គៀធុប។
ឃ. ស្គាល់រេស៊ីស្តរ និងតង់ស្យុងទាំងអស់, ចរន្ត អាចត្រូវបានគណនាដោយមិនប្រើច្បាប់គៀធុប។



២. តើរេស៊ីស្តង់សមមូលនៃសៀគ្វីបង្ហាញដូចរូបក្នុងសំណួរទី១ មានតម្លៃប៉ុន្មាន?

៣. តើចរន្តអគ្គិសនីដែលឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរនីមួយៗនៃសៀគ្វីបង្ហាញដូចរូបក្នុងសំណួរទី១ មានតម្លៃប៉ុន្មាន?

៤. ពិនិត្យសៀគ្វីបង្ហាញដូចខាងក្រោម ។ អនុវត្តច្បាប់គៀធុប ចំពោះសៀគ្វី ចូរសរសេរសមីការទាំងបីក្នុងករណីស្គាល់ធាតុនៃសៀគ្វី និងមិនស្គាល់ចរន្តបង្ហាញដូចរូបខាងក្រោម ៖



៥.តើចរន្តឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរនីមួយៗបង្ហាញដូចរូបទី៤ មានប៉ុន្មាន បើសន្មតថារេស៊ីស្តង់ក្នុងនៃថ្មពិល r_1 និង r_2 ស្មើសូន្យ?

៦. តើចរន្តឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរនីមួយៗបង្ហាញដូចរូបទី៤ មានប៉ុន្មាន បើសន្មតថារេស៊ីស្តង់ក្នុងនៃថ្មពិល $r_1 = 7.6$ Ω និង $r_2 = 3.8$?

៤. តម្រូវការសម្ភារ (សម្ភារខាងក្រោមនេះគឺសម្រាប់អនុវត្តជាក់ស្តែង)

- វ៉ុលម៉ែត្រចរន្តជាប់ (digital, 0-12 V),
- អំពែម៉ែត្រចរន្តជាប់១(digital, 0-400 mA) (អ្នកអាចប្រើតែម៉ុលទីម៉ែត្រលេខ១ព្រោះវាមានវ៉ុលម៉ែត្រ អំពែម៉ែត្រ និងអូមម៉ែត្រ។ រង្វាស់តង់ស្យុង និងចរន្តមានរហូតដល់ 400 V និង 400 mA រៀងគ្នា)
- ប្រភពកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ (emf) ពីរ (ថ្មពិល៦, 1.5 V×4 = 6.0V ជាប្រភពមួយ, និង 1.5V×2 = 3.0 V ជាប្រភពមួយទៀត)
- រេស៊ីស្តរបួន ឬប្រអប់រេស៊ីស្តង់ (R_1 = 50.0 Ω, R_2 = 75.0Ω, R_3 = R_4 = 100.0 Ω)
- អូមម៉ែត្រលេខ, ខ្សែចម្លងដែលមានក្រចាប់ ឬដង្កៀប, បន្ទះសៀគ្វី និងប្រអប់ដាក់ថ្មពិល។

៥. ដំណើរការពិសោធន៍

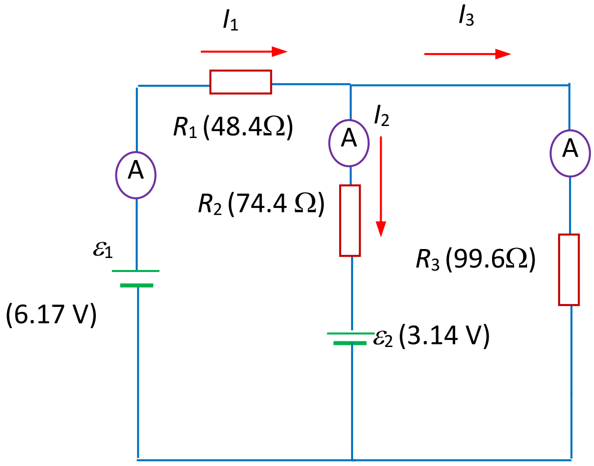
១. ដោយជ្រើសរើសរេស៊ីស្តង់ស្តង់ដា ចូរជ្រើសរើសតម្លៃ R_1 = 50.0 Ω, R_2 = 75.0 Ω និង R_3 = 100 Ω ប្រើអូមម៉ែត្រ ដើម្បីវាស់តម្លៃរេស៊ីស្តរនីមួយៗ ឬអ្នកអាចអានកូដពណ៌របស់វាក៏បាន។ កត់ត្រាតម្លៃទាំងនោះចូលក្នុងតារាងទិន្នន័យទី១។

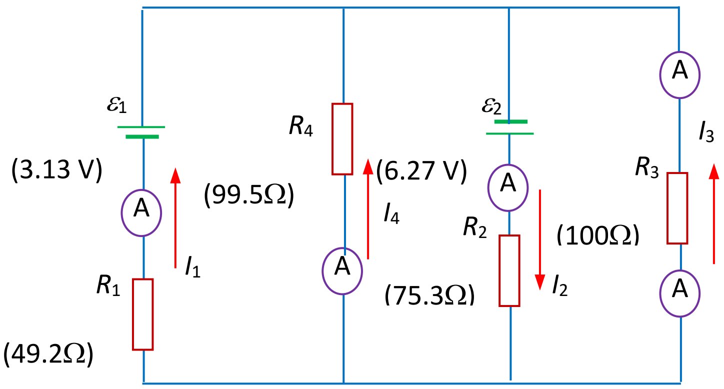
២. ដោយប្រើប្រភពតង់ស្យុងពីរដែល $_1$ = 6.0 V និង $_2$ = 3.0 V និងរេស៊ីស្តរ R_1, R_2, និង R_3 ដំឡើងសៀគ្វីបង្ហាញ ដូចរូប(ក)ខាងក្រោម។

៣. វាស់ចរន្ត I_1, I_2, និង I_3។ សន្មតថាអំពែម៉ែត្រមានតែមួយ ដូច្នេះយើងត្រូវវាស់ចរន្តម្តងមួយៗដោយដាក់វាត្រង់ទីតាំង បង្ហាញដូចក្នុងរូប។ ដាក់អំពែម៉ែត្រឱ្យត្រូវប៉ូលដូចបង្ហាញក្នុងដ្យាក្រាមនៃសៀគ្វី វានឹងផ្តល់អំណានវិជ្ជមានកាលណាចរន្ត រត់តាមទិសដៅសន្មត។ បើប្រើអំពែម៉ែត្រលេខទំនើបដើម្បីវាស់ចរន្ត នោះអំពែម៉ែត្រនឹងផ្តល់អំណានវិជ្ជមានកាលណាចរន្ត រត់តាមទិសដៅសន្មត និងផ្តល់អំណានអវិជ្ជមានកាលណាចរន្តរត់តាមទិសដៅផ្ទុយ។ បើអំពែម៉ែត្រដែលប្រើងាកតែតាមទិសដៅមួយ អំពែម៉ែត្រនឹងធេះខូចបើចរន្តរត់តាមទិសដៅផ្ទុយពីទិសដៅដែលបានសន្មត។ ក្នុងករណីនេះដំឡើងតង់ស្យុង ប្រភពបន្តិចម្តងៗដើម្បីឃើញថាអំពែម៉ែត្រងាកតាមទិសដៅត្រឹមត្រូវ ឬអ្នកត្រូវគណនាតម្លៃចរន្ត I_1, I_2, និង I_3 តាមទ្រឹស្តី ជាមុនក្នុងគោលបំណងដើម្បី
ដឹងពីទិសដៅពិតនៃចរន្តដែលឆ្លងកាត់ជាតុនៃសៀគ្វី។

៤. វាស់ emf $_1$ និង $_2$ ដោយប្រើវ៉ុលម៉ែត្រ និងកត់ត្រាតម្លៃរបស់វាចូលក្នុងតារាងទិន្នន័យទី១។ តង់ស្យុងគោលនៃប្រភព ត្រូវបានសន្មតថាជា emf ។

៥. ដំឡើងសៀគ្វីដូចបង្ហាញដូច(ខ)ខាងក្រោមដែលមានប្រភពតង់ស្យុងពីរដែរ ប៉ុន្តែមានរេស៊ីស្តរបួន។ ជ្រើសរើសតម្លៃ ε_1 = 3.13V , ε_2 = 6.27V, R_1 = 49.2Ω, R_2 = 75.3 Ω, R_3 = 100.0 Ω, និង
R_4= 99.6 Ω, ឬតម្លៃផ្សេងទៀតដែលគៀកទៅ នឹងតម្លៃទាំងនោះ។ កំណត់ និងកត់ត្រាតម្លៃរេស៊ីស្តរ ចរន្តទាំងបួន និង emf ចូលក្នុងតារាងទិន្នន័យទី២។





រូប(ក) សៀគ្វីស្មុគស្មាញដែលមានចរន្តបីជាអញ្ញាត្តិ   រូប(ខ) សៀគ្វីស្មុគស្មាញដែលមានចរន្តបួនជាអញ្ញាត្តិ

➢ ដំបូន្មានក្នុងការគណនា (**ADVICES FOR CALCULATIONS**)

១. អនុវត្តច្បាប់គៀធុបចំពោះសៀគ្វីដូចបង្ហាញក្នុងរូប(ក) សម្រាប់តម្លៃពិតដែលប្រើក្នុងសៀគ្វី។ មានសមីការបីដែលមានចរន្ត I_1, I_2, និង I_3 ។ សមីការមួយគឺជាសមីការ KCR និងសមីការពីរទៀតគឺជា KVR ។ កត់ត្រាសមីការទាំងបីនេះ ចូលក្នុងតារាងគណនាទី១។

២. ដោះស្រាយសមីការទាំងបីនេះដើម្បីទាញរក I_1, I_2, និង I_3 និងកត់ត្រាតម្លៃនេះក្នុងតារាងគណនាទី១។

៣. គណនាកម្រិតល្អៀងរបស់ចរន្តនៃតម្លៃតាមទ្រឹស្តី និងពិសោធន៍ និងកត់ត្រាចូលក្នុងតារាងគណនាទី១

៤. អនុវត្តច្បាប់គៀធុបក្នុងរូប(ខ)ដោយប្រើតម្លៃផ្ទាល់ក្នុងសៀគ្វី។ មានសមីការបួនដែលមានចរន្តបួន I_1, I_2, I_3, និង I_4 ។ សមីការមួយគឺជាសមីការ KCR និងសមីការបីទៀតគឺជា KVR ។ កត់ត្រាសមីការទាំងបីនេះ ចូល ក្នុងតារាងគណនាទី២។

៥. ដោះស្រាយសមីការទាំងបួននេះដើម្បីទាញរក I_1, I_2, I_3 និង I_4 និងកត់ត្រាតម្លៃនេះក្នុងតារាងគណនាទី២

៦. គណនាកម្រិតល្អៀងរបស់ចរន្តនៃតម្លៃតាមទ្រឹស្តី និងពិសោធន៍ និងកត់ត្រាចូលក្នុងតារាងគណនាទី២

៦. លទ្ធផល

តារាងទិន្នន័យទី១

តង់ស្យុងប្រភពជា emf ε_1 = ____________V ε_2 = ____________V	
តម្លៃរេស៊ីស្តង់ (Ω)	តម្លៃចរន្តពិសោធន៍ (mA)
R_1 =	I_1 =
R_2 =	I_2 =
R_3 =	I_3 =

តារាងគណនាទី១

ច្បាប់គៀឆុបចំពោះសៀគ្វី **(1) KCL:** **(2) KVL1:** **(3) KVL2:**	
តម្លៃចរន្តតាមទ្រឹស្តី (mA)	%Error
I_1 =	
I_2 =	
I_3 =	

តារាងទិន្នន័យទី២ តង់ស្យុងប្រភពជា emf ε_1 = ____________V ε_2 = ____________V	
តម្លៃរេស៊ីស្តង់ (Ω)	តម្លៃចរន្តពិសោធន៍ (mA)
R_1 =	I_1 =
R_2 =	I_2 =
R_3 =	I_3 =
R_4 =	I_4 =

តារាងគណនាទី២

ច្បាប់គៀឆុបចំពោះសៀគ្វី **(1) KCL:** **(2) KVL1:** **(3) KVL2:** **(4) KVL3:**	
តម្លៃចរន្តតាមទ្រឹស្តី (mA)	%Error
I_1 =	
I_2 =	
I_3 =	
I_4 =	

➢ ការគណនាគំរូ

- KCR, KVR1, និង KVR2 សរសេរសមីការបីដើម្បីដោះស្រាយរកចរន្ត I_1, I_2, និង I_3។

…….

…….

- KCL, KVL1, KVL2, និង KVL3 សរសេរសមីការបីដើម្បីដោះស្រាយរកចរន្ត I_1, I_2, I_3, និង I_4

……

………

៧. សន្និដ្ឋាន

ផ្អែកលើលទ្ធផលពិសោធន៍ខាងលើ កម្រិតល្អៀងគឺ........, និងកម្រិតល្អៀងនេះតិចជាង 5%។ ដូចនេះដោយប្រើសម្ភារពិសោធន៍ខាងលើ អ្នកអាចសន្និដ្ឋានបានថាតម្លៃចរន្តតាមពិសោធន៍គឺ………។

៨. សំណួរពិភាក្សា

១. តើកត្តាអ្វីខ្លះដែលជះឥទ្ធិពលលើកម្រិតល្អៀងនៃពិសោធន៍?

២. តើកម្រិតល្អៀងរបស់វានឹងទៅជាយ៉ាងណា (កើនឡើង នៅដដែល ឬថយចុះ) បើយើងគិតរេស៊ីស្តង់ក្នុងរបស់បាតឺរី ដោយសន្មតថារេស៊ីស្តង់ក្នុងរបស់បាតឺរីនីមួយៗគឺ $r_1 = r_2 = 2.00\ \Omega$ ។

វាស់កម្លាំងអគ្គិសនីចលករនៃថ្មពិលដោយប្រើប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ និងវ៉ុលម៉ែត្រ

១. វត្ថុបំណង

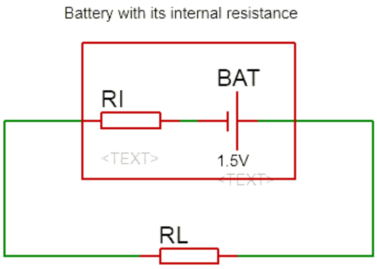
- កំណត់គោលការណ៍ដំណើរការនៃប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ។
- ប្រៀបធៀប emf របស់ថ្មពិលដែលវាស់ដោយប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ និងវាស់ដោយវ៉ុលម៉ែត្រ។
- កំណត់រេស៊ីស្តង់ក្នុងរបស់ថ្មពិល។

២. ទ្រឹស្តី

- ផ្នែកទី១ ៖ លក្ខណៈនៃថ្មពិល

ថ្មពិលថ្មីមានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ (e) រវាងពី 1.50 V ទៅ 1.60 V និងមានរេស៊ីស្តង់ក្នុង(Ri)ប្រហែលពីរ ឬបីអូម។ តង់ស្យុងរវាងគោលនៃថ្មពិលដែលបញ្ចេញចរន្ត I គឺតាងដោយ V

$$V = e - IR_i \quad (1)$$



កាលណាមានចរន្តឆ្លងកាត់ខ្សែចម្លង $V < e$ ។ ប៉ុន្តែកាលណាគ្មានចរន្តឆ្លងកាត់ខ្សែចម្លង(សៀគ្វីចំហ), ($I = 0$) នោះ V = e ។ គេតរេស៊ីស្តរ(R_L)មួយរវាងគោលនៃថ្មពិល បង្ហាញដូចរូបខាងស្តាំ ចរន្តដែលបញ្ចេញដោយថ្មពិល៖

$I = e / (R_i + R_L)$ ។

តង់ស្យុងរវាងគោលនៃថ្មពិលគឺ $V = (e R_L)/(R_i + R_L) \quad (2)$

ថ្មពិលចាស់ កម្លាំងអគ្គិសនីចលករ(e)ថយចុះ និងរេស៊ីស្តង់ក្នុង(R_i)របស់វាកើនឡើង។ ឧទាហរណ៍ ថ្មពិលចាស់មួយមាន $e = 1.30$V និងរេស៊ីស្តង់ក្នុង (R_i) ≅ 2000Ω ~ 3000Ω ។ កាលណា R_i កាន់តែធំមានន័យថាមានចរន្តបញ្ចេញពីថ្ម បណ្តាលឱ្យមានទន្លាក់តង់ស្យុងកើតឡើងរវាងគោលនៃរេស៊ីស្តង់។ ជាលទ្ធផល តង់ស្យុង (V) រវាងគោលនៃថ្មពិលមានតម្លៃយ៉ាងតូច និងថ្មពិលលែងដំណើរការ។

- **ផ្នែកទី២ ៖ វង្វាស់វ៉ុលម៉ែត្រ (Voltmeter Measurement)**

ប្រើវ៉ុលម៉ែត្រដើម្បីវាស់តង់ស្យុងនៃគោលថ្មពិល រេស៊ីស្តង់របស់វ៉ុលម៉ែត្រ(R_V)ជារេស៊ីស្តង់របស់រេស៊ីស្តរបន្ទុក (R_L)។ តង់ស្យុង(V)ដែលវាស់ដោយវ៉ុលម៉ែត្រគឺដូចគ្នានឹងសមីការ (2) ដែល R_L ត្រូវជំនួសដោយ R_V (រេស៊ីស្តង់របស់វ៉ុលម៉ែត្រ)។

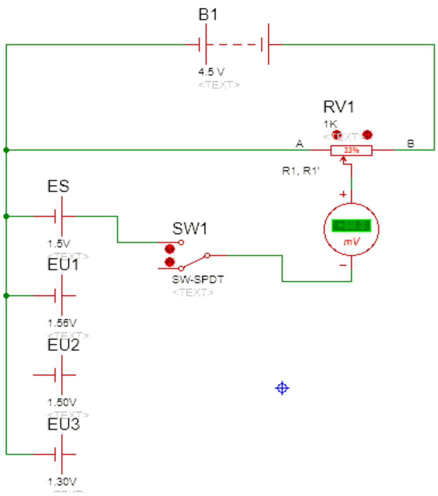
សមីការឱ្យដោយ $V = (e R_V)/(R_i + R_V) \quad (3)$

តម្លៃនៃ R_V អាស្រ័យយ៉ាងខ្លាំងលើគុណភាពនៃវ៉ុលម៉ែត្រ។ វ៉ុលម៉ែត្រដែលសិស្សប្រើក្នុងមន្ទីពិសោធន៍មានតម្លៃប្រហែល 3000 Ω ។ បើវ៉ុលម៉ែត្របែបនេះត្រូវបានប្រើដើម្បីវាស់តង់ស្យុងគោលនៃថ្មពិលថ្មី ដែលមានរេស៊ីស្តង់ក្នុង R_i ស្មើ 1.0 Ω ពេលនោះតង់ស្យុងគោល (V)

V = (3000 e /3001) = 0.9997 នៃ emf

ម្យ៉ាងវិញទៀត បើវ៉ុលម៉ែត្រដដែលនេះត្រូវបានប្រើដើម្បីវាស់តង់ស្យុងគោលនៃថ្មពិលដែលមានរេស៊ីស្តង់ក្នុង R_i = 5000 Ω នោះតង់ស្យុងគោលគឺ V' = (3000 e /8000) = 0.375 នៃ emf ។ តម្លៃ R_V នៃវ៉ុលម៉ែត្រទំនើបដែលមានគុណភាពខ្ពស់ស្ថិតក្នុងលំដាប់ពី 10 MΩ ទៅ 20 MΩ ។ បើប្រើវ៉ុលម៉ែត្រប្រភេទនេះវាស់តង់ស្យុងនៃគោលថ្មពិលខាងលើ តម្លៃរបស់វាខិតទៅជិត ឬសឹងតែស្មើនឹងតម្លៃនៃ emf ។

❖ ផ្នែកទី៣ ៖ រង្វាស់ដោយប្រើប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រងាយ



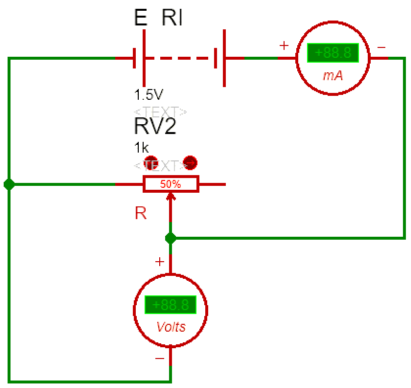
ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រមួយបង្ហាញដូចរូបខាងស្តាំ ជាឧបករណ៍មួយដែលប្រើដើម្បីប្រៀបធៀបតម្លៃនៃប្រភព emf ដែលស្គាល់(e_K)ទៅនឹង emf ដែលមិនស្គាល់ (e_U) ។ គេដាក់ (e_U) ក្នុងសៀគ្វីដែលឈមគ្នានឹង (e_K) ហើយ (e_U) នេះមានលំនឹង នឹងផលសងប៉ូតង់ស្យែលដែលស្គាល់ កាលណាគ្មានចរន្តក្នុង emf ដែលមិន ស្គាល់។ emf ពិតត្រូវបានកំណត់ដោយសារគ្មាន ទន្លាក់តង់ស្យុងឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តង់ក្នុង។ កុងតាក់ SW_1 អាចឱ្យកម្លាំងអគ្គិសនីចលករនៃ ថ្មពិល e_S ឬ e_U តជាខ្សែងជាមួយនឹងប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ ។ ថ្មពិលដែលមានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ e_S ជាថ្មពិលស្តង់ដា (Standard cell) ដែល emf របស់វាត្រូវបានគេស្គាល់ច្បាស់ និង e_U តាងឱ្យកម្លាំងអគ្គិសនីចលករមិនស្គាល់ដែលយើង ត្រូវវាស់។ ចរន្តអគ្គិសនីក្នុងប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រត្រូវជ្រើសរើសឱ្យធំគ្រប់គ្រាន់ដើម្បីទទួលបានបម្រែបម្រួលប៉ូតង់ស្យែលពី A ទៅ B ធំជាង e_U ឬ e_S ។ ជាមួយនឹងកុងតាក់ SW_1 បិទ ដូចនេះ e_S ស្ថិតនៅក្នុងសៀគ្វី កូនបូតអាចត្រូវបានរំកិលតាមបណ្តោយ ខ្សែរហូត ដល់ចំណុច C ដែលជាទីតាំងដែលទន្លាក់តង់ស្យុងពី A ទៅ C ស្មើគ្នានឹង e_S ។ រេស៊ីស្តង់ដែលត្រូវគ្នាគឺ R_1។ រកចំណុចទីតាំង C ដែលគ្មានចរន្តឆ្លងកាត់កាល់វ៉ាណូម៉ែត្រដែលតជាស៊េរីជាមួយនឹង e_S។ ដោយដាក់កុងតាក់ SW_1មកទីតាំងមួយទៀតដែលមាន e_U នៅក្នុងសៀគ្វី រកចំណុច D មួយថ្មីទៀតដែលទន្លាក់តង់ស្យុងពី A ទៅ D ស្មើនឹង e_U ។ រេស៊ីស្តង់ដែលត្រូវគ្នាគឺ R_1។ ចំណុចនេះត្រូវបានរកឃើញតាម

ពិសោធន៍ ហើយក៏ជាចំណុចដែលគ្មានចរន្តឆ្លងកាត់កាល់វ៉ាណូម៉ែត្រដែរ។ ដោយសារទន្លាក់តង់ស្យុងតាមបណ្ដោយខ្សែសមាមាត្រទៅនឹងរេស៊ីស្តង់ ដូចនេះទំនាក់ទំនងរវាងកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ និង រេស៊ីស្តង់ គឺ

$$e_U = e_S R'_1 / R_1 \qquad (4)$$

❖ រង្វាស់រេស៊ីស្តង់ក្នុងនៃថ្មពិល

ធ្វើតាមតារាងទិន្នន័យពិសោធន៍ទី៣ ក្នុងរបាយការណ៍ពិសោធន៍នៅចំណុចទី៦។



៣. សំណួរមុនពេលធ្វើពិសោធន៍

១. ជាធម្មតាចំពោះថ្មពិលថ្មី តើកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ និងរេស៊ីស្តង់ក្នុងរបស់វាមានតម្លៃប្រហែលប៉ុន្មាន? និងចំពោះថ្មពិលចាស់ តើកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ និងរេស៊ីស្តង់ក្នុងរបស់វាមានតម្លៃប្រហែលប៉ុនាន?

២. ថ្មពិលមួយមានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ 1.54 V និងរេស៊ីស្តង់ក្នុង 1.90 V។ តើតង់ស្យុងគោលរបស់វាមានតម្លៃប៉ុន្មាន? បើវាត្រូវបានភ្ជាប់ទៅនឹងរេស៊ីស្តង់ 15.3Ω។ បង្ហាញការគណនារបស់អ្នក។

៣. វ៉ុលម៉ែត្រមួយមានរេស៊ីស្តង់ធំ 10 MW ត្រូវបានប្រើដើម្បីវាស់តង់ស្យុងគោលនៃថ្មពិលថ្មីមួយ។ ចូរពន្យល់ថា ហេតុអ្វីបានជារង្វាស់នេះមានតម្លៃសឹងតែស្មើនឹងតម្លៃនៃ emf របស់ថ្មពិល?

៤. ក្នុងរង្វាស់ដោយប្រើប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ កម្លាំងអគ្គិសនីចលករដែលស្គាល់ និងមិនស្គាល់ត្រូវបានគេប្រៀបធៀបទៅនឹង ទន្លាក់តង់ស្យុង: ក. ឆ្លងកាត់វ៉ុលម៉ែត្រ ខ. ឆ្លងកាត់កាល់វ៉ាណូម៉ែត្រ គ. តាមបណ្ដោយប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រពិត ឃ. ឆ្លងកាត់តង់ស្យុងប្រភពដែលមានតម្លៃថេរ។

៥. ក្នុងរង្វាស់ដោយប្រើប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្របង្ហាញដូចរូបខាងលើ ចូរបង្ហាញថា $e_U = e_S R'_1/R_1$ ។

៦. តង់ស្យុងប្រភពដែលផ្តល់ទៅកាន់ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រមានតម្លៃប្រហែល 4.50 V ។ កម្លាំងអគ្គិសនីចលករដែលស្គាល់ (e_S) នៃថ្មពិលពីរដែលតជាស៊េរីគឺ 1.50 V ។ កាលណាកុងតាក់ S_1 ត្រូវបានដាក់ទៅទីតាំងនៃ (e_S)

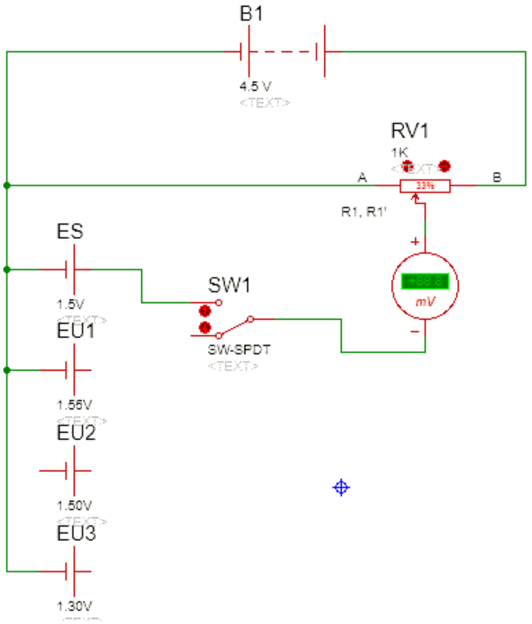
និងធ្វើការកែតម្រូវកូនបូតរហូតដល់គ្មានចរន្តឆ្លងកាត់កាល់វ៉ាណូម៉ែត្រ ពេលនោះរេស៊ីស្តង់ដែលត្រូវគ្នារបស់វាគឺ 330 Ω ។ បន្ទាប់មក កុងតាក់ SW_1 ត្រូវបានដាក់ទៅទីតាំងនៃ (ε_U) និងធ្វើការកែតម្រូវកូនបូតរហូតដល់គ្មានចរន្ត ឆ្លងកាត់កាល់វ៉ាណូម៉ែត្រ ពេលនោះ រេស៊ីស្តង់ដែលត្រូវគ្នារបស់វាគឺ 340 Ω ។ តើកម្លាំងអគ្គិសនីចលករដែល(មិនស្គាល់)វាស់ (ε_U) នេះមានតម្លៃប៉ុន្មាន?

៤. តម្រូវការសម្ភារ (EQUIPMENT NEEDED)

Software Proteus (ទាញយក Battery Active, cell, SW-SPDT, POT-HG, និងវ៉ុលម៉ែត្រឬអំពែម៉ែត្រ)

៥. ដំណើរការពិសោធន៍ (Experiment Procedure)

ដំឡើង Proteus ដូចបង្ហាញក្នុងរូប។ ត្រូវចាំថារេស៊ីស្តង់ដែលត្រូវគ្នានឹង e_S គឺ R_1 និង e_U គឺ R_1'ដែលវាស់ពី A ទៅ C និង A ទៅ D រៀងគ្នា។ C និង D ស្ថិតនៅចន្លោះ AB។



៦. របាយការណ៍ពិសោធន៍

ពិសោធន៍ទី១

តារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី១

(ε_U)	R_1(Ω)	វាស់លើកទី១(V)	វាស់លើកទី២(V)	វាស់លើកទី៣(V)
ថ្មពិលទី 1				
ថ្មពិលទី 2				
ថ្មពិលទី 3				
ε_S =			R_1 =…………..Ω	

តម្លៃមធ្យម $\overline{emf}$ (V)	α_{emf} (V)

ពិសោធន៍ទី២

តារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី២

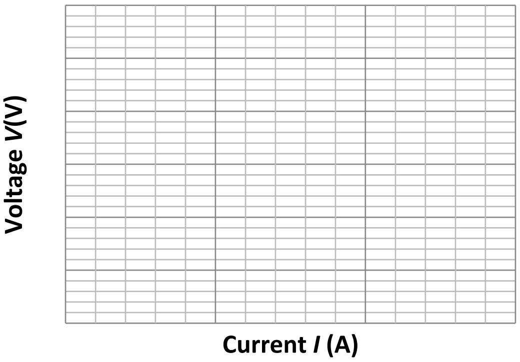
តម្លៃមធ្យម $\overline{emf}$(V)	វ៉ុលម៉ែត្ររេស៊ីស្តង់ធំ(V)	វ៉ុលម៉ែត្ររេស៊ីស្តង់តូច (V)

%Error វ៉ុលម៉ែត្ររេស៊ីស្តង់ធំ	%Error វ៉ុលម៉ែត្ររេស៊ីស្តង់តូច

ពិសោធន៍ទី៣(រង្វាស់រេស៊ីស្តង់ក្នុងនៃថ្មពិល)

តារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី៣

Resistor R (Ω)	Voltage V (V)	Current I (A)



ការគណនាគំរូ

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum(emf-\overline{emf})^2} =$$

……….

……….

…….

$$\alpha(RU) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} =$$

………

………

………

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

………

………

………

មេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ = R_l = $\tan\theta =$

………

………

………

៧. សន្និដ្ឋាន

ផ្អែកលើលទ្ធផលពិសោធន៍ខាងលើ អ្នករកឃើញថាកម្រិតល្បឿង និងល្បឿងស្តង់ដារបស់កម្លាំងអគ្គិសនីចលករនៃថ្មពិលមាន មានតម្លៃ____________________និង តម្លៃរេស៊ីស្តង់ក្នុងស្មើនឹង____________________។ ដូចនេះ ដោយ ប្រើឧបករណ៍ពិសោធន៍ខាងលើ អ្នកអាចសន្និដ្ឋានបានថា តម្លៃរេស៊ីស្តង់ក្នុង និងកម្លាំងអគ្គិសនីចលកររបស់ថ្មពិល អាច______________________________។

៨. ពិភាក្សា (DISCUSSION QUESTIONS)

១. តើកត្តាអ្វីខ្លះដែលធ្វើឱ្យពិសោធន៍នេះមានកម្រិតល្បឿងធំ?

២. ដើម្បីបានលទ្ធផលល្អ តើអ្នកត្រូវធ្វើដូចម្តេច?

ខ្វាស់ស្ពានកាប៉ាស៊ីតេ និងបន្តុំកុងដង់

១. វត្ថុបំណង

- ➢ កំណត់កាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រខ្លះៗដោយប្រើស្ពានសៀគ្វីដែលវងលំនឹង។
- ➢ កំណត់កាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រតាមពិសោធន៍ក្នុងបង្គុំជាស៊េរី និងជាខ្នែង រួចប្រៀបធៀបលទ្ធផលរបស់វាទៅ នឹងតម្លៃតាមទ្រឹស្តី

២. ទ្រឹស្តី

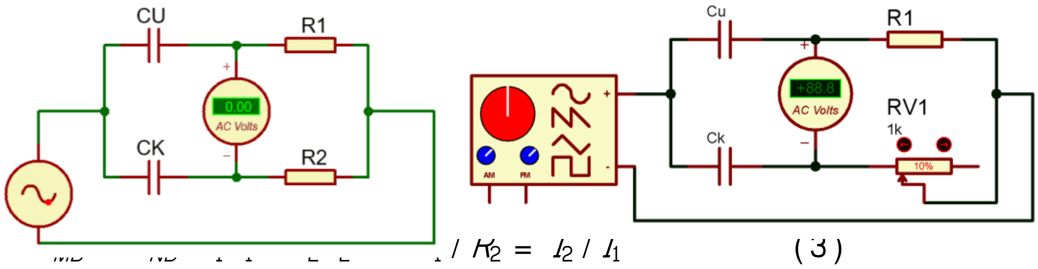
កុងដង់សាទ័រជាបង្គុំនៃបន្ទះអង្គធាតុចម្លងពីរដាក់ស្របគ្នា ឃ្លាតពីគ្នាចម្ងាយ *d* និងខ័ណ្ឌពីគ្នាដោយឌីអេឡិចទ្រិច ឬខ្យល់។ កាលណាមានចរន្តឆ្លាស់ដែលមានប្រេកង់ *f* ឆ្លងកាត់កុងដង់សាទ័រ នោះរង្វាស់ដែលប្រឆាំងទៅនឹងចរន្តត្រូវបានគេហៅថា រ៉េអាក់តង់នៃកុងដង់សាទ័រ (Capacitive Reactance) តាងដោយ X_c ៖

$X_c = 1/C$ (1), $= 2 f$ ដែល C ជាកាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រ គិតជា ហ្វារ៉ាដ (F) និង ជាប្រេកង់មុំ, ពុលសាស្យុង ឬល្បឿនមុំ គិតជា (rad/s) ។

តង់ស្យុង ឬផលសងប៉ូតង់ស្យែលរវាងគោលនៃកុងដង់សាទ័រ $V = X_c I$។ X_c នៅក្នុងចរន្តឆ្លាស់មាននាទីដូចគ្នានឹង រេស៊ីស្តង់នៅក្នុងចរន្តជាប់ ហើយ I ជាចរន្តនៅក្នុងកុងដង់សាទ័រ។ ក្នុងពិសោធន៍នេះ យើងនឹងបង្កើតសៀគ្វីស្ពានចរន្តឆ្លាស់ ដោយប្រើកុងដង់សាទ័រពីរ និងរេស៊ីស្តរពីរ បង្ហាញដូច រូបទី១ ខាងក្រោម។ កាលណាស្ពានវងលំនឹង នោះប៉ូតង់ស្យែល ត្រង់ M ស្មើនឹងប៉ូតង់ស្យែលត្រង់ N គេសរសេរ ៖

$V_M = V_N$ និង $V_{AM} = V_{AN}$ $X_{CU} I_1 = X_{CK} I_2$ $X_{CU} / X_{CK} = I_2 / I_1$ (2)

លំយោលករ



រូបទី១

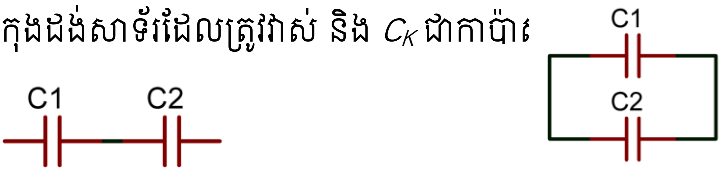
ផលសងប៉ូតង់ស្យែល ... $/ R_2 = I_2 / I_1$ (3)

ពីសមីការ (2) និង (3) យើងបាន ៖

$X_{CU} / X_{CK} = R_1 / R_2$

$(1/C_U)/(1/C_K) = R_1 / R_2$ ដូចនេះ យើងបាន $C_U = C_K R_2/R_1$ (4)

ដែល C_U ជាកាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រដែលត្រូវវាស់ និង C_K ជាកាប៉ា ... ទ័រដែលស្គាល់។



រូបទី២ ក. កុងដង់សាទ័រជាស៊េរី ខ.កុងដង់សាទ័រជាខ្នែង

កាប៉ាស៊ីតេសមមូលក្នុងបង្គុំជាស៊េរីឱ្យដោយ ៖ $1/C_e = 1/C_1 + 1/C_2$ (5)

កាប៉ាស៊ីតេសមមូលក្នុងបង្គុំជាខ្នែងឱ្យដោយ៖ $C_e = C_1 + C_2$ (6)

ក្នុងពិសោធន៍នេះ យើងនឹងកំណត់កាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រមិនស្គាល់ខ្លះៗដោយដាក់វាក្នុងស្ពាន បង្ហាញដូច រូបទី១ ខាងលើ។ ក្នុងបង្គុំជាស៊េរី និងជាខ្នែង យើងនឹងកំណត់ និងប្រៀបធៀបរវាងតម្លៃកាប៉ាស៊ីតេ តាមទ្រឹស្តី និង តាមពិសោធន៍។

៣. សំណួរមុនពេលធ្វើពិសោធន៍

១. តើកុងដង់សាទ័រជាអ្វី?

២. ចូរសរសេររូបមន្តរេអាក់តង់នៃកុងដង់សាទ័រ។

៣. ចូរពណ៌នាពីតួនាទីនៃរេអាក់តង់របស់កុងដង់សាទ័រ កាលណាមានចរន្តឆ្លាស់ឆ្លងកាត់កុងដង់សាទ័រ។

ចាប់ពីសំណួរទី ៤ ដល់ទី៨ ចូរពិនិត្យសៀគ្វីអគ្គិសនីដូចបង្ហាញក្នុង រូបទី១ ដែលជាស្ពានរងលំនឹង។ ចូរគូសរង្វង់ ឬ □ លើចម្លើយដែលត្រឹមត្រូវ។

៤. $V_{AM} = V_{MB}$ និង $V_{AN} = V_{NB}$ ក. □ ត្រូវ ខ. □ ខុស

៥. $V_{MN} = 0$ ក. □ ត្រូវ ខ. □ ខុស

៦. $V_{AB} = V_{MN}$ ក. □ ត្រូវ ខ. □ ខុស

៧. $V_{AM} = V_{NB}$ និង $V_{AN} = V_{MB}$ ក. □ ត្រូវ ខ. □ ខុស

៨. $V_{AM} = V_{AN}$ និង $V_{MB} = V_{NB}$ ក. □ ត្រូវ ខ. □ ខុស

៩.ស្ពានដែលបង្ហាញដូច រូបទី១ រងលំនឹង។ កុងដង់សាទ័រដែលស្គាល់តម្លៃ C_K មានកាប៉ាស៊ីតេ 1.0 μF ។ តម្លៃរេស៊ីស្តង់ R_1 = 10.0k និង តម្លៃរេស៊ីស្តង់ R_2 = 1.01k ។

ក. រកតម្លៃកាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រដែលមិនស្គាល់ C_U។

ខ. បើតម្លៃតាមទ្រឹស្តីនៃកុងដង់សាទ័រមិនស្គាល់ស្មើនឹង 0.10□F (តាមការអានតម្លៃកូដរបស់វា) តើកម្រិតល្អៀង របស់វាមានតម្លៃប៉ុន្មាន?

១០. កុងដង់សាទ័រមួយមានកាប៉ាស៊ីតេ 0.10 □F តជាស៊េរីជាមួយនឹងកុងដង់សាទ័រមួយទៀតដែលមានកាប៉ាស៊ីតេ 0.010 μF។ តើកាប៉ាស៊ីតេសមមូល C_e នៃកុងដង់សាទ័រនេះមានតម្លៃប៉ុន្មាន? បង្ហាញការគណនារបស់អ្នក

១១. កុងដង់សាទ័រមួយមានកាប៉ាស៊ីតេ 0.10 μF តជាខ្នែងនឹងកុងដង់សាទ័រមួយទៀតដែលមានកាប៉ាស៊ីតេ 0.010 μF ។ តើកាប៉ាស៊ីតេសមមូល C_e នៃកុងដង់សាទ័រនេះមានតម្លៃប៉ុន្មាន? បង្ហាញការគណនារបស់អ្នក។

៤. តម្រូវការសម្ភារ

- កុងដង់សាទ័រមួយដែលស្គាល់កាប៉ាស៊ីតេរបស់វាច្បាស់លាស់(គឺ 1.0 μF)។
- កុងដង់សាទ័រពីរដែលសន្មតថាមិនស្គាល់កាប៉ាស៊ីតេរបស់វា (តាមរយៈកូដលេខ104 = 0.1μF និងកូដលេខ 103 = 0.01μF) ។
- ប្រអប់រេស៊ីស្តង់មានតម្លៃរហូតដល់ 1000□□ និង រេស៊ីស្តង់ 10.0k មួយ។

- ជនិតាស៊ីនុយសូអ៊ីត (Sine wave generator) (ប្រេកង់ប្រែប្រួល, អំព្លីទុតតង់ស្យុងកំពូល-កំពូល 5V) ។
- វ៉ុលម៉ែត្រចរន្តឆ្លាស់ (បើជា Digital ជាការប្រសើរ) ។

៥. ដំណើរការពិសោធន៍

១. តាងកុងដង់សាទ័រដែលមិនស្គាល់ (កុងដង់សាទ័រដែលត្រូវវាស់) ដោយ C_1 និង C_2 ។ កត់ត្រាតម្លៃកាប៉ាស៊ីតេនៃ កុងដង់សាទ័រដែលស្គាល់ C_K ក្នុងតារាងទិន្នន័យខាងក្រោម។

២. បង្កើតសៀគ្វីដូចបង្ហាញក្នុង រូបទី១ ដោយដាក់កុងដង់សាទ័រ C_1 ត្រង់ទីតាំងនៃ C_U និងកុងដង់សាទ័រដែលស្គាល់ ត្រង់ទីតាំងនៃ C_K។ ដាក់រេស៊ីស្តង់ 10.0k ត្រង់ទីតាំងនៃ R_1។ ដាក់ប្រអប់រេស៊ីស្តង់ 1000Ω ត្រង់ទីតាំងនៃ R_2 ។ កត់ត្រាតម្លៃ R_1 ដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យ។

៣. ភ្ជាប់ជនិតាស៊ីនុយសូអ៊ីតដោយដាក់ Output របស់វារវាងចំណុច A និង B ។ បើកវាទៅកាន់អំព្លីទុតអតិបរមា និង ដាក់ប្រេកង់ប្រហែលជា 1000 Hz ។

៤. ដាក់វ៉ុលម៉ែត្ររវាងចំណុច M និង N ក្នុងសៀគ្វី។ កែតម្រូវតម្លៃ R_2 រហូតដល់តង់ស្យុងអប្បបរមាដែលអានដោយវ៉ុលម៉ែត្រវ៉ុលម៉ែត្ររវាងចំណុច M និង N។ កត់ត្រាតម្លៃ R_2 ដែលបង្កើតតង់ស្យុងអប្បបរមាក្នុងតារាងទិន្នន័យ។

៥. ធ្វើពីជំហានទី២ដល់ទី៤ឡើងវិញ ចំពោះកុងដង់សាទ័រមិនស្គាល់ C_2 ។

៦. ធ្វើពីជំហានទី២ដល់ទី៤ឡើងវិញដោយយក C_1 និង C_2 ជាខ្នែង និងដាក់វាត្រង់ទីតាំង C_U រូបទី១។

៧. ធ្វើពីជំហានទី២ដល់ទី៤ឡើងវិញដោយយក C_1 និង C_2 ជាស៊េរី និងដាក់វាត្រង់ទីតាំង C_U រូបទី១។

- **ដំបូន្មានក្នុងការគណនា**

១. ប្រើសមីការ (4) ដើម្បីគណនាកាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រមិនស្គាល់ និងក្នុងបង្គុំជាស៊េរី និងជាខ្នែងតាមពិសោធន៍។ កត់ត្រាលទ្ធផលជា C_{exp} ក្នុងតារាងគណនា។

២. ប្រើសមីកា (5) និង (6) ដើម្បីគណនាកាប៉ាស៊ីតេសមមូលតាមទ្រឹស្តីក្នុងបង្គុំជាស៊េរី និងខ្នែង។ ប្រើតម្លៃដែលកំណត់ តាមពិសោធន៍ចំពោះកាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រ C_1, C_2, និង C_3 ក្នុងការគណនា បើកុងដង់សាទ័រគ្មានកូដលេខ។ កត់ត្រាលទ្ធផលទាំងនោះជា C_{theo} ក្នុងតារាងគណនា។

៣. គណនាកម្រិតល្អៀងនៃតម្លៃតាមពិសោធន៍ក្នុងបង្គុំជាស៊េរី និងខ្នែងដោយធៀបទៅនឹងតម្លៃតាមទ្រឹស្តី។ កត់ត្រា លទ្ធផលដាក់ក្នុងតារាងគណនា។

៦. លទ្ធផល (របាយការណ៍ពិសោធន៍)

Capacitors	R_2 ( )	C_{exp} (F)	C_{theo} (F)	%Error
C_1 (104 = 0.1uF)				
C_2 (103 = 0.01uF)				
C_1 & C_2 ខ្នែង				
C_1 & C_2 ស៊េរី				

$C_K =$ 1 μF	$R_1 =$ 10 k Ω

➢ ការគណនាគំរូ

- $C_{exp} = (C_K R_2)/R_1$
- (ខ្នែង) $C_{theo} = C_1 + C_2 =$
- (ស៊េរី) $C_{theo} = (1)/(1/C_1 + 1/C_2)$
- % error =

៧. សន្និដ្ឋាន

ផ្អែកលើលទ្ធផលពិសោធន៍ខាងលើ កម្រិតល្អៀងតូចជាង 5% និងតម្លៃកាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័ររវាងទ្រឹស្តី និងពិសោធន៍________________________________។ ដូចនេះ ដោយប្រើស្ពានកុងដង់សាទ័រ និងរេស៊ីស្តរខាងលើ អ្នកអាចសន្និដ្ឋាន បានថា តម្លៃកាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រ_____________________ ___________។

៨. សំណួរពិភាក្សា

១. តើកត្តាអ្វីខ្លះដែលមានឥទ្ធិពលលើលទ្ធផលពិសោធន៍?

២. ដើម្បីទទួលបានលទ្ធផលពិសោធន៍ល្អ តើអ្នកត្រូវធ្វើដូចម្តេច?

សៀគ្វីRC (ថេរពេល)

១. វត្ថុបំណង

- កំណត់រយៈពេលចាំបាច់ដើម្បីផ្ទុក និងផ្ទេរបន្ទុកពីកុងដង់សាទ័រក្នុងសៀគ្វី *RC*។
- វាស់តង់ស្យុងឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរជាអនុគមន៍នៃពេលក្នុងសៀគ្វី *RC* ដើម្បីកំណត់ថេរពេល *RC*។
- កំណត់តម្លៃរេស៊ីស្តង់ក្នុង (ឬអាំប៉េដង់)នៃវ៉ុលម៉ែត្រ និងរេស៊ីស្តរពីរង្វាស់។

២. ទ្រឹស្តី

ចូរពិនិត្យសៀគ្វីអគ្គិសនីបង្ហាញដូចរូបទី១។ សៀគ្វីនេះរួមមាន កុងដង់សាទ័រមួយដែលមានកាប៉ាស៊ីតេ *C*, រេស៊ីស្តរ *R*, ប្រភពមួយដែលមានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ ε, និងកុងតាក់ *S* មួយ។ បើគេដាក់កុងតាក់ *S* ទៅចំណុច *A* នៅខណៈ $t = 0$ ដែលដំបូងកុងដង់សាទ័រគ្មានបន្ទុក នោះបន្ទុកចាប់ផ្តើមផ្ទុកក្នុងកុងដង់សាទ័ររហូតដល់ពេញទើបឈប់ផ្ទុក។ ចរន្តអគ្គិសនី *I* ដែលមានតម្លៃដើមរបស់វាគឺ $I_0 = \varepsilon/R$ ថយចុះជាអនុគមន៍អិចស្ប៉ូណង់ស្យែលនៃពេល។ បន្ទុក *Q* នៅលើអាម៉ាតួនៃ កុងដង់សាទ័រចាប់ផ្តើពីកើនពីសូន្យ (0)និងកើនឡើងជាអនុគមន៍អិចស្ប៉ូណង់ស្យែលនៃពេល រហូតដល់តម្លៃ $Q_0 = C\varepsilon$ បង្ហាញដោយសមីការខាងក្រោម ។

$$Q = C\varepsilon\,(1 - e^{-t/RC}) \text{ និង } I = (\varepsilon/R)\, e^{-t/RC} \qquad (1)$$

$$\text{ឬ } Q = Q_0\,(1 - e^{-t/RC}) \text{ និង } I = I_0\, e^{-t/RC}, \text{ ដែល } Q_0 = C\varepsilon \text{ និង } I_0 = \varepsilon/R$$

ទំហំ *RC* ត្រូវបានគេហៅថា ថេរពេលនៃសៀគ្វី មានខ្នាតជាវិនាទី (s), *R* គិតជាអូម (Ω), កាប៉ាស៊ីតេ *C* គិតជាផារ៉ាត (F) ។ ក្រោយមួយរយៈពេលវែងសមល្មមធៀបទៅនឹងថេរពេល *RC* ដែលកុងដង់សាទ័រផ្ទុកបន្ទុកពេញ នោះបន្ទុករបស់វា គឺ *Q* ដែលស្មើនឹង $Q_0 = C\varepsilon$ និងគ្មានចរន្តឆ្លងកាត់សៀគ្វី មានន័យថា ចរន្តស្មើសូន្យ ឥឡូវនេះកុងតាក់ *S* ត្រូវបានដាក់ទៅចំណុច ឬទីតាំង *B* ពេលនោះកុងដង់សាទ័រចាប់ផ្តើមផ្ទេរបន្ទុកអគ្គិសនីតាម រយៈរេស៊ីស្តរ។ បន្ទុកលើអាម៉ាតួរបស់កុងដង់សាទ័រ និងចរន្តក្នុងសៀគ្វីថយចុះជាអនុគមន៍នៃពេលក្នុងខណៈដែលកុងដង់សាទ័រផ្ទេរបន្ទុក បង្ហាញដូចសមីការខាងក្រោម ៖

$$Q = C\varepsilon\, e^{-t/RC} \text{ និង } I = (\varepsilon/R)e^{-t/RC} \qquad (2)$$

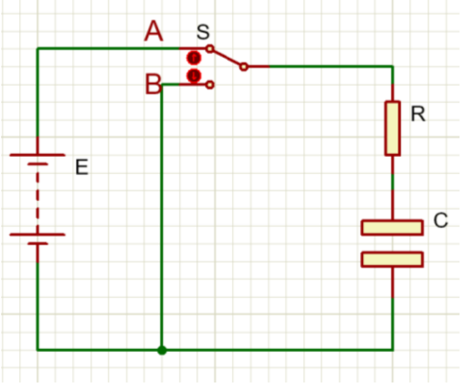
$$\text{ឬ } Q = Q_0\, e^{-t/RC} \text{ និង } I = -I_0\, e^{-t/RC}, \text{ ដែល } Q_0 = C\varepsilon \text{ និង } I_0 = \varepsilon/R$$

ចរន្តអគ្គិសនីក្នុងករណីកុងដង់សាទ័រផ្ទេរបន្ទុកមានទិសដៅផ្ទុយពីករណីកុងដង់សាទ័រផ្ទុកបន្ទុក ប៉ុន្តែអាំងតង់ស៊ីតេប៉ុនគ្នា។

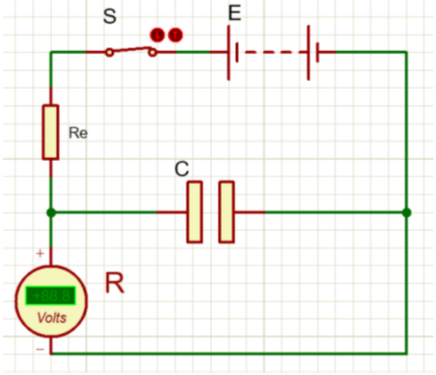
ចូរពិនិត្យសៀគ្វីអគ្គិសនីបង្ហាញដូចរូបទី២ ដែលរួមមានប្រភពមួយមានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ ε, កុងដង់សាទ័រមានកាប៉ាស៊ីតេ *C*, កុងតាក់ *S* និងវ៉ុលម៉ែត្រដែលមានរេស៊ីស្តង់ *R*។ បើជាដំបូង កុងតាក់ *S* បិទ កុងដង់សាទ័រផ្ទុកបន្ទុក និងតង់ស្យុងរបស់វាកើនឡើងជាអនុគមន៍អិចស្ប៉ូណង់ស្យែលនៃពេលដែល $V = \varepsilon\,(1 - e^{-t/RC})$, និងកើនឡើងយ៉ាងរហ័ស រហូតដល់តម្លៃ ε ដែលជាតង់ស្យុងរបស់ប្រភព, រូបទី២ ក.។ កាលណាកុងតាក់ *S* ត្រូវបានបើកកុងដង់សាទ័របញ្ចេញបន្ទុកតាមរយៈរេស៊ីស្តង់ *R* របស់ឧបករណ៍(វ៉ុលម៉ែត្រ)ដែលមានថេរពេល *RC*។ ជាមួយ

នឹងកុងតាក់បើក ជាតុនៃសៀគ្វីមានតែកុងដង់សាទ័រមួយដែលមានកាប៉ាស៊ីតេ C និងវ៉ុលម៉ែត្រមួយដែលមានរេស៊ីស្តង់ R ដូច្នេះតង់ស្យុងឆ្លងកាត់កុងដង់សាទ័រស្មើនឹងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់វ៉ុលម៉ែត្រ (រូបទី២ ខ.) $V = \varepsilon e^{-t/RC}$ (3)

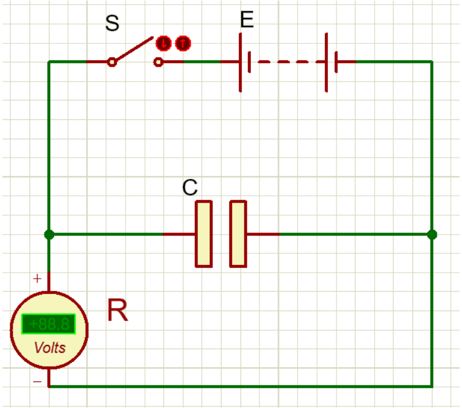
ពីសមីការ (3) យើងទាញបាន ៖ $\ln(\varepsilon/V) = (1/RC)\,t$ (4)



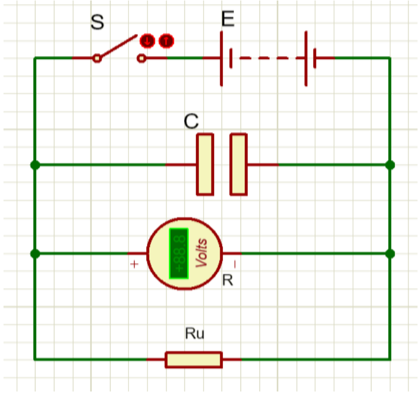
រូបទី១ សៀគ្វីងាយ



រូបទី២ ក. សៀគ្វី RC ដែលប្រើវ៉ុលម៉ែត្រជារេស៊ីស្តង់



រូបទី២ ខ.សៀគ្វី RC ដែលប្រើវ៉ុលម៉ែត្រជារេស៊ីស្តង់



រូបទី៣សៀគ្វី RC ដែលប្រើវ៉ុលម៉ែត្រ និង R_U តជាខ្នែង

បើតង់ស្យុងឆ្លងកាត់កុងដង់សាទ័រត្រូវបានកំណត់ជាអនុគមន៍នៃពេល ក្រាប $\ln(\varepsilon/V)$ ជាអនុគមន៍នៃពេលមានរាងជាបន្ទាត់ត្រង់ដែលមានមេគុណប្រាប់ទិសស្មើនឹង $(1/RC)$ ។ ដូច្នេះ RC អាចត្រូវបានកំណត់ កាលណាគេស្គាល់រេស៊ីស្តង់របស់វ៉ុលម៉ែត្រ R និងបន្ទាប់មកគេអាចទាញកាប៉ាស៊ីតេរបស់កុងដង់សាទ័រ C បាន។ បើគេដាក់រេស៊ីស្តរមិនស្គាល់ជាខ្នែងជាមួយនឹងវ៉ុលម៉ែត្រ នោះយើងបានសៀគ្វីបង្ហាញដូចរូបទី៣។ កុងដង់សាទ័រអាចត្រូវបានផ្ទុក និងផ្ទេរជាថ្មីម្តងទៀត ប៉ុន្តែឥឡូវនេះថេរពេលស្មើនឹង R_tC ដែល R_t ជារេស៊ីស្តង់សមមូលក្នុងបង្គុំ

ជាខ្នែងនៃ R និង R_U ។ ទំនាក់ទំនងរវាង R_U, R និង R_t ឱ្យដោយ ៖

$$R_U = (RR_t)/(R - R_t) \qquad (5)$$

ដូចនេះរង្វាស់តង់ស្យុងនៃកុងដង់សាទ័រជាអនុគមន៍នៃពេលនឹងបង្កើតភាពអាស្រ័យគ្នាដូចដែលបានឱ្យដោយសមីការ(4) លើកលែងតែមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ដែលស្មើនឹង $(1/R_tC)$ ។ បើគេស្គាល់ C និង R_tC ត្រូវបានរកឃើញពីមេគុណប្រាប់ទិស ដូចនេះ R_t អាចត្រូវបានកំណត់។ ដោយប្រើសមីការ (5) R_U អាចត្រូវបានកំណត់ពី R និង R_t ។

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

$$\text{កម្រិតល្អៀងគំរូ}(\alpha) = \frac{\text{លំងាកគំរូ}(\delta_{n-1})}{\sqrt{n}}$$

$$\text{លំងាកគំរូ}(\delta_{n-1}) = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

៣. សំណួរមុនពេលធ្វើពិសោធន៍

១. សៀគ្វីបង្ហាញដូចរូបទី១ ដំបូងកុងដង់សាទ័រគ្មានបន្ទុកអគ្គិសនីទេនៅពេលដែលកុងតាក់ S ត្រូវបានដាក់ទៅទីតាំង A នៅខណៈ $t = 0$ ។ បន្ទុកលើអាម៉ាតួនៃកុងដង់សាទ័រគឺ

ក. ដំបូងមានតម្លៃសូន្យ និងចុងបញ្ចប់មានតម្លៃ $C\varepsilon$

ខ. មានតម្លៃថេរស្មើនឹង $C\varepsilon$

គ. ដំបូងមានតម្លៃ $C\varepsilon$ និងចុងបញ្ចប់មានតម្លៃសូន្យ

ឃ. មានតម្លៃតូចជាង ε/R ជានិច្ច។

២. សៀគ្វីបង្ហាញដូចរូបទី១ ដំបូងកុងដង់សាទ័រគ្មានបន្ទុកអគ្គិសនីទេនៅពេលដែលកុងតាក់ S ត្រូវបានដាក់ទៅទីតាំង A នៅខណៈ $t = 0$ ។ ចរន្តនៅក្នុងសៀគ្វីគឺ

ក. ដំបូងមានតម្លៃសូន្យ និងចុងបញ្ចប់មានតម្លៃ ε / R

ខ. មានតម្លៃថេរស្មើនឹង ε / R

គ. មានតម្លៃ $C\varepsilon$

ឃ. ដំបូងមានតម្លៃ ε / R និងចុងបញ្ចប់មានតម្លៃស្មើនឹងសូន្យ។

៣. សៀគ្វីបង្ហាញដូចរូបទី២ ក. កុងតាក់ S ត្រូវបានបិទដើម្បីផ្ទុកបន្ទុកឱ្យកុងដង់។ ក្នុងពេលផ្ទុកបន្ទុក តង់ស្យុងរបស់វាគឺ

ក. $V = \varepsilon e^{-t/RC}$ ខ. $V = \varepsilon(1 - e^{-t/RC})$

គ. $V = C\varepsilon$ ឃ. $V = \varepsilon/R$ ។

៤. សៀគ្វីបង្ហាញដូចរូបទី២ ខ. កុងតាក់ S ត្រូវបានបិទដើម្បីផ្ទុកបន្ទុកឱ្យកុងដង់ និងបន្ទាប់មកបើកនៅខណៈ $t = 0$ ។ ក្នុងពេលបន្ទេរបន្ទុក តង់ស្យុងរបស់វាគឺ

ក. $V = \varepsilon e^{-t/RC}$ ខ. $V = \varepsilon(1 - e^{-t/RC})$

គ. $V = C\varepsilon$ ឃ. $V = \varepsilon/R$ ។

៥. បង្ហាញថា RC មានខ្នាតជាវិនាទី (s) បើ R គិតជា (Ω) និង C គិតជា (F) ។

៦. សន្មតថាសៀគ្វីត្រូវបានបង្កើតដូចរូបទី៣ ។ កាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រគឺ 47.0 μF តង់ស្យុងប្រភពគឺ 20.0 V អាំប៉េដង់របស់វ៉ុលម៉ែត្រគឺ 11.8 MΩ និងរេស៊ីស្តង់ R_U = 1.74 MΩ ។ បើដំបូងកុងតាក់ត្រូវបិទ និងបន្ទាប់មកបើក តើអំណានរបស់វ៉ុលម៉ែត្រស្មើនឹងប៉ុន្មាន ក្រោយកុងតាក់បើក 40.0s ? ចូរបង្ហាញការគណនារបស់អ្នក។

V = ____________________.

៧. កុងដង់សាទ័រមួយមានកាប៉ាស៊ីតេ 47.0 μF និងរេស៊ីស្ទរមួយមានរេស៊ីស្តង់ 11.8 MΩ ។ សៀគ្វីនេះជាសៀគ្វី RC ។ បើកុងដង់សាទ័រផ្ទុកក្រោមតង់ស្យុង 20.0 V តើរយៈពេលប៉ុន្មានដែលតង់ស្យុងរបស់កុងដង់សាទ័រឡើងដល់ 10.0 V? ចូរបង្ហាញការគណនារបស់អ្នក។

៤. តម្រូវការសម្ភារ

Software Proteus ដែលដំឡើងរួចក្នុងកំព្យូទ័រ ដោយទាញយកគ្រឿងដូចជា៖

- វ៉ុលម៉ែត្រ១ (រេស៊ីស្តង់ក្នុង 10 MΩ, បើជាវ៉ុលម៉ែត្រឌីជីតាល់ជាការប្រសើរ)
- ក្រូណូម៉ែត្រ១
- ប្រភពចរន្តជាប់ 20V
- រេស៊ីស្តង់មិនស្គាល់ (ប្រហែលជាពី 2 ទៅ 10 MΩ)
- កុងតាក់១(ពីរផ្លូវ) និងកុងតាក់មួយផ្លូវ

៥. ដំណើរការ

រេស៊ីស្តង់ក្រៅដែលមិនស្គាល់សម្រាប់ផ្ទុកបន្ទុកឱ្យកុងដង់សាទ័រ

1. អានតម្លៃកុងដង់សាទ័រតាមរយៈលេខកូដលើតួរបស់វា និងកត់ត្រាតម្លៃដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យទី១។
2. មួលតម្រូវតង់ស្យុងប្រភពទៅតម្លៃប្រហែល 20.0V ។
3. ដំឡើងសៀគ្វីបង្ហាញដូចរូបទី២ ក. ដោយប្រើកុងដង់សាទ័រ១, វ៉ុលម៉ែត្រ,រេស៊ីស្ទរ និងតង់ស្យុងប្រភព។
4. បិទកុងតាក់ និងចាប់ផ្តើមកត់ត្រាពេលដោយប្រើក្រូណូម៉ែត្រក្នុងពេលជាមួយគ្នា។
5. អំណានវ៉ុលម៉ែត្រនឹងកើនឡើង កាលណាកុងដង់សាទ័រផ្ទុកបន្ទុក។ ឱ្យក្រូណូម៉ែត្រដំណើរការបន្ត និងគ្រប់តម្លៃតង់ស្យុងទាំងអស់ដែលឱ្យក្នុងតារាងទិន្នន័យទី១ កត់ត្រារយៈពេល t ដែលត្រូវគ្នានឹងអំណាន

តង់ស្យុងពីវ៉ុលម៉ែត្រ។ ជម្រើសសមស្របរបស់តង់ស្យុងដើម្បីវាស់រយៈពេល t គួរធ្វើកំណើន 10% ជាដំបូង និងបន្តបន្ទាប់។ ឧទាហរណ៍ បើ ε = 20.0 V ពេលនោះត្រូវប្រើតង់ស្យុង 2.0 V, 4.0 V, 6.0 V ។ល។ កត់ត្រាតង់ស្យុង V និងរយៈពេល t ដាក់ក្នុង តារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី១។

6. ធ្វើជំហានទី៤ និងទី៥ឡើងវិញចំនួនពីរដងទៀត។
7. ទុកឱ្យកុងដង់សាទ័រផ្ទុកបន្ទុករហូតដល់ពេញ។ តង់ស្យុងខ្ពស់បំផុតរបស់កុងដង់សាទ័រដែលផ្ទុកបន្ទុកពេញស្មើនឹងកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ ε, ដែល $V = \varepsilon$។ កត់ត្រាតម្លៃនេះដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី១។
8. វាស់រេស៊ីស្តង់ក្រៅ(R_{th})ដោយប្រើអូមម៉ែត្រ។ កត់ត្រាតម្លៃនេះដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាទី១។

រេស៊ីស្តង់ក្នុងរបស់វ៉ុលម៉ែត្រដែលមិនស្គាល់ចំពោះបន្ទេរបន្ទុកពីកុងដង់សាទ័រ

1. អានតម្លៃកុងដង់សាទ័រតាមរយៈលេខកូដលើតួរបស់វា និងកត់ត្រាតម្លៃដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យទី២។
2. ដំឡើងសៀគ្វីបង្ហាញដូចរូបទី២ ខ. ដោយប្រើកុងដង់សាទ័រជាប្រភព, វ៉ុលម៉ែត្រ និងតង់ស្យុងប្រភព។
3. បិទកុងតាក់ និងមួលតម្រូវតង់ស្យុងប្រភពដែលមានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ ε ដែលអានដោយវ៉ុលម៉ែត្រទៅតម្លៃ ប្រហែល 20.0 V ។ កត់ត្រាតម្លៃ ε ក្នុងតារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី២។
4. បើកកុងតាក់ និងចាប់ផ្តើមវាស់ពេលដោយប្រើក្រូណូម៉ែត្រក្នុងពេលជាមួយគ្នា។
5. អំណានវ៉ុលម៉ែត្រនឹងធ្លាក់ចុះកាលណាកុងដង់សាទ័រផ្ទេរបន្ទុក។ ឱ្យក្រូណូម៉ែត្រដំណើរការបន្ត និងគ្រប់តម្លៃតង់ស្យុង ទាំងអស់ដែលឱ្យក្នុងតារាងទិន្នន័យទី២ កត់ត្រារយៈពេល t ដែលត្រូវគ្នានឹងអំណានតង់ស្យុងពីវ៉ុលម៉ែត្រ។ ជម្រើស សមស្របរបស់តង់ស្យុងដើម្បីវាស់រយៈពេល t គួរធ្វើកំណើន 10%។ ឧទាហរណ៍ បើ ε = 20.0 V ពេលនោះត្រូវ ប្រើតង់ស្យុង 18.0 V, 16.0 V, 14.0 V ។ល។ កត់ត្រាតង់ស្យុង V និងរយៈពេល t ដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យ និងតារាងគណនាទី២។
6. ធ្វើពីជំហានទី៣ ដល់ទី៥នេះឡើងវិញចំនួនពីរដងទៀត។

រេស៊ីស្តង់ដែលមិនស្គាល់ចំពោះបន្ទេរបន្ទុកពីកុងដង់សាទ័រ

1. ដំឡើងសៀគ្វីបង្ហាញដូចរូបទី៣ដោយប្រើកុងដង់សាទ័រដូចគ្នាដែលបានប្រើក្នុងសៀគ្វីមុន និងរេស៊ីស្តង់ដែល ស្គាល់។ បិទកុងតាក់ និងមួលតម្រូវតង់ស្យុងប្រភពទៅកាន់តម្លៃដូចមុន។
2. ធ្វើពីជំហាន២ដល់៥នៃដំណើរការខាងលើឡើងវិញ រួចកត់ត្រាតម្លៃដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យ និងតារាងគណនាទី៣។

ដំបូន្មានក្នុងការគណនា

រេស៊ីស្តង់ក្នុង និងរេស៊ីស្តង់ក្រៅនៃវ៉ុលម៉ែត្រដែលមិនស្គាល់

1. គណនាតម្លៃ $\ln(1 - V/\varepsilon)$, $\ln(\varepsilon/V)$ និងកត់ត្រាវាដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យ និងតារាងគណនាទី២។
2. គណនាតម្លៃមធ្យម និងល្បឿនស្តង់ដា α_t របស់តង់ស្យុងនីមួយៗ រួចកត់ត្រាវាដាក់ក្នុងដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យ និងតារាងគណនាទី១ និងទី២រៀងគ្នា។
3. គូរក្រាបដោយប្រើទិន្នន័យ $\ln(1 - V/\varepsilon)$, $\ln(\varepsilon/V)$ ស្ថិតលើអ័ក្សឈរ និងស្ថិតលើអ័ក្សដេក។

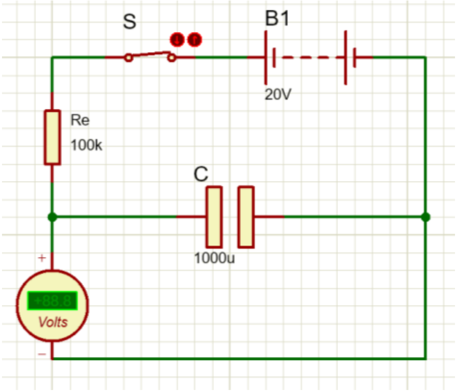
4. កត់ត្រាតម្លៃមេគុណប្រាប់ទិសក្នុងតារាងទិន្នន័យ និងតារាងគណនាទី១ និងទី២។
5. គណនា R_eC, RC ជាចម្រាស់នៃមេគុណប្រាប់ទិស។ កត់ត្រាតម្លៃ R_eC, RC ក្នុងតារាងទិន្នន័យទី១ និងទី២រៀងគ្នា។
6. ប្រើតម្លៃ R_eC, RC និង C ដើម្បីគណនាតម្លៃរេស៊ីស្តង់ក្នុង R_e, R ដែលមិនស្គាល់ រួចកត់ត្រាវាដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យ និងតារាងគណនាទី១ និងទី២រៀងគ្នា។

រេស៊ីស្តង់ដែលមិនស្គាល់

1. គណនាតម្លៃ $\ln(\varepsilon/V)$ រួចកត់ត្រាតម្លៃដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យ និងតារាងគណនាទី៣។
2. គណនាតម្លៃមធ្យម និងល្បៀងស្តង់ដា α_t របស់ t នៃតង់ស្យុងនីមួយៗ និងកត់ត្រាវាដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យ និងតារាងគណនាទី៣។
3. គូរក្រាបដោយដោយប្រើ $\ln(\varepsilon/V)$ លើអ័ក្សឈរ និង លើអ័ក្សដេក។
4. កត់ត្រាតម្លៃមេគុណប្រាប់ទិសក្នុងតារាងទិន្នន័យ និងតារាងគណនាទី៣។
5. គណនាតម្លៃ R_tC ជាចម្រាស់នៃមេគុណប្រាប់ទិស។ កត់ត្រាតម្លៃ R_tC ក្នុងតារាងទិន្នន័យ និងតារាងគណនាទី៣។
6. គណនាតម្លៃ R_t ដែលមិនស្គាល់ និងកត់ត្រាវាក្នុងតារាងទិន្នន័យ និងតារាងគណនាទី៣។
7. គណនាតម្លៃ R_U ដែលមិនស្គាល់ពីតម្លៃR_t និងRនិងកត់ត្រាR_U ក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងតារាងគណនាទី៣។

- **ជំនួយក្នុងការគូរក្រាប**

1. ចំពោះទិន្នន័យពីតារាងទិន្នន័យ និងការគណនាទី១ គូរក្រាបដោយដាក់ $\ln(1-V/\varepsilon)$ និង $\ln(\varepsilon/V)$ លើអ័ក្សឈរ និង លើអ័ក្សដេក។ ក្រាបដែលគូសបានគឺជាបន្ទាត់ត្រង់។
2. ចំពោះទិន្នន័យពីតារាងទិន្នន័យ និងការគណនាទី៣ គូរក្រាបដោយដាក់ $\ln(\varepsilon/V)$ លើអ័ក្សឈរ និងលើអ័ក្សដេក។ ក្រាបដែលគូសបានគឺជាបន្ទាត់ត្រង់។
3. គូរក្រាប V- ចំពោះបន្ទុក និងបន្ទេរកុងដង់សាទ័រ។



រូបទី២ ខ.

៦. របាយការណ៍ពិសោធន៍

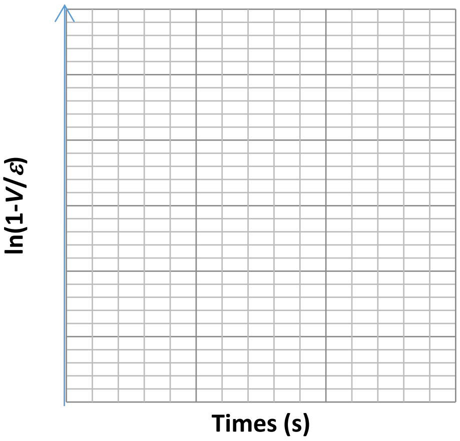
តារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី១(កុងដង់សាទ័រផ្ទុកបន្ទុក)

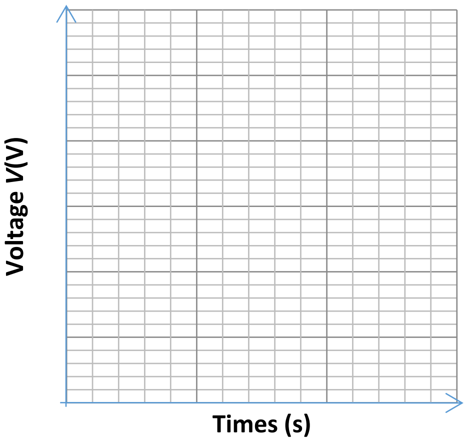
V(V)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	ln(1- V/ε)	$\bar{t}$ (s)	α_t (s)
0	0	0	0	0	0	
2.0						
4.0						
6.0						
8.0						
10.0						
11.0						
12.0						
13.0						
14.0						
15.0						
16.0						
17.0						
ε =20 V	R_e = kΩ	R_{th} = 100 kΩ		r =		
Slope = s^{-1}	R_eC =	C = 1000 μF		% Error R_e = %		

- កត់ត្រាតម្លៃតង់ស្យុង និងតម្លៃមធ្យមនៃពេលពីតារាងខាងលើដាក់ក្នុងតារាងខាងក្រោម ៖

V(V)	0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0		17.0
$\bar{t}$ (s)	0													

- គូរក្រាបរបស់កុងដង់សាទ័រផ្ទុកបន្ទុក





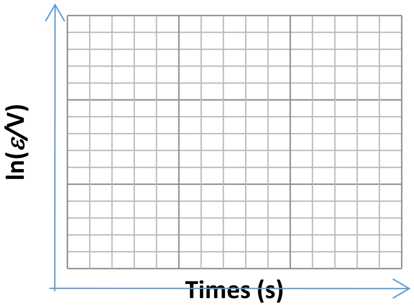
តារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី២(កុងដង់សាទ័រផ្ទេរបន្ទុក)

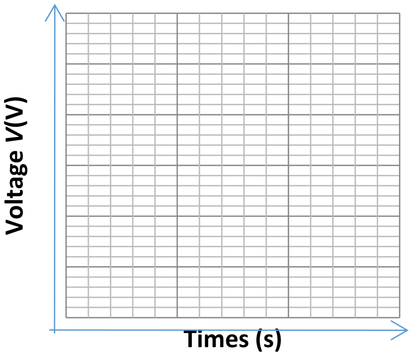
V(V)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	(s)	ln(ε/V)	α_t (s)
	0	0	0	0	0	
18.0						
16.0						
14.0						
12.0						
10.0						
8.0						
6.0						
5.0						
4.0						
3.0						
2.0						
ε = V	C = μF			r =		
Slope = s^{-1}	RC = s	R = MΩ				

- កត់ត្រាតម្លៃតង់ស្យុង និងតម្លៃមធ្យមនៃពេលពីតារាងខាងលើដាក់ក្នុងតារាងខាងក្រោម ៖

V(V)		18.0	16.0	14.0	12.0	10.0	8.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0
t(s)	0											

- គូរក្រាបរបស់កុងដង់សាទ័រផ្ទេរបន្ទុក





តារាងទិន្នន័យ និងគណនាទី៣(កុងដង់សាទ័រផ្ទេរបន្ទុក)

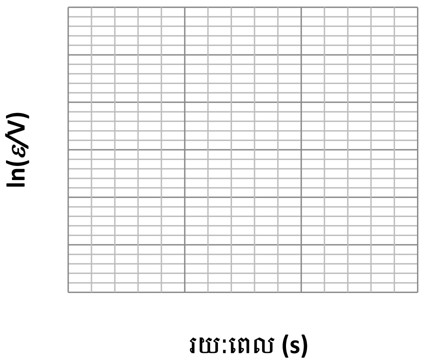
V(V)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	ln(ε/V)	(s)	α_t (s)
	0	0	0	0	0	
18.0						
16.0						
14.0						
12.0						
10.0						
8.0						
6.0						
5.0						
4.0						
3.0						
2.0						

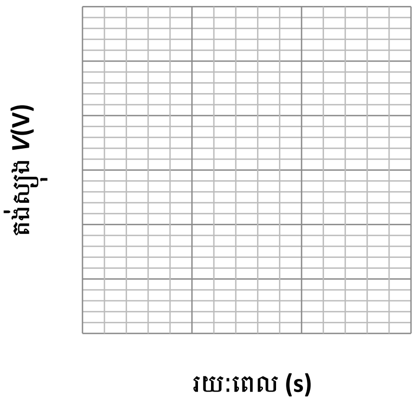
ε = V	R = MΩ	C = μF	r =
Slope = s^{-1}	R_tC = s	R_t = MΩ	R_U = MΩ

- កត់ត្រាតម្លៃតង់ស្យុង និងតម្លៃមធ្យមនៃពេលពីតារាងខាងលើដាក់ក្នុងតារាងខាងក្រោម ៖

V(V)		18.0	16.0	14.0	12.0	10.0	8.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0
(s)	0											

- គូរក្រាបរបស់កុងដង់សាទ័រផ្ទេរបន្ទុក





❖ ការគណនាគម្រូ (SAMPLE CALCULATIONS)

- $\ln(1 - V/\varepsilon)$ =

- $\ln(\varepsilon/V)$ =

- RC = 1/slope =

- $R = RC/C$=
- $R_t = R_t\, C/C$ =
- $R_U = (R_t\, R)/(R - R_t)$ =
- % Error =
- δ_{n-1}=
- α_t =

៧. សន្និដ្ឋាន (CONCLUSTIONS)

ផ្អែកលើលទ្ធផលពិសោធន៍ខាងលើ កម្រិតល្បឿង និងល្បឿងស្តង់ដាគឺ……………………… , ហើយតម្លៃនៃថេរពេល និងរេស៊ីស្តង់គឺ ………………………..។ ដូចនេះ ដោយប្រើឧបករណ៍ពិសោធន៍ខាងលើអ្នកអាចសន្និដ្ឋានថា រយៈពេល ដែលកុងដង់សាទ័រផ្ទុកបន្ទុក និងផ្ទេរបន្ទុក តង់ស្យុង ថេរពេល និងរេស៊ីស្តង់គឺ…………………………។

៨. សំណួរពិភាក្សា (DISCUSSION QUESTIONS)

- ដើម្បីសម្រួលក្នុងការវាស់តង់ស្យុង តើអ្នកត្រូវធ្វើដូម្តេច ?
- ដើម្បីទទួលបានលទ្ធផលពិសោធន៍ល្អ តើអ្នកត្រូវធ្វើដូចម្តេច ?

កម្លាំងម៉ាញេទិច(បម្លាស់ទីរបស់កំណាត់របារលោហៈ)

១. វត្ថុបំណង

- បង្ហាញថាទិសដៅបម្លាស់ទីរបស់របារអាស្រ័យនឹងទិសដៅនៃចរន្ត និងដែនម៉ាញេទិចតាមរយៈពិសោធន៍

២. ចំណេះដឹងមូលដ្ឋាន

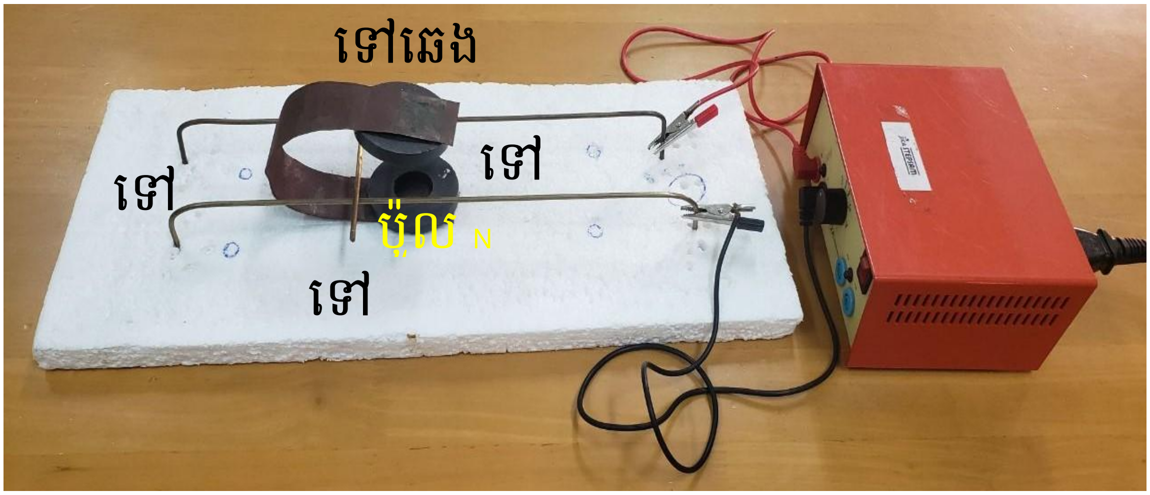
ប្រើវិធានដៃស្តាំដើម្បីកំណត់ទិសដៅកម្លាំងអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

- លាម្រាមទាំងបួនតាមទិសដៅចរន្ត
- ក្ដោបម្រាមទាំងបួនតាមទិសដៅដែនម៉ាញេទិច
- កន្ទេកមេដៃឱ្យកែងនឹងម្រាមទាំង៤ មេដៃជាទិសដៅកម្លាំងអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

៣. ពិសោធន៍៖

៣.១ ការកំណត់បញ្ហា

យើងឱ្យចរន្តឆ្លងកាត់របារដូចរូប ដែលទិសដៅចរន្ត និងដែនម៉ាញេទិចត្រូវបានកំណត់ តើរបារផ្លាស់ទីទៅតាមទិសដៅណា(មើលរូបខាងក្រោម)?



៣.២ ការបង្កើតសម្មតិកម្ម

ទិសដៅ	១	២	៣	៤
ដែនម៉ាញេទិច	ចុះក្រោម	ឡើងលើ	ចុះក្រោម	ឡើងលើ

ចរន្តអគ្គិសនី	ស្តាំទៅឆ្វេង	ស្តាំទៅឆ្វេង	ឆ្វេងទៅស្តាំ	ឆ្វេងទៅស្តាំ
របារ				

តម្រុយះ

ទិសដៅបម្លាស់ទីរបស់របារកំណត់នូវទិសដៅនៃ.................................. ហើយទិសដៅនៃ................ នេះអាស្រ័យនឹងទិសដៅនៃ ....និង............................។ ដោយប្រើផលគុណវ៉ិចទ័រ អ្នកអាចកំណត់ទិសដៅនៃកម្លាំងម៉ាញេទិចដោយអនុវត្តតាមវិធានដៃស្តាំលើពិសោធនេះ។

៣.៣ តេស្តសម្មតិកម្ម ឬពិសោធន៍

ក. សម្ភារ

អាគុយ មេដែករាងអ៊ុយ របារអង្គធាតុចម្លងរាងស៊ីឡាំង (របារស្ពាន់) ខ្សែចម្លងជាប់ដង្កៀប និងបន្ទះស្នោរ

ខ. ដំណើរការពិសោធះ

១. ចោះរន្ធ៤លើបន្ទះស្នោររាងចតុកោណកែងដែលមានទទឹងប្រហែល 3cm និងបណ្ដោយប្រហែល 7cm។

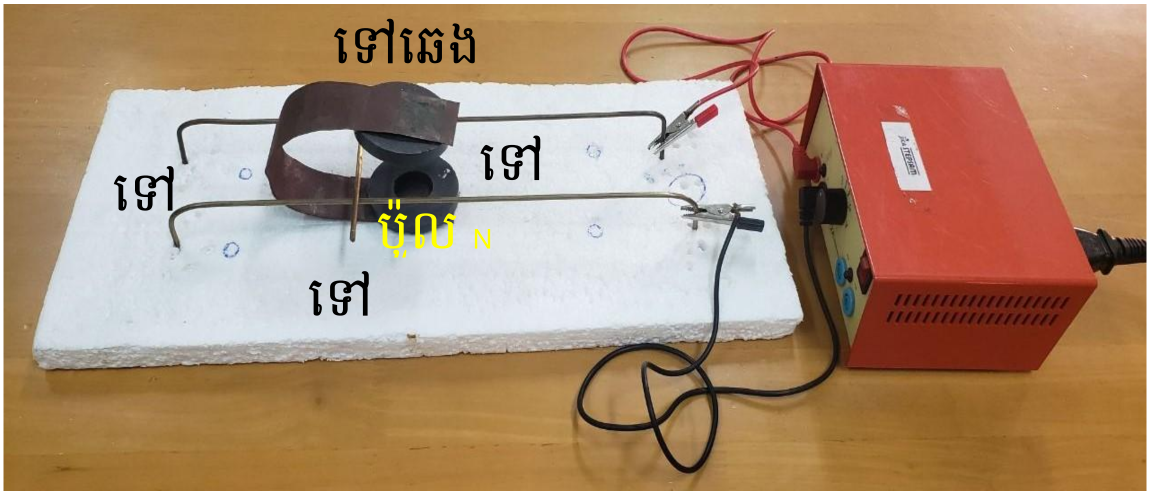
២. យករបារអង្គធាតុចម្លងរាងស៊ីឡាំងមកកាត់ជាពីរកំណាត់ហើយពត់ជារាងអក្សរអ៊ុយដែលមានបាតប្រវែងប្រហែល 30cm និងកម្ពស់ប្រហែល 4cm (ដូចរូប)។

៣. យករបារដែលពត់រួចទាំងពីរទៅដាំនឹងបន្ទះស្នោរដែលចោះរន្ធរួច ដោយធ្វើយ៉ាងណាឱ្យរបារទាំងពីរស្របគ្នា។

៤. ដាក់មេដែករាង ∪ ក្នុងចន្លោះរបារទាំងពីរ

៥. កាត់របារអេង្គធាតុចម្លងរាងស៊ីឡាំងប្រវែងប្រហែល 8cm រួចដាក់ឱ្យកែងលើរបារស្របគ្នាដោយ ធ្វើយ៉ាងណាឱ្យរបារនេះនៅចន្លោះប៉ូលទាំងពីរនៃមេដែករាង ∪ ។

៦. ភ្ជាប់ចរន្តពីអាគុយទៅរបារស្របគ្នាដោយប្រើខ្សែចម្លងជាប់ដង្កៀប



ចំណាំ៖ ឱ្យចរន្តឆ្លងកាត់ក្នុងរយៈពេលខ្លីពី២ ទៅ៣ វិនាទីប៉ុណ្ណោះ។

៣.៤ លទ្ធផល

របារឆ្លងកាត់ដោយចរន្តដាក់ក្នុងដែនម៉ាញេទិច នោះវានឹង.......................។ ទិសដៅបម្លាស់ទីរបស់របារអាស្រ័យនឹង ....និង...................................។

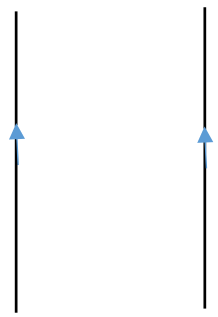
ទិសដៅ	១	២	៣	៤
ដែនម៉ាញេទិច	ចុះក្រោម	ឡើងលើ	ចុះក្រោម	ឡើងលើ
ចរន្តអគ្គិសនី	ស្ដាំទៅឆ្វេង	ស្ដាំទៅឆ្វេង	ឆ្វេងទៅស្ដាំ	ឆ្វេងទៅស្ដាំ
របារ				

៣.៥ វិភាគ និងសន្និដ្ឋាន

ទិសដៅបម្លាស់ទីរបស់របារគឺជាទិសដៅនៃ.....................ដែលអាចរកបានតាមវិធាន..................។ ដូចនេះសម្មតិកម្មរបស់អ្នកគឺ...............ដោយពិសោធមានន័យថាវិធានដៃស្តាំត្រូវបានគាំទ្រដោយពិសោធន៍។

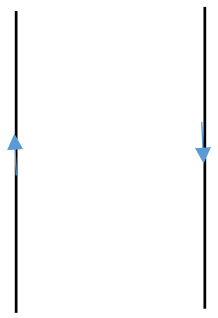
៤. ពិភាក្សា

១. យើងមានខ្សែចម្លងត្រង់ពីរដាក់ស្របគ្នាឆ្លងកាត់ដោយចរន្តមានទិសដៅដូចគ្នាដូចរូបខាងក្រោម តើខ្សែចម្លងទាំងពីរទាញគ្នាចូលឬច្រានគ្នាចេញ?



២. យើងមានខ្សែចម្លងត្រង់ពីរដាក់ស្របគ្នាឆ្លងកាត់ដោយចរន្តមានទិសដៅផ្ទុយគ្នាដូចរូបខាងក្រោម

តើខ្សែចម្លងទាំងពីរទាញគ្នាចូលឬច្រានគ្នាចេញ?



សៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់ RL

១. វត្ថុបំណង

- កំណត់មុំផាសនៃចរន្តអគ្គិសនីធៀបនិងតង់ស្យុង។
- បង្ហាញថាអាំងឌុចទ័រពិត មានអាំងឌុចតង់សុទ្ធ ហើយនិងរេស៊ីស្តង់សុទ្ធ r តជាស៊េរី។
- កំណត់តម្លៃ L និង r ពីអាំងឌុចទ័រដែលមិនស្គាល់។

២. ទ្រឹស្តី

ពិនិត្យសៀគ្វីពីរដូចរូបទី១ ដែលសៀគ្វីនេះមានជនិតារលក *(Wave generator)* ដែលមានប្រេកង់ f និងភ្ជាប់ទៅនឹងរេស៊ីស្តរ R បន្ទាប់មកភ្ជាប់ទៅនិងអាំងឌុចតង់សុទ្ធ L ជាច់ដោយឡែកពីគ្នា។ សន្មតថាជនិតាមានតង់ស្យុងអតិបរមា V_m និងបង្កើតតង់ស្យុងអតិបរមា V_m ឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរក្នុងសៀគ្វីក. វាក៏បង្កើតតង់ស្យុងអតិបរមា V_m ឆ្លងកាត់អាំងឌុចទ័រក្នុងសៀគ្វីខ. ដែរ។ តង់ស្យុងឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរទាក់ទងនឹងចរន្តឲ្យតាមរូបមន្តដូចចរន្តជាប់ដែរគឺ $V_R = IR$ (1)

បើ L ជាអាំងឌុចតង់ដែលមានខ្នាតគិតជាហង់រី (H) និង $\omega = 2\pi f$ ជាប្រេកង់មុំឬល្បឿនមុំនៃជនិតាគិតជារ៉ាដ្យង់ក្នុងមួយវិនាទី (rad/s) នោះទំនាក់ទំនងរវាង V_L និងចរន្ត I គឺ $V_L = I\omega L$ (2)

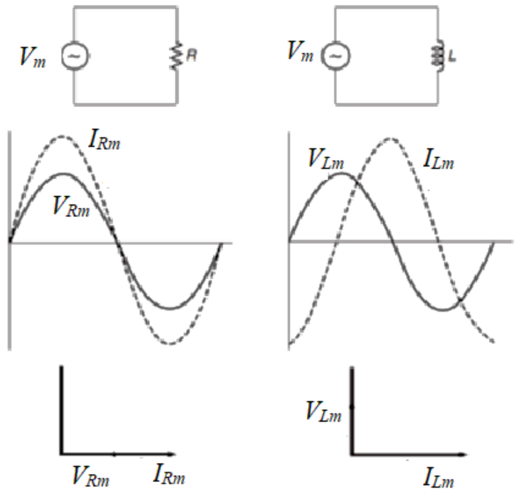
ទំហំ $\omega L = X_L$ ត្រូវបានគេហៅថា អាំប៉េដង់របស់អាំងឌុចទ័រ *(Inductive reactance)* មានខ្នាតជាអូម (Ω)។ កាលណាចរន្តឆ្លាស់ឬតង់ស្យុងឆ្លាស់ត្រូវបានវាស់ដោយប្រើឧបករណ៍ លេខអំណាននៃចរន្តឬតង់ស្យុងត្រូវគិតតម្លៃជាតម្លៃមធ្យមហៅថាតម្លៃប្រសិទ្ធនៃចរន្តឬតង់ស្យុងតាងដោយ(I_{rms} ឬ V_{rms})។ ទំនាក់ទំនងរវាង I_{rms} និង I_m (ចរន្តអតិបរមា) ឲ្យតាមរូបមន្ត

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \text{ ឬ } I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707\, I_m$$

ដូចគ្នាដែរចំពោះតង់ស្យុង

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \text{ ឬ } V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707\, V_m$$

ក្នុងពិសោធន៍នេះគេវាស់តែតង់ស្យុងប៉ុណ្ណោះ ហើយ តម្លៃរង្វាស់របស់វាជាតម្លៃប្រសិទ្ធ។

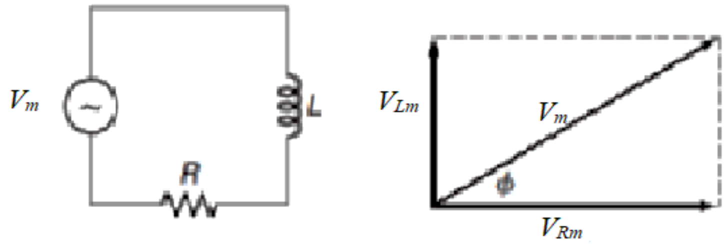


ក.   ខ.

រូបទី១ ជនិតានិងរេស៊ីស្តរ និងជនិតានិងអាំងឌុចទ័រ។ ទំនាក់ទំនងរវាងផាសតង់ស្យុងនិងចរន្ត និងសំណង់ប្រេណែលរបស់វា

រូបទី១ ខាងលើបង្ហាញពីសៀគ្វី និងក្រាបចរន្ត និងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់ជាតុក្នុងមួយខួបពេញ។ ក្រាបក្នុងករណីរេស៊ីស្តរបង្ហាញថាចរន្តឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរ I_{Rm} និងតង់ស្យុង V_{Rm} មានផាសដូចគ្នា។ សម្រាប់អាំងឌុចទ័រ ក្រាបបង្ហាញថា ចរន្តឆ្លងកាត់អាំងឌុចទ័រ I_{Lm} និងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់អាំងឌុចទ័រ V_{Lm} ខុសផាសគ្នា 90° ដែលតង់ស្យុងលឿនផាសជាងចរន្តចំនួន 90° ។

រូបទី១ ខាងក្រោមបំផុតតាងឲ្យសំណង់ប្រេណែលដែលបង្ហាញពីទំនាក់ទំនងផាស។ ក្នុងសំណង់ប្រេណែលវ៉ិចទ័រដែលគូសចេញ ប្រវែងរបស់វាសមាមាត្រទៅនឹងតម្លៃនៃទំហំដែលតាង ហើយប្រេកង់នៃជនិតាត្រូវបានសន្មតថាវិលតាមទិសដៅផ្ទុយពីរង្វិលទ្រនិចនាឡិកា។ នៅខណៈណាមួយ ចំណោលនៃវ៉ិចទ័ររង្វិលមួយលើអ័ក្ស y គឺជាតម្លៃខណៈនៃទំហំនោះ។ ចំពោះអាំងឌុចទ័រ វ៉ិចទ័រតាងតង់ស្យុងអាំងឌុចទ័រលឿនផាសជាងវ៉ិច ទ័រតាងចរន្តចំនួន 90° ។ ឥឡូវនេះចូរពិនិត្យមើលសៀគ្វីដែលមានអាំងឌុចតង់សុទ្ធ L (គ្មានរេស៊ីស្តង់ r) និងរេស៊ីស្តរ R តជាសេរីជាមួយនឹងជនិតាស៊ីនុយសូអ៊ីតដែលមានតង់ស្យុងអតិបរមា V_m បង្ហាញដូចរូបទី២ ។



រូបទី២ សៀគ្វីដែលមានអាំងឌុចទ័រ និងរេស៊ីស្តរតជាស៊េរី និងសំណង់ប្រេណែល

ចំពោះសៀគ្វីនេះ **ចរន្ត I_m មានតម្លៃដូចគ្នាគ្រប់ខណៈពេលទាំងអស់ក្នុងធាតុទាំងបីនៃសៀគ្វី**។ ចំណែកឯសំណង់ប្រេណែលបង្ហាញតែតង់ស្យុងប៉ុណ្ណោះ។ **វ៉ិចទ័រតាងឲ្យចរន្ត(មិនបានបង្ហាញទេ)មានទិសដៅដូចវ៉ិចទ័រ V_{Rm} ព្រោះចរន្តនិងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរមានផាសដូចគ្នា**។ ចំណាំថាតង់ស្យុងឆ្លងកាត់អាំងឌុចទ័រ V_{Lm} លឿនផាសជាងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរ V_{Rm} ចំនួន $90°$ និងតង់ស្យុងរបស់ជនិតា V_m លឿនផាសជាង V_{Rm} ចំនួនϕ ។ សំណង់ប្រេណែលនេះបង្ហាញថា តង់ស្យុងនៃជនិតាគឺជាផលបូកវ៉ិចទ័រនៃ V_{Rm} និង V_{Lm} ។

សមីការសរសេរ៖ $\vec{V}_m = \vec{V}_{Rm} + \vec{V}_{Lm}$ និង $V_m = \sqrt{(V_{Rm})^2 + (V_{Lm})^2}$ (3)

សំណង់ប្រេណែលបង្ហាញថាមុំផាស ϕ មានទំនាក់ទំនងនឹងតង់ស្យុង V_{Rm} និង V_{Lm} និងក៏មានទំនាក់ទំនងនឹង R និង ωL តាមសមីការ (1) និង(2)។ ទំនាក់ទំនងឲ្យដោយ៖

$$\tan\phi = \frac{V_{Lm}}{V_{Rm}} = \frac{L\omega}{R} \quad (4)$$

កត់សម្គាល់ថាសមីការ (4) មានតម្លៃតែចំពោះអាំងឌុចទ័រសុទ្ធដែលគ្មានរេស៊ីស្តង់ក្នុង។ អាំងឌុចទ័រពិតមានទាំងអាំងឌុចតង់ L និងរេស៊ីស្តង់ក្នុង r និងអាចត្រូវបានតាងដោយអាំងឌុចទ័រសុទ្ធ L តជាស៊េរីនឹងរេស៊ីស្តង់សុទ្ធ r។ រូបទី៣បង្ហាញពីអាំឌុចទ័រពិតតជាស៊េរីនិង រេស៊ីស្តរ R និងតង់ស្យុងជនិតា V_m ។ តង់ស្យុងរវាងចំណុច A និង B គឺជាតង់ស្យុងនៃជនិតា និងតង់ស្យុងរវាងចំណុច A និង C ជាតង់ស្យុងរេស៊ីស្តរ(ឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរ) V_{Rm} ។ រវាងចំណុច B និង C ជាតង់ស្យុងសរុប(ផ្ទួប)រវាងអាំងឌុចតង់ L និងរេស៊ីស្តង់ក្នុង r ។ តង់ស្យុងនេះតាងដោយ V_{ind} ។ មានតង់ស្យុងខ្លះទៀតដូចជា V_{Lm} ឆ្លងកាត់ L និង V_{rm} ឆ្លងកាត់ r ។ ប៉ុន្តែទោះបីជាយ៉ាងនេះក៏ដោយ យើងមិនអាចវាស់ V_{Lm} និង V_{rm} ដោយផ្ទាល់បានទេ។ ទំហំដែលអាចវាស់បានមានតែ V_{indm} ប៉ុណ្ណោះដែលជាផលបូកវ៉ិចទ័ររវាង V_{Lm} និង V_{rm} ។ សំណង់ប្រេណែលនៃសៀគ្វីបង្ហាញដូចរូបទី៣។

អនុវត្តច្បាប់កូស៊ីនុសចំពោះត្រីកោណដែលបង្កើតដោយ V, V_R, និង V_{ind} យើងបាន

$$\cos\phi = \frac{{V_m}^2 + {V_{Rm}}^2 - {V_{indm}}^2}{2V_m V_{Rm}} \quad (5)$$

សំណាង់ប្រេណែលក្នុងរូបទី៣ បង្ហាញថា តង់ស្យុង V_{Lm} និង V_{rm} អាចត្រូវបានកំណត់ពី V_m, V_{Rm} និង ϕ ដោយ

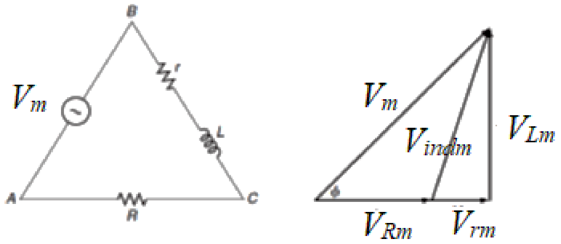
$$V_{Lm} = V_m \sin\phi\text{, និង } V_{rm} = V_m\cos\phi - V_{Rm} \quad (6)$$

ចរន្ត I_m មានតម្លៃដូចគ្នាទាំងអស់នៅក្នុងជាតុនៃសៀគ្វី និងវាទាក់ទងនឹងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់ជាតុនីមួយៗតាមសមីការខាងក្រោម

$$V_{Lm} = L\omega I_m, \quad V_{Rm} = RI_m, \quad V_{rm} = rI_m \quad (7)$$

ដែល ϕ, V_{Lm} និង V_{rm} ត្រូវបានកំណត់ពីសមីការ(5) និង(6) សមីការ (7) អាចត្រូវបានប្រើដើម្បីទាញរក ωL និង r។ ដោយបំបាត់ I_m យើងបាន

$$X_{Lm} = L\omega = \frac{RV_{Lm}}{V_{Rm}}, \qquad r = \frac{RV_{rm}}{V_{Rm}}$$



រូបទី៣ សៀគ្វីតជាស៊េរីរវាង L, r, R និង V_m (តង់ស្យុងគោលនៃប្រភព) និងសំណាង់ប្រេណែល

សម្គាល់៖

- សមីការ (5), (6), (7)អាចសរសេរតម្លៃអតិបរមាឬតម្លៃប្រសិទ្ធនិងអាចគូរក្រាបនៃរូបទី៣ក្រោមទម្រង់ជាតង់ស្យុងប្រសិទ្ធឬតង់ស្យុងអតិបរមាណាមួយក៏បានដែរ។

៣.សំណួរមុនពេលធ្វើពិសោធន៍

១. ក្នុងសៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់មួយដែលមានតែរេស៊ីស្តរមួយ តជាស៊េរីជាមួយនឹងប្រភពចរន្តឆ្លាស់ **គម្លាតផាសរវាងចរន្ត និងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរ**គឺ ក.ចរន្តលឿនផាសជាងតង់ស្យុង90^o ខ.ចរន្តយឺតផាសជាងតង់ស្យុង 90° គ. ចរន្ត និងតង់ស្យុងមានផាសដូចគ្នា ឃ.ចរន្តយឺតផាសជាងតង់ស្យុង ϕ ។

២. ក្នុងសៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់មួយដែលមានតែអាំងឌុចទ័រសុទ្ធមួយ តជាស៊េរីជាមួយនឹងប្រភពចរន្តឆ្លាស់ **គម្លាតផាសរវាងចរន្ត និងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់អាំងឌុចទ័រ**គឺ ក. ចរន្តលឿនផាសជាងតង់ស្យុង 90° ខ.ចរន្តយឺតផាសជាងតង់ស្យុង 90° គ. ចរន្ត និងតង់ស្យុងមានផាសដូចគ្នា ឃ.ចរន្តយឺតផាសជាងតង់ស្យុង ϕ ។

៣. ក្នុងសៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់មួយដែលមានរេស៊ីស្តរមួយ តជាស៊េរីជាមួយនឹងអាំងឌុចទ័រសុទ្ធមួយ និងប្រភពចរន្តឆ្លាស់ **គម្លាតផាសរវាងចរន្ត និងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់ប្រភព**គឺ ក. ចរន្តលឿនផាសជាងតង់ស្យុង 90° ខ.ចរន្តយឺតផាសជាងតង់ស្យុង 90° គ. ចរន្ត និងតង់ស្យុងមានផាសដូចគ្នា ឃ.ចរន្តយឺតផាសជាងតង់ស្យុង ϕ ។

៤. ចូរសរសេររូបមន្តអាំប៉េដង់របស់អាំងឌុចទ័រក្នុងសៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់មួយដែលមានតែអាំងឌុចទ័រសុទ្ធមួយ តជាស៊េរីជាមួយនឹងប្រភពចរន្តឆ្លាស់។

៥. ចូរសរសេររូបមន្តអាំប៉េដង់សរុបរបស់សៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់មួយដែលមានរេស៊ីស្តរមួយ តជាស៊េរីជាមួយនឹងអាំងឌុចទ័រសុទ្ធមួយ និងប្រភពចរន្តឆ្លាស់។

៦. ចូរសរសេររូបមន្តអាំប៉េដង់សរុបរបស់សៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់មួយដែលមានរេស៊ីស្តរមួយ តជាស៊េរីជាមួយនឹងអាំងឌុចទ័រពិតមួយ និងប្រភពចរន្តឆ្លាស់។

៧. ជនិតាចរន្តឆ្លាស់មួយមានតង់ស្យុងអតិបរមា 5.00 V គណនាតង់ស្យុងប្រសិទ្ធរបស់វា។

៨. ជនិតាចរន្តឆ្លាស់មួយមានចរន្តអតិបរមា 3.00 A គណនាចរន្តប្រសិទ្ធរបស់វា។

៩. ជនិតាចរន្តឆ្លាស់មួយមានប្រេកង់ $f = 800$ Hz តជាស៊េរីជាមួយនិងអាំងឌុចទ័រសុទ្ធដែលមានអាំងឌុចតង់ 100 mH និងតង់ស្យុងអតិបរមារវាងគោលរបស់វាគឺ 12.0 V ។ គណនាចរន្តប្រសិទ្ធ។

១០. ជនិតាចរន្តឆ្លាស់មួយមានតង់ស្យុងអតិមរមា V_m តជាស៊េរីនិងអាំងឌុចទ័រសុទ្ធ L និងរេស៊ីស្តរ R។ តង់ស្យុងអតិបរមានៃគោលអាំងឌុចទ័រគឺ $V_{Lm} = 6.00\,V$ និងតង់ស្យុងអតិបរមានៃគោលរេស៊ីស្តរគឺ $V_{Rm} = 8.00\,V$ ។ គណនាតង់ស្យុងអតិមរមា V_m ជនិតាចរន្តឆ្លាស់។

១១. រេស៊ីស្ទរមួយមានរេស៊ីស្តង់ 500Ω និងអាំងឌុចទ័រពិតមួយមានអាំងឌុចតង់សុទ្ធ L និងរេស៊ីស្តង់ក្នុង r តជាស៊េរីជាមួយនឹងជនិតាមួយដែលមានតង់ស្យុង $V_m = 10.0$ V និងប្រេកង់មុំ $\omega = 1000$ rad/s ។ តង់ស្យុងឆ្លងកាត់អាំងឌុចទ័រពិតត្រូវបានវាស់ឃើញស្មើនឹង 4.73 V និងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តង់ 500Ω ត្រូវបានវាស់ឃើញស្មើនឹង 6.57 V ។ គណនាតម្លៃ L និង r ។

៤. តម្រូវការសម្ភារ

ជនិតាស៊ីនុយសូអ៊ីត(ប្រេកង់ប្រែប្រួល និងអំព្លីទុត 5V), ប្រអប់រេស៊ីស្តង់, អាំងឌុចទ័រ 100 mH (រេស៊ីស្តង់ប្រហែល 350 Ω ដើម្បីធ្វើជារេស៊ីស្តង់មិនស្គាល់), វ៉ុលមែត្រចរន្តឆ្លាស់(ជាឌីជីថល និងអាចវាស់ប្រេកង់ខ្ពស់បាន), ដែកឈាន និងម៉ែត្រសំរាប់វាស់មុំ(Protractor)

៥. ដំណើរការ

ក. ភ្ជាប់អាំងឌុចទ័រជាស៊េរីជាមួយនិងជនិតាស៊ីនុយសូអ៊ីត និងរេស៊ីស្តង់ដើម្បីបង្កើតជាសៀគ្វីបង្ហាញដូចរូបទី៣។

ខ. ដាក់(មួល)ជនិតាទៅកាន់ប្រេកង់ខ្ពស់ 800 Hz ។

គ. ដាក់(ប្រអប់)រេស៊ីស្តង់ទៅកាន់តម្លៃ 400 Ω ។ កត់ត្រាតម្លៃរេស៊ីស្តង់ និងប្រេកង់នេះក្នុងតារាងទិន្នន័យខាងក្រោម។

ឃ. ប្រើវ៉ុលម៉ែត្រចរន្តឆ្លាស់ដើម្បីវាស់តង់ស្យុងជនិតា(V), តង់ស្យុងអាំងឌុចទ័រ(ពិត)(V_{ind}), និងតង់ស្យុងនៃរេស៊ីស្ទរ (V_R) ។ កត់ត្រាតម្លៃរបស់វាក្នុងតារាងទិន្នន័យខាងក្រោម។

ង. ធ្វើឡើងវិញពីជំហានក.ដល់ឃ. ចំពោះតម្លៃរេស៊ីស្តង់ 600 Ω, 800 Ω និង 1000 Ω ។ ទោះបីជាជនិតាបានដាក់ទៅតង់ស្យុងអតិបរមាក៏ដោយ ក៏តង់តង់ស្យុងចេញរបស់វាអាចមានការប្រែប្រួលបន្តិចបន្តួចទៅតាមបម្រែបម្រួលនៃរេស៊ីស្តង់ R ។ **ដូច្នេះត្រូវវាស់តង់ស្យុងទាំងបីចំពោះតម្លៃនៃរេស៊ីស្តង់នីមួយៗ។**

ច. ចូរកត់សម្គាល់ឲ្យបានច្បាស់លាស់ចំពោះអាំងឌុចទ័រដែលបានប្រើ និងតម្លៃ L និង r ដែលបានកំណត់ ព្រោះអ្នកអាចប្រើវាទៀតនៅពេលក្រោយ។

- ដំបូន្មានក្នុងការគណនា

  ក. ដោយស្គាល់តម្លៃប្រេកង់ f ចូរគណនាតម្លៃប្រេកង់មុំ ω ដែល $\omega = 2\pi f$ រួចកត់ត្រាវាដាក់ក្នុងតារាងគណនាខាងក្រោម។

  ខ. ប្រើសមីការដើម្បីគណនា $\cos\phi,\ \phi, V_L, V_r, X_L = L\omega, L$ និង r រួចកត់ត្រាតម្លៃរបស់វាដាក់ក្នុងតារាងគណនាខាងក្រោម។

គ. គណនាតម្លៃមធ្យម និងកម្រិតល្អៀងស្តង់ដារបស់ L និង r រួចកត់ត្រាចូលក្នុងតារាងគណនាខាងក្រោម។

❖ ដំបូន្មានក្នុងការគូរក្រាប

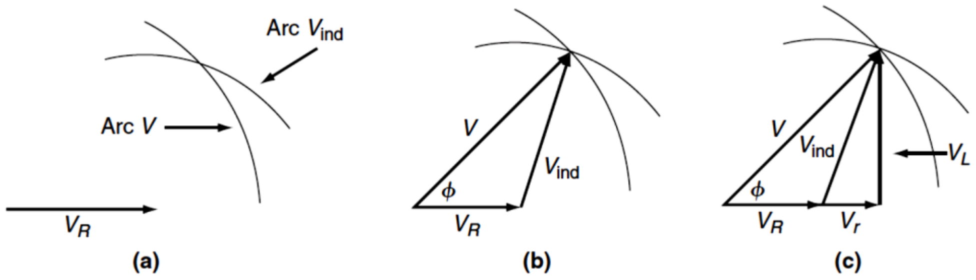
ក. សង់សំណង់ប្រេណៃលដោយប្រើមាត្រដ្ឋានដូចបង្ហាញក្នុងរូបទី៤ខាងក្រោម។ ប្រើក្រដាសគូរក្រាប និងគូរជ្យាក្រាមបួនផ្សេងគ្នាលើក្រដាសតែមួយ។

ខ. ប្រើមាត្រដ្ឋានសមស្រប(ឧទាហរណ៍ $1.00\ \mathrm{V/cm}$) ដូចនេះយើងបានក្រាបធំសមស្រប។

គ. ដំបូងសង់វ៉ិចទ័រមួយតាមបណ្តោយអ័ក្ស x ដែលអាំងតង់ស៊ីតេរបស់វាស្មើនឹងតម្លៃរបស់ V_R ដូចបង្ហាញដូចរូបទី៤ ។

ឃ. ប្រើដែកឈានដើម្បីគូសធ្នូវង់មួយ ដោយគូសចេញពីចុង V_R ដែលមានកាំស្មើនឹងតម្លៃ V_{ind} និងគូសធ្នូវង់មួយទៀតដោយចេញពីគល់ V_R ទៅកាត់នឹងធ្នូវង់មុន។ កាំនៃធ្នូវង់ក្រោយនេះស្មើនឹងតម្លៃនៃ V ។

ម៉្យាងទៀត $\vec{V}_{ind} = \vec{V}_r + \vec{V}_L$ (រូបទី៤)។



រូបទី៤ សំណង់ប្រេណៃល

សម្គាល់៖ អ្នកអាចគូរក្រាបនេះក្រោមទម្រង់ជាតង់ស្យុងប្រសិទ្ធឬតង់ស្យុងអតិបរមាណាមួយក៏បានដែរ។

៦. លទ្ធផល

តារាងទិន្នន័យ

ប្រេកង់ $f=$ 800 Hz				
$R\,(\Omega)$	400	600	800	1000
V (V)				
V_R (V)				
V_{ind} (V)				

តារាងគណនា

ល្បឿនមុំ $\omega = 2\pi f = \quad 1600\pi \quad rad/s$				
$\cos\phi$				
ϕ (ដឺក្រេ)				
V_L(V)				
V_r(V)				
r (Ω)				
L (H)				
$\bar{r} =$ (Ω)	$\alpha_r =$ (Ω)	$\bar{L} =$ (H)	$\alpha_L =$ (H)	

❖ ការគណនាគំរូ

ក. $\omega = 2\pi f =$

ខ. $\cos\phi = \dfrac{V^2 + {V_R}^2 - {V_{ind}}^2}{2VV_R} =$

គ. $\cos\phi =$ $\quad\quad\quad\quad$ $, \phi =$

ឃ. $V_L = V\sin\phi =$

ង. $V_r = V\cos\phi - V_R =$

ច. $L = \dfrac{RV_L}{\omega V_R} =$

ឆ. $r = \dfrac{RV_r}{V_R}$

ជ. $L = \dfrac{X_L}{\omega} =$

៧. សន្និដ្ឋាន

ផ្អែកលើលទ្ធផលពិសោធន៍ខាងលើយើងបាន (មុំផាសនៃចរន្តអគ្គិសនីធៀបនិងតង់ស្យុង)ϕ, V_{ind} អាចត្រូវបានគណនា ហើយ $\bar{L} =$ …………………., និង $\bar{r} =$ ……………………… និង V_{ind}មាន L និង r តជា……………………។ ដូចនេះសម្មតិកម្ម(វត្ថុបំណង)ត្រូវបានគាំដោយពិសោធន៍។

៨. ពិភាក្សា

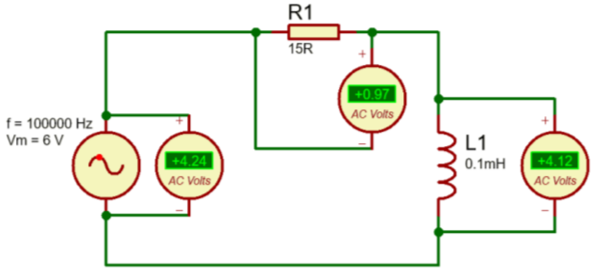
១. ចូររៀបរាប់ពីភាពជាក់លាក់(Precision) នៃរង្វាស់ L និង r ដោយបង្ហាញកស្តុតាងរបស់អ្នក។

២. ពិនិត្យសំណង់ប្រហែលដែលបានសង់រួច។ ដោយប្រើឧបករណ៍វាស់មុំ(Protractor) ចូរវាស់មុំϕ, $\phi =$ ……….. និងប្រៀបធៀបវាទៅនឹងតម្លៃដែលបានគណនា រួចគណនាកកម្រិតល្អៀងរបស់វា។

៣. បើអ្នកតអាំងឌុចទ័រជាស៊េរីជាមួយនិងរេស៊ីស្តង់ $R = 10000\,\Omega = 10\,\text{k}\Omega$ និងប្រើ $\omega = 100\,000\,\text{rad/s}$ មានន័យថាប្រើ ប្រេកង់ប្រហែល $f = 16$ kHz តើតម្លៃ ϕ នឹងទៅជាយ៉ាងណា? ករណីនេះ $r << R$។

៤. ប្រើរេស៊ីស្តង់ $R = 600\,\Omega$ និងគណនាចរន្តឆ្លងកាត់សៀគ្វីពីសមីការទី(7)ទាំងបី រួចប្រៀបធៀបគ្នា។

៥. បើអ្នកមានអាំងឌុចតង់តែ 0.100 mH និងចង់ធ្វើពិសោធន៍នេះឲ្យជោគជ័យ តើអ្នកគួរប្រើ រេស៊ីស្តង់ R និងប្រេកង់ប្រហែលប៉ុន្មាន? (**ណែនាំ៖** អ្នកគួរប្រើរេស៊ីស្តង់ឲ្យតូច($R \sim 15\,\Omega$ ឬតូចជាង)ដើម្បីបាន V_R តូច និងប្រេកង់ឲ្យធំ($f \sim 10^5$Hz) ដើម្បីបាន $Vind$ ធំ។ ការធ្វើបែបនេះអ្នកនឹងទទួលបាន $V_R < Vind$) បង្ហាញដូចរូបខាងក្រោម។



សៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់RC និង RLC

១. វត្ថុបំណង

- កំណត់ទំនាក់ទំនងផាសរវាងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរ (V_R) និងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់កុងដង់សាទ័រ (V_C) ក្នុងសៀគ្វី *RC*។
- កំណត់តម្លៃកាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រក្នុងសៀគ្វី *RC*។
- កំណត់ទំនាក់ទំនងផាសរវាងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរ (V_R) តង់ស្យុងឆ្លងកាត់អាំងឌុចទ័រ (V_L) និងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់កុងដង់សាទ័រ (V_C) ក្នុងសៀគ្វី *RLC*។
- កំណត់ទំនាក់ទំនងផាសរវាងតង់ស្យុងនៃគោលជនិតា(V) និងចរន្ត(I) ឆ្លងកាត់សៀគ្វី *RLC*។

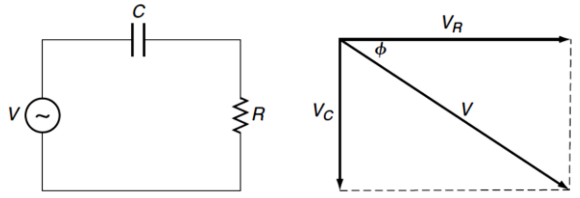
២. ទ្រឹស្តី

❖ សៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់ *RC*

សៀគ្វីតជាស៊េរីដែលរួមមាន កុងដង់សាទ័រ C រេស៊ីស្តរ R និងជនិតាស៊ីនុយសូអ៊ីតដែលមានប្រេកង់ f បង្ហាញដូចរូបទី១.១។ សំណង់ប្រេណែលបង្ហាញពីជនិតាតង់ស្យុង V តង់ស្យុងឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរ V_R និងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់កុងដង់សាទ័រ V_C។ **សន្មតថាតង់ស្យុងទាំងអស់ដែលបានពោលមកនេះជាតង់ស្យុងប្រសិទ្ធ**។ តង់ស្យុង V_R និង V_C មានផាសខុសគ្នា 90° និងតង់ស្យុង V, V_R និង V_C បង្កើតបានត្រីកោណកែងដូចបង្ហាញក្នុងរូបទី១.១។ សមីការរបស់វាជាអាំងតង់ស៊ីតេក្នុងសៀគ្វី *RC* ឲ្យដោយ

$$V = \sqrt{V_R{}^2 + V_C{}^2} \qquad (1)$$

សមីការ (1) មានតម្លៃចំពោះតែកុងដង់សាទ័រសុទ្ធដែលគ្មានកំប៉ូសង់ទប់(No resistive component) ។ បើរង្វាស់លើកុងដង់សាទ័រពិតបង្ហាញភាពត្រូវគ្នានឹងសមីការ (1) វាបង្ហាញថាកុងដង់សាទ័រគ្មានកំប៉ូសង់ទប់ទេ។



រូបទី១.១ សៀគ្វី *RC* និងសំណង់ប្រណែលនៃតង់ស្យុង

ក្នុងសៀគ្វី *RC* ចរន្ត I មានតម្លៃដូចគ្នាទាំងអស់ក្នុងធាតុនីមួយៗនៃសៀគ្វី ហើយទំនាក់ទំនងរវាងតង់ស្យុងនិងចរន្តចំពោះរេស៊ីស្តរ និងកុងដង់សាទ័រឲ្យដោយ៖

$$V_R = RI \quad \text{និង} \quad V_C = X_C I = \frac{I}{C\omega}, \quad X_C = 1/C\omega \qquad (2)$$

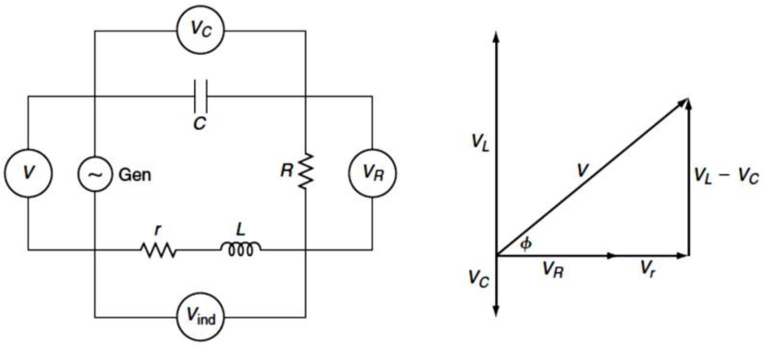
ទំហំ $X_C = 1/C\omega$ ហៅថារេអាក់តង់នៃកុងដង់សាទ័រ ឬអាំប៉េដង់នៃកុងដង់សាទ័រ និងមានខ្នាតជាអូម(Ω)។ បើបំបាត់ចរន្តចេញពីសមីការ យើងបាន

$$C = \left(\frac{1}{\omega R}\right)\left(\frac{V_R}{V_C}\right) \quad (3)$$

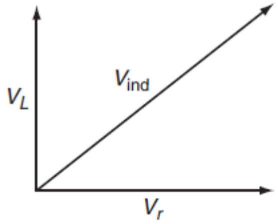
ដូច្នេះតម្លៃកាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រដែលមិនស្គាល់អាចត្រូវបានគណនាចេញពីសមីការ (3) បើω និង R ស្គាល់ និងV_RនិងV_C ត្រូវបានវាស់ឃើញ។

❖ សៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់ *RLC*

ពិនិត្យសៀគ្វី *RLC* តជាស៊េរីបង្ហាញដូចរូបទី១.២ ដែលមានជនិតាតង់ស្យុង *V* មួយ រេស៊ីស្តរ *R* មួយ កុងដង់សាទ័រ *C* មួយ និងអាំងឌុចទ័រមួយមានអាំងឌុចតង់ *L* និងរេស៊ីស្តង់ក្នុង *r* ។ សន្មតថាកុងដង់សាទ័រគ្មានរេស៊ីស្តង់។ រូបទី១.២ក. បង្ហាញពីសំណង់ប្រេណែលនៃតង់ស្យុង V, V_R, V_C, V_L និង V_r ។ តាមរូបបង្ហាញថាV_L និង V_C ខុសផាសគ្នា 180° និង V_R និង V_r មានផាសដូចគ្នា។



រូបទី១.២ សៀគ្វី *RLC* ត



រូបទី១.៣ សំណង់ប្រេណែល V_V និង V_r

ទំហំ $V_L - V_C, V$ និង $V_R + V_r$បង្កើតជាត្រីកោណកែងឲ្យដោយ

$$V = \sqrt{(V_L - V_C)^2 + (V_R + V_r)^2} \quad (4)$$

គេមិនអាចវាស់ V_L ឬ V_r ដោយផ្ទាល់បានទេ។ ប៉ុន្តែគេអាចវាស់តង់ស្យុងផ្តួប (V_{ind}) រវាងគោលអាំងឌុចទ័រដែលមាន *L* និង *r* តជាស៊េរីបាន។

$$V^2{}_{ind} = V_L{}^2 + V_r{}^2 \quad (5)$$

ចរន្ត *I* ក្នុងសៀគ្វីមានតម្លៃដូចគ្នាក្នុងធាតុនីមួយៗនៃសៀគ្វី។ V_L និង V_r អាចសរសេរបានដូចខាងក្រោម៖

$$V_L = X_L I = L\omega\, I, \quad \text{និង} \quad V_r = r\, I \quad (6)$$

ដោយ $I = \frac{\mathrm{V_{ind}}}{\mathrm{Z_{Lr}}} = \frac{\mathrm{V_{ind}}}{\sqrt{(L\omega)^2 + r^2}}$ យើងបាន

$$V_L = V_{ind}\frac{\omega L}{\sqrt{(L\omega)^2 + r^2}} \quad \text{និង } V_r = V_{ind}\frac{r}{\sqrt{(L\omega)^2 + r^2}} \quad (7)$$

សន្មតថា ω, L និង r ស្គាល់ សមីការ(7)ត្រូវបានប្រើដើម្បីកំណត់ V_L និង V_r បើ V_{ind} ត្រូវបានវាស់។ តម្លៃនៃ V_L និង V_r រួមគ្នានិង V_R និង V_C ដែលបានវាស់អាចឲ្យយើងកំណត់បាននូវតម្លៃ V ក្នុងសមីការ(4)។

៣. សំណួរមុនចូលទីពិសោធន៍

១. ក្នុងសៀគ្វី RC តជាស៊េរីបង្ហាញដូចរូបទី១.១ ទំនាក់ទំនងផាសរវាងតង់ស្យុងនៃជនិតា V, តង់ស្យុងនៃកុងដង់សាទ័រ V_C និងតង់ស្យុងនៃរេស៊ីស្តរ V_R គឺ

(ក) V និង V_R មានផាសដូចគ្នា, V_C យឺតផាសជាង V ចំនួន 90°

(ខ) V_C និង V_R មានផាសខុសគ្នាចំនួនϕ, V_C យឺតផាសជាង V ចំនួន 90°

(គ) V_C យឺតផាសជាង V_R ចំនួន 90°, V យឺតផាសជាង V_R ចំនួនϕ

(ឃ) V_R យឺតផាសជាង V_C ចំនួនϕ, V_C លឿនផាសជាង V ចំនួន 90°

២. បើសៀគ្វី RC តជាស៊េរីមាន $V_R = 10.0\text{ V}$, និង$V_C = 6.63\text{ V}$ តង់ស្យុងនៃគោលជនិតាស្មើនឹង

(ក) 12.6 V (ខ) 16.6 V (គ) 3.37 V (ឃ) 12.0 V

៣. សៀគ្វី RC តជាស៊េរីមាន$\omega = 2000\text{ rad/s}$ និង $R = 300\ \Omega$ ។ តង់ស្យុង V_C ត្រូវបានវាស់ឃើញស្មើនឹង 4.76 V និងតង់ស្យុង V_R ត្រូវបានវាស់ឃើញស្មើនឹង 4.78 V។ គណនាកាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រ។

៤. សៀគ្វី RC តជាស៊េរីមាន$R = 500\ \Omega$ និង $C = 3.00\ \mu\text{F}$ ។ តង់ស្យុងរបស់វាត្រូវបានវាស់ឃើញ$V_R = 8.07\text{V}$ និង$V_C = 6.68\text{V}$ ។ គណនាចរន្ត I និងប្រេកង់មុំ ω ។

៥. សៀគ្វី RLC តជាស៊េរីមានអាំងឌុចទ័រមួយដែលមានអាំងឌុចតង់L និងរេស៊ីស្តង់ r កុងដង់សាទ័រកាប៉ាស៊ីតេC រេស៊ីស្តរ R និងជនិតាដែលមានតង់ស្យុង V។ ចូរជ្រើសរើសត្រូវឬខុសចំពោះពំនោលខាងក្រោម។

(ក) V_R និងV_r មានផាសដូចគ្នា។

(ខ) V_L លឿនផាសជាង V_C ចំនួន 90°។

(គ) V បង្កើតបានមុំផាស ϕធៀបនឹងV_R។

(ឃ) $V_L - V_C$ មានផាសដូចគ្នាnនឹង V_R។

(ង) V_C យឺតផាសជាង V_R ចំនួន 90°។

៦. សៀគ្វី RLC តជាស៊េរីមានអាំងឌុចទ័រមួយដែលមានអាំងឌុចតង់L និងរេស៊ីស្តង់ r កុងដង់សាទ័រកាប៉ាស៊ីតេC រេស៊ីស្តរ R និងជនិតាដែលមានតង់ស្យុង V។ គេឲ្យ $V_L = 10.76\text{ V}$, $V_C = 5.68\text{ V}$, $V_R = 6.32\text{ V}$, និង $V_r = 3.75\text{ V}$ គណនាតង់ស្យុងនៃជនិតា។

៧. អាំងឌុចទ័រមួយមានអាំងឌុចតង់ $L = 150\ \mathrm{mH}$ និង$r = 200\ \Omega$ តជាស៊េរីនឹងកុងដង់សាទ័រមួយ រេស៊ីស្តរមួយនិងជនិតាមួយដែលមានប្រេកង់មុំ$\omega = 1000\ \mathrm{rad/s}$។ តង់ស្យុងឆ្លងកាត់អាំងឌុចទ័រត្រូវបានវាស់ឃើញគឺ $V_{ind} = 10.87\ \mathrm{V}, V_R = 4.65\ \mathrm{V}$ និង$V_C = 5.96\ \mathrm{V}$ ។ ដោយប្រើសមីការត្រឹមត្រូវ កំណត់V_L, V_rនិងV។

៤. តម្រូវការសម្ភារ

- ជនិតាស៊ីនុយសូអ៊ីត (ប្រេកង់ប្រែប្រួល អំព្លីទុតកំពូល-កំពូល 5V)
- ប្រអប់រេស៊ីស្តង់
- អាំងឌុចទ័រដែលស្គាល់អាំងឌុចតង់$L = 100\ \mathrm{mH}$ និង r(គប្បីប្រើពីពិសោធន៍មុនព្រោះស្គាល់តម្លៃហើយ)
- កុងដង់សាទ័រមាន $C = 1.00\ \mu\mathrm{F}$
- ដែកឈាន និងបន្ទាត់សម្រាប់គូរមុំ
- វ៉ុលម៉ែត្រចរន្តឆ្លាស់ (មុលទីម៉ែត្រលេខ អាចវាស់ប្រេកង់ខ្ពស់បាន)

៥. ដំណើរការ

- **ចំពោះសៀគ្វី *RC***

ក. ភ្ជាប់កុងដង់សាទ័រជាស៊េរីនឹងជនិតាស៊ីនុយសូអ៊ីត និងប្រអប់រេស៊ីស្តង់ដើម្បីបង្កើតជាសៀគ្វីបង្ហាញដូចរូបទី១.១។ ដាក់ជនិតាចេញ (Generator output)ទៅតង់ស្យុងអតិបរមា និងប្រើប្រេកង់ 250Hz ។ កត់ត្រាតម្លៃប្រេកង់នេះដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យទី១។ ប្រើរេស៊ីស្តង់ 300 Ω (ពីប្រអប់រេស៊ីស្តង់) និងកត់ត្រាតម្លៃវាដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យទី១។

ខ. ប្រើវ៉ុលម៉ែត្រចរន្តឆ្លាស់ដើម្បីវាស់តង់ស្យុង និងកត់ត្រាតម្លៃដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យត្រង់តង់ស្យុងនៃជនិតា V, តង់ស្យុងនៃកុងដង់សាទ័រV_C, និងតង់ស្យុងនៃរេស៊ីស្តរ V_R។

គ. ធ្វើចំណុចក. និងខ. ឡើងវិញចំពោះករណី $R = 500\ \Omega, 700\ \Omega$ និង $900\ \Omega$ ។ តង់ស្យុងចេញនៃជនិតាអាចប្រែប្រួលតិចតួចតាមបម្រែបម្រួលR។ដូចនេះត្រូវវាស់តង់ស្យុងទាំងអស់ចំពោះតម្លៃនីមួយៗនៃ R។

ឃ.យកតម្លៃកាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រពីលោកគ្រូរបស់អ្នកនិងសរសេរវាជាកុងដង់សាទ័រស្គាល់ (C_k)។

- **ចំពោះសៀគ្វី *RLC***

ក. បង្កើតសៀគ្វី *RLC*តជាស៊េរីដូចបង្ហាញក្នុងរូបទី១២.២ ដោយប្រើកុងដង់សាទ័រ(C_k)មុន អាំងឌុចទ័រត្រូវស្គាល់តម្លៃLនិង rប្រអប់រេស៊ីស្តង់ និងជនិតាស៊ីនុយសូអ៊ីត។ កត់ត្រាតម្លៃដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យទី២។

ខ.ដាក់ជនិតាចេញ (Generator output)ទៅតង់ស្យុងអតិបរមា និងប្រើប្រេកង់ 800Hz។ ប្រើរេស៊ីស្តង់ 200Ω (ពីប្រអប់រេស៊ីស្តង់) និងកត់ត្រាតម្លៃតម្លៃប្រេកង់និងរេស៊ីស្តង់ដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យទី២។

គ. ប្រើវ៉ុលម៉ែត្រចរន្តឆ្លាស់ដើម្បីវាស់តង់ស្យុងនៃជនិតា *V*, តង់ស្យុងនៃកុងដង់សាទ័រV_C, តង់ស្យុងនៃរេស៊ីស្តរ V_R,និងតង់ស្យុងនៃអាំងឌុចទ័រV_{ind}។ កត់ត្រាតម្លៃដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យទី២។
ឃ. ធ្វើចំណុចក. ខ.និងគ. ឡើងវិញចំពោះ $R = 200\,\Omega$ និង *f*= 600 Hz។
ង. ធ្វើចំណុចក. ខ.និងគ. ឡើងវិញពីរដងទៀត ម្តង $R = 300\,\Omega$ និង *f*= 600 Hz និងម្តងទៀត $R = 300\,\Omega$ និង *f*= 800 Hz ។

ការគណនា

❖ **ចំពោះសៀគ្វី *RC***

ក. ពីតម្លៃប្រេកង់ *f*ដែលស្គាល់ គណនាប្រេកង់មុំ $\omega = 2\pi f$។ កត់ត្រាតម្លៃ ω ដាក់ក្នុងតារាងគណនាទី១។
ខ. គណនាទំហំ $\sqrt{V_C^2 + V_R^2}$ ចំពោះករណីនីមួយៗ និងកត់ត្រារបស់វាដាក់ក្នុងតារាងគណនាទី១។ គណនាកម្រិតល្អៀងភាគរយនៃតម្លៃនីមួយៗដោយប្រៀបធៀបនឹងតម្លៃរង្វាស់តង់ស្យុងនៃជនិតា និងកត់ត្រាវាដាក់ក្នុងតារាងគណនាទី១។
គ. គណនាតម្លៃ *C* ពីតម្លៃV_RនិងV_Cដែលបានវាស់ចំពោះតម្លៃ *R*នីមួយៗ។ កត់ត្រាតម្លៃ *C* នីមួយៗក្នុងតារាងគណនាទី១។ គណនាតម្លៃមធ្យមនៃកាប៉ាស៊ីតេ($\overline{C}$) និងកម្រិតល្អៀងស្តង់ដា(α_C)ចំពោះតម្លៃបួននៃ *C* និងកត់ត្រាវាដាក់ក្នុងតារាងគណនាទី១។
ឃ. គណនាកម្រិតល្អៀងភាគរយនៃតម្លៃ ($\overline{C}$)ដោយប្រៀបធៀបទៅនឹងតម្លៃ(C_k)។

❖ **ចំពោះសៀគ្វី *RLC***

ក. ពីតម្លៃ *f* ដែលស្គាល់ក្នុងករណីនីមួយៗ គណនាប្រេកង់មុំ $\omega = 2\pi f$។ កត់ត្រាតម្លៃ ω ដាក់ក្នុងតារាងគណនាទី២។
ខ. គណនាតម្លៃទាំងបួននៃ V_Lនិង V_r និងកត់ត្រាតម្លៃវាដាក់ក្នុងតារាងគណនាទី២។
គ.គណនាតម្លៃទាំងបួននៃ $V_L - V_C$និង $V_R + V_r$ និងកត់ត្រាតម្លៃវាដាក់ក្នុងតារាងគណនាទី២។
ឃ. គណនាតម្លៃនៃទំហំ $\sqrt{(V_L - V_C)^2 + (V_R + V_r)^2}$នីមួយៗនៃករណីទាំងបួន និងកត់ត្រាតម្លៃវាដាក់ក្នុងតារាងគណនាទី២។
ង. គណនាកម្រិតល្អៀងភាគរយនៃទំហំ$\sqrt{(V_L - V_C)^2 + (V_R + V_r)^2}$ដោយប្រៀបធៀបទៅនឹងតម្លៃដែលបានវាស់របស់តង់ស្យុងនៃជនិតា *V*។ កត់ត្រាតម្លៃនៃកម្រិតល្អៀងភាគរយដាក់ក្នុងតារាងគណនាទី២។

៦. លទ្ធផល

តារាងទិន្នន័យទី១(សៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់ *RC*)

ប្រេកង់ *f* = 250 Hz	$C_k =$ 1.0 μF

R (Ω)	300	500	700	900
V_R (V)				
V_C (V)				
V (V)				

តារាងគណនាទី១(សៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់ RC)

$\omega = 2\pi f = \quad 500\,\pi \quad$ rad/s				
$V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$				
% Error				
C (μF) $=\left(\frac{1}{\omega R}\right)\left(\frac{V_R}{V_C}\right)$				
$\bar{C}$= μF	$\alpha_C =$ μF	% Error $\bar{C}$= %		

តារាងទិន្នន័យទី២(សៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់ RLC)

r = 1.74 Ω	L = 0.100 H	C = 1.00 μF		
f (Hz)	800	600	600	800
R (Ω)	200	200	300	300
V (V)				
V_{ind} (V)				
V_C (V)				
V_R (V)				

តារាងគណនាទី២(សៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់ RLC)

ω(Rad/s)	1600п	1200п	1200п	1600п
$V_L(\mathrm{V}) = V_{ind}\dfrac{\omega L}{\sqrt{(L\omega)^2 + r^2}}$				
$V_r(\mathrm{V}) = V_{ind}\dfrac{r}{\sqrt{(L\omega)^2 + r^2}}$				
$(V_L - V_C)(\mathrm{V})$				
$(V_R + V_r)(\mathrm{V})$				

$\sqrt{(V_L - V_C)^2 + (V_R + V_r)^2}$ (V)				
% Error ធៀបទៅ V				
$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{V_L - V_C}{V_R + V_r}\right)$ (ដឺក្រេ)				
អាំប៉េដង់ផ្ទួបនៃសៀគ្វី Z = $\sqrt{(R + r)^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$				

❖ ការគណនាគំរូ

1. $\omega = 2\pi f =$
2. $V = \sqrt{V_C^2 + V_R^2} =$
3. $C = (1/\omega R)(V_R/V_C) =$
4. $V_L = (V_{\text{ind}})\left(\omega L/\sqrt{(\omega L)^2 + r^2}\right) =$
5. $V_r = (V_{\text{ind}})\left(r/\sqrt{(\omega L)^2 + r^2}\right) =$
6. $V = \sqrt{(V_L - V_C)^2 + (V_R + V_r)^2} =$

៧. សន្និដ្ឋាន

តាមលទ្ធផលពិសោធន៍ខាងលើ យើងឃើញថា **ក្នុងសៀគ្វី** *RC* ផាសរវាងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរ (V_R) និង តង់ស្យុងឆ្លងកាត់កុងដង់សាទ័រ (V_C) ខុសគ្នាចំនួន…………….និង(V_R) …………………ជាង(V_C) ចំនួន…………។

កាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រមានតម្លៃ *C* = ……………… ដូចនេះមានន័យថាវាអាចត្រូវបានគណនា។

ចំណែកឯ**ក្នុងសៀគ្វី** *RLC* ផាសរវាងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរ (V_R) និងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់អាំងឌុចទ័រ (V_L) ខុសគ្នាចំនួន…………….និង(V_R) …………………ជាង(V_L)ចំនួន…………។ ផាសរវាងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរ (V_R)និងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់កុងដង់សាទ័រ (V_C) ខុសគ្នាចំនួន…………….និង(V_R) …………………ជាង(V_C)ចំនួន…………។ ម្យ៉ាងវិញទៀតផាសរវាងតង់ស្យុងនៃគោលជនិតា(V) និងចរន្ត(I) ឆ្លងកាត់សៀគ្វីអាចត្រូវបានរកឃើញតាមទំនាក់ទំនង $\phi = \tan^{-1}\left(\frac{V_L - V_C}{V_R + V_r}\right)$។ ដូចនេះមានទំនាក់ទំនងផាសរវាង(V_R), (V_L) និង(V_C) និង (V) និងចរន្ត(I) អាចត្រូវបានកំណត់ មានន័យថាសម្មតិកម្មត្រូវបានគាំទ្រដោយពិសោធន៍។

៨. ពិភាក្សា

ក. ក្នុងសៀគ្វី *RC* ខាងលើ ផាសរវាងតង់ស្យុងនៃជនិតា និងចរន្តរត់ក្នុងសៀគ្វីខុសគ្នាប៉ុន្មានដឺក្រេ និងមួយណាលឿនផាសជាង។ គណនាអាំប៉េដង់នៃកុងដង់សាទ័រ និងអាំប៉េដង់ផ្តួបរបស់សៀគ្វី។

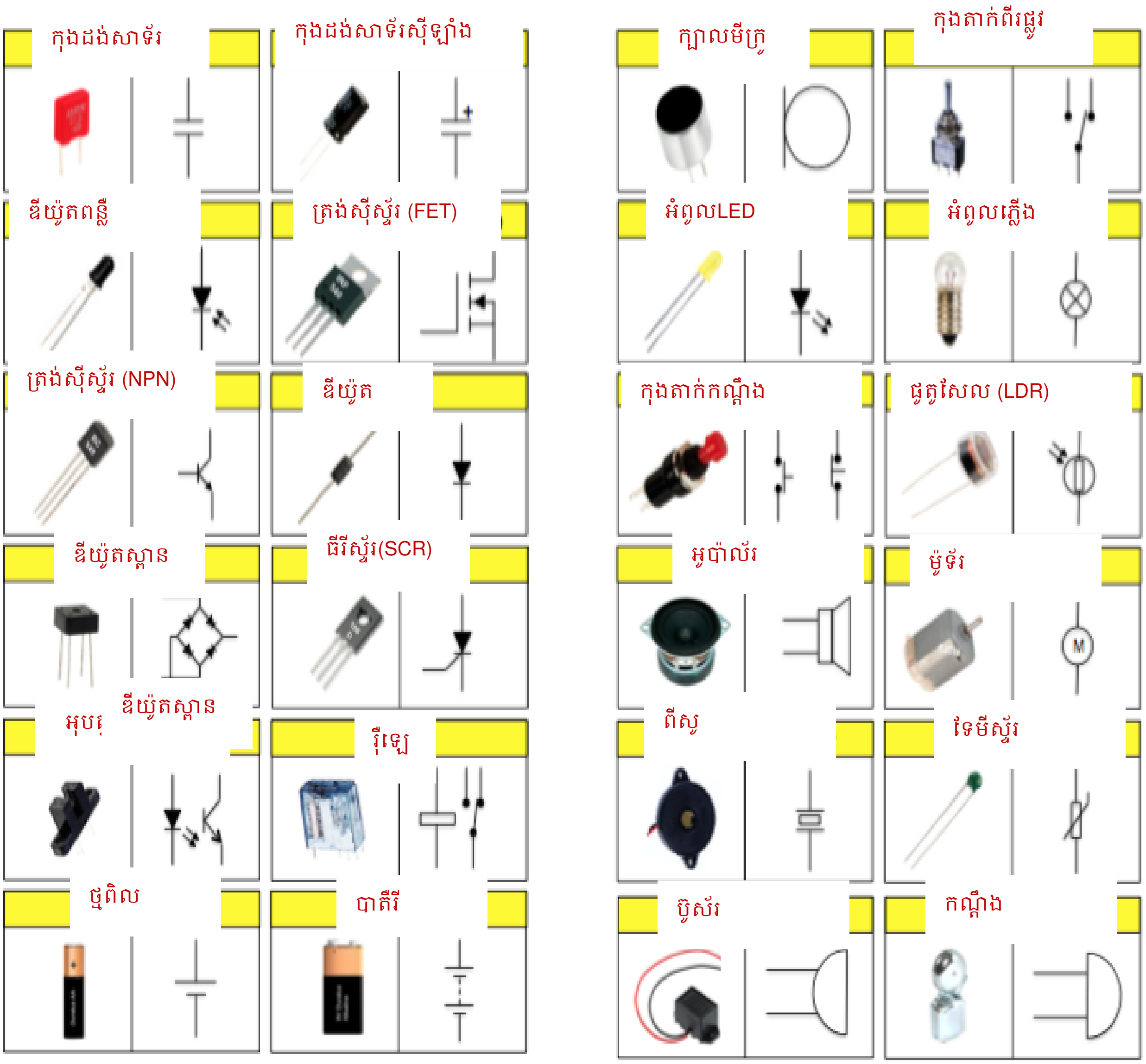
ខ. ក្នុងសៀគ្វី *RLC* ខាងលើដែលអ្នកទើបបានធ្វើពិសោធរួច ចូរគណនាអាំប៉េដង់នៃកុងដង់សាទ័រ, អាំប៉េដង់នៃបូប៊ីន និងអាំប៉េដង់ផ្តួបរបស់សៀគ្វី។

ដំណើរការសមាសធាតុអេឡិចត្រូនិក

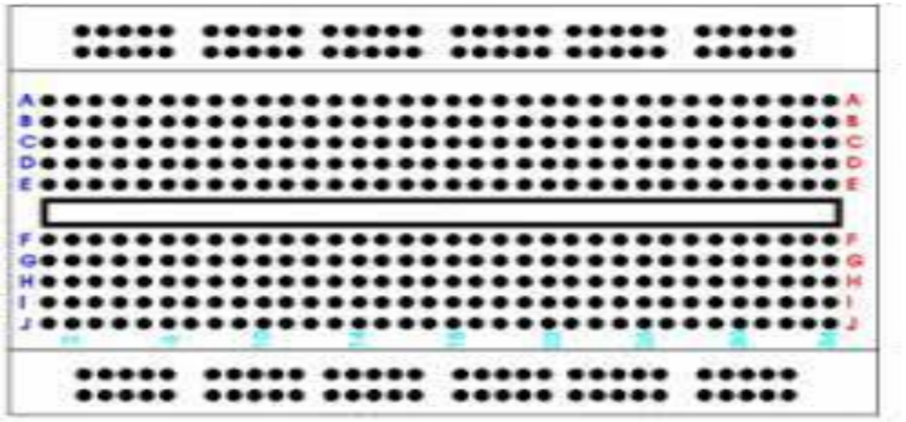
វត្ថុបំណង:

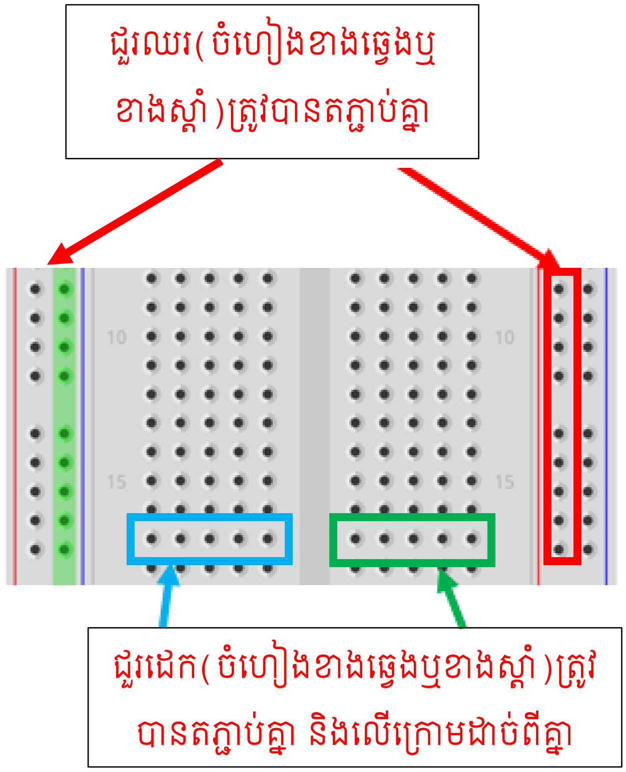
- គូសនិមិត្តសញ្ញានៃគ្រឿងអេឡិចត្រូនិចផ្សេងៗទៀតបានត្រឹមត្រូវ។
- ពោលនិយមន័យសីមីកុងឌុចទ័របានច្បាស់លាស់។
- ដំឡើង និងពន្យល់ដំណើរការរបស់សៀគ្វីផ្សេងៗបានត្រឹមត្រូវ។

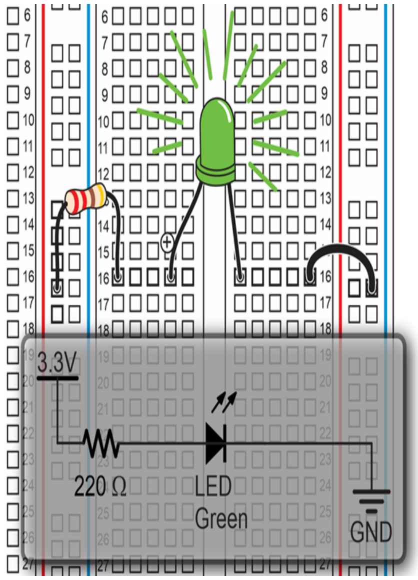
១. និមិត្តសញ្ញានៃគ្រឿងអេឡិចត្រូនិក



បន្ទះសៀគ្វី





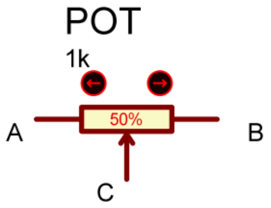


រូបទី3.46 (ក)　　　　　　　　　　　　　　　　　(ខ)

យើងនឹងលើកយកធាតុ(គ្រឿង)មួយចំនួនមកបង្ហាញ រួចដំឡើងដើម្បីបង្កើតសៀគ្វី ហើយអ្នកត្រូវពិនិត្យមើលថាតើវាដំណើរការយ៉ាងដូចម្តេច។ ការដំឡើងសៀគ្វីចែកចេញជាពីរ៖ ទី១ ប្រើតាមកម្មវិធី E-Lab ដែលដំណើរការដោយ Software និងទី២ ប្រើបន្ទះសៀគ្វីជាក់ស្តែង។

២. ដំណើរការប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ ឬរ៉ូលូម

រូប និងនិមិត្តសញ្ញា



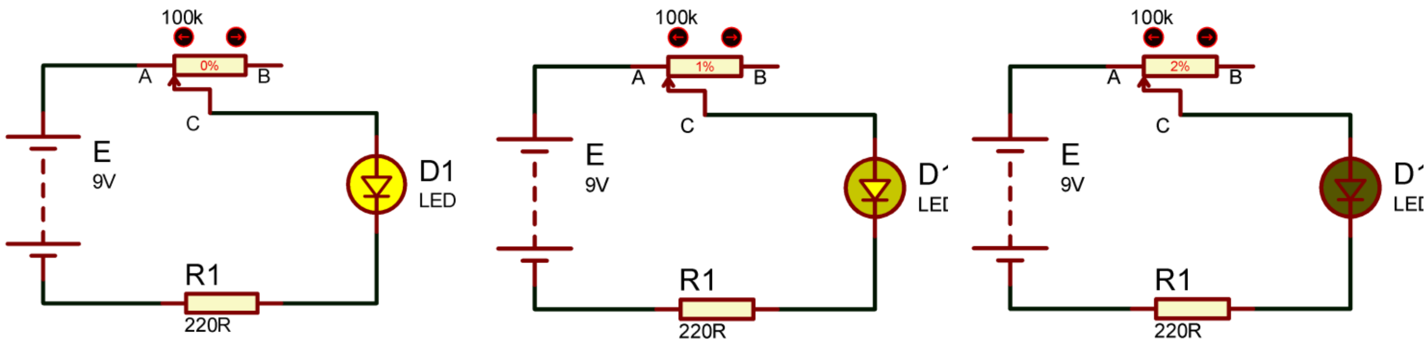
រូបទី3.47 (ក) ប្រភេទផ្សេងនៃប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ (ខ)និមិត្តសញ្ញា

តើប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រជាអ្វី និងវាដំណើរការដូចម្តេច?

❖ វិធីទី១៖ ការប្រើ E-Lab ដោយដំណើរការ Software

- **តម្រូវការសម្ភារៈ ៖** (ទាញយកគ្រឿងពីSoftwareដែលដំឡើងរួចលើកំព្យូទ័ររបស់អ្នក) ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ(Pot-HG) រេស៊ីស្តង់(Res) LEDពណ៌លឿង (LED-y) និងបាតឺរី(Battery)
- **ដំណើរការដំឡើង និងពិសោធន៍៖**

ដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.48 និងពិនិត្យមើលពន្លឺLEDដោយមួលជើងCនៃប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រមកទីតាំង ផ្សេងៗគ្នា



រូបទី3.48 (ក)រេស៊ីស្តង់ប៉ូ. 0% (ខ)រេស៊ីស្តង់ប៉ូ. 1%នៃ100k (គ) រេស៊ីស្តង់ប៉ូ. 2%នៃ100k

- **សង្កេត៖** រូប(ក)អំពូលLEDភ្លឺខ្លាំង (ខ)អំពូលLEDភ្លឺខ្សោយ (គ)អំពូលLEDភ្លឺខ្សោយខ្លាំង ឬរលត់
- **វិភាគ និងសន្និដ្ឋាន៖**

វិភាគ៖ ទីតាំងជើងC

- ត្រួតគ្នានឹងជើងA ធ្វើឱ្យអំពូលLEDភ្លឺខ្លាំង រេស៊ីស្តង់ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រតូចបង្ហាញ 0% (0 Ω)។

- ខិតទៅខាងស្តាំជើងA អំពូលLEDភ្លឺខ្សោយ រេស៊ីស្តង់ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រកើនឡើង1% (1000 Ω)។

- ខិតទៅខាងស្តាំជើងAវែងជាងមុន អំពូលLEDភ្លឺខ្សោយខ្លាំង ឬរលត់ បញ្ជាក់ថារេស៊ីស្តង់ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រកើនឡើងខ្លាំងជាងមុន 2% (2000 Ω)។

សន្និដ្ឋាន៖ តាមការពិសោធខាងលើប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រជាគ្រឿងអេឡិចត្រូនិកដែលមាន*រេស៊ីស្តង់ប្រែប្រួល*ហើយត្រូវបានប្រើដើម្បីកម្រិត*ចរន្តវត់ឆ្លងកាត់*សៀគ្វី។

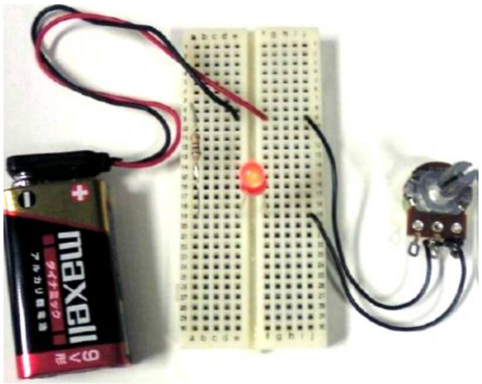
❖ វិធីទី២៖ ការប្រើបន្ទះសៀគ្វី

- **តម្រូវការសម្ភារៈ ៖**
  ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ100kΩ រេស៊ីស្តង់220Ω LED ខ្សែភ្លើងសម្រាប់ដោត បន្ទះសៀគ្វី ថ្មពិល9.0 V និងប្រដាប់ដាក់ថ្មពិល

សម្គាល់៖ LED មានជើងពីរ ជើងមួយវែងជាអាណូត(A)(តួជាកងមូល) និងជើងមួយខ្លីជាកាតូត(C) (តួជាផ្ទៃរាប)។ ចរន្តអគ្គិសនីចូលតាមជើង A និងចេញតាមជើង C និងបើប្រាសមកវិញវាមិនដំណើរការទេ។

- **ដំណើរការដំឡើង និងពិសោធន៍៖**

ដំឡើងសៀគ្វី និងធ្វើពិសោធដូចរូប3.48ខាងលើ។ អ្នកអាចយកខ្សែដោតមួយសម្រាប់ធ្វើជាកុងតាក់។



៣. ដំណើរការរេស៊ីស្តង់ដែលអាស្រ័យនឹងពន្លឺ(LDR)

LDR ជាភាសាអង់គ្លេសគឺ Light Dependent Resistor (LDR) ឬអាចហៅម៉្យាងទៀតថាជាផូតូសែល (Photocell) ។

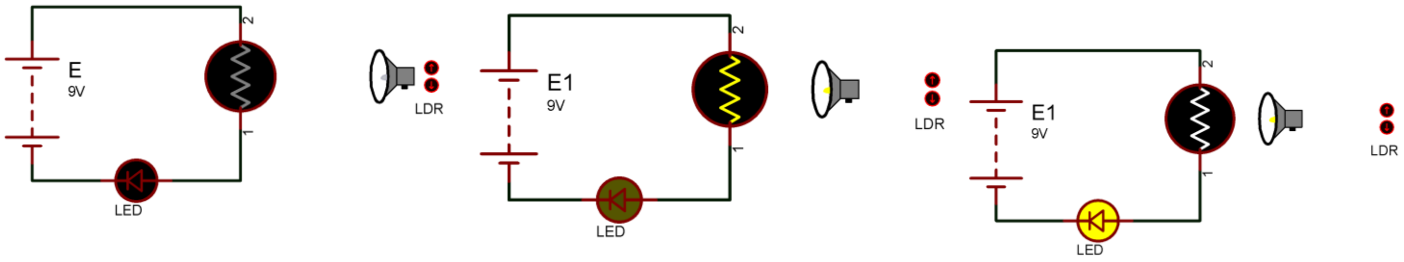
រូបទី3.49 (ក) (ខ) និមិត្តសញ្ញា

តើ LDR ជាអ្វី និងវាដំណើរការដូចម្តេច? (ដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.50)

❖ វិធីទី១៖ ការប្រើ E-Lab ដោយដំណើការ Software

- **តម្រូវការសម្ភារៈ ៖** (ទាញយកគ្រឿងពីSoftwareដែលដំឡើងរួចលើកំព្យូទ័ររបស់អ្នក) រេស៊ីស្តង់ដែលអាស្រ័យនឹងពន្លឺ(LDR) LEDពណ៌លឿង (LED-y) និងបាតឺរី(Battery)
- **ដំណើរការដំឡើង និងពិសោធន៍៖**

ដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.50 និងពិនិត្យពន្លឺLEDដោយដាក់មុខLDR ដូចរូប(ក) (ខ) និង(គ)



រូបទី 3.50 (ក)គ្របមុខ LDR (ខ))មុខLDR ត្រូវពន្លឺខ្សោយ (គ)មុខLDR ត្រូវពន្លឺខ្លាំង

សង្កេត៖ រូប(ក)អំពូលLEDមិនភ្លឺទេ (ខ)អំពូលLEDឆេះភ្លឺខ្សោយ និង(គ)អំពូលLEDឆេះភ្លឺខ្លាំង

- **វិភាគ សន្និដ្ឋាន៖**

វិភាគ៖

- គ្របមុខLDR ឬLDR នៅទីងងឹត អំពូលLEDមិនភ្លឺទេ បញ្ជាក់ថារេស៊ីស្តង់LDR ធំខ្លាំង។

- មុខLDR ត្រូវពន្លឺខ្សោយ(ពន្លឺក្នុងបន្ទប់) អំពូលLEDឆេះភ្លឺខ្សោយ បញ្ជាក់ថារេស៊ីស្តង់LDRថយចុះមកតម្លៃតូចជាងមុន។

- មុខLDR ត្រូវពន្លឺខ្លាំង (ត្រូវពន្លឺថ្ងៃ ឬពន្លឺភ្លើងពិលទូរស័ព្ទ) អំពូលLEDឆេះភ្លឺខ្លាំង បញ្ជាក់ថារេស៊ីស្តង់LDR ថយចុះខ្លាំង(តម្លៃតូចខ្លាំង)។

សន្និដ្ឋាន៖ តាមការពិសោធខាងលើLDRជាគ្រឿងអេឡិចត្រូនិកដែលមាន *រេស៊ីស្តង់ប្រែប្រួល* ដោយអាស្រ័យលើអាំងតង់ស៊ីតេពន្លឺដែលចាំងប៉ះលើផ្ទៃមុខរបស់វា។ នៅទីងងឹត LDR *មានរេស៊ីស្តង់ធំណាស់* (ស្ថិតក្នុងកម្រិត MΩ) ប៉ុន្តែនៅទីភ្លឺ LDR *មានរេស៊ីស្តង់តូច* ។ LDRត្រូវបានគេប្រើធ្វើជា *សិនស័រពន្លឺ*(Light Sensor)។

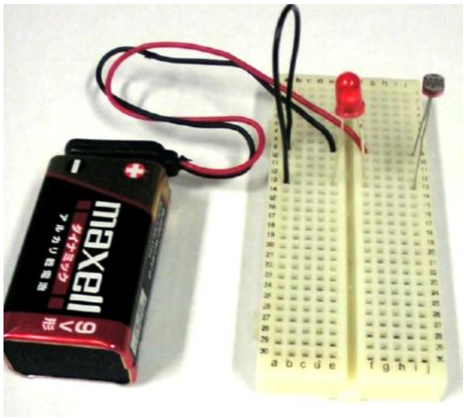
❖ វិធីទី២៖ ការប្រើបន្ទះសៀគ្វី

- **តម្រូវការសម្ភារៈ ៖**

LDR LED ខ្សែភ្លើងសម្រាប់ដោត ពន្លឺភ្លើងពិល(ពន្លឺពិលទូរស័ព្ទ) បន្ទះសៀគ្វី ថ្មពិល9.0 V និងប្រដាប់ដាក់ថ្មពិល

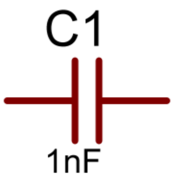
- **ដំណើរការដំឡើង និងពិសោធន៍៖**

ដំឡើងសៀគ្វី និងធ្វើពិសោធដូចរូប3.50ខាងលើ។ អ្នកអាចយកខ្សែដោតមួយសម្រាប់ធ្វើជាកុងតាក់។



៤ ដំណើរការរបស់កុងដង់សាទ័រ

រូប និងនិមិត្តសញ្ញា



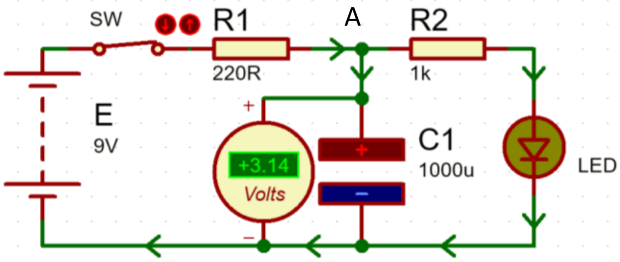
រូបទី3.51 (ក) (ខ) និម្មិតសញ្ញា

តើកុងដង់សាទ័រជាអ្វី និងវាដំណើរការដូចម្តេច? (ដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.52)

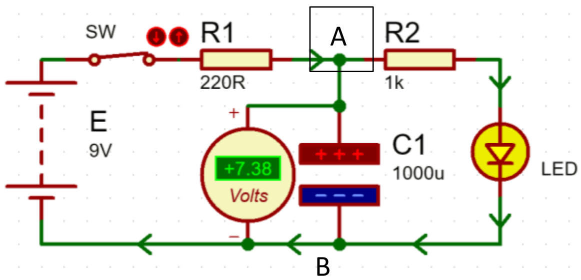
❖ វិធីទី១៖ ការប្រើ E-Lab ដោយដំណើរការ Software

- **តម្រូវការសម្ភារៈ ៖** (ទាញយកគ្រឿងពីSoftwareដែលដំឡើងរួចលើកំព្យូទ័ររបស់អ្នក) កុងដង់សាទ័រ(cap) LEDពណ៌លឿង (LED-y) និងបាតឺរី(Battery)
- **ដំណើរការដំឡើង និងពិសោធន៍៖**

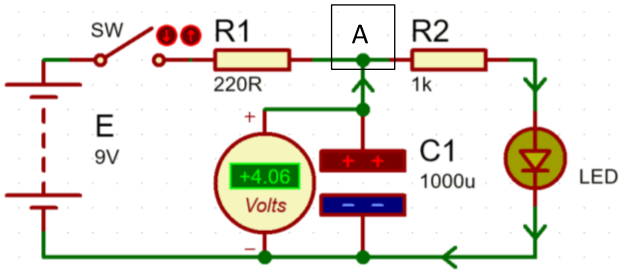
ដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.52 និងពិនិត្យពន្លឺLEDដោយដាក់មុខLDR ដូចរូប(ក) (ខ) និង(គ)



(ក)



(ខ)



រូបទី3.52 (គ)

សង្កេត៖រូបទី3.52 (ក)ខណៈកុងបិទតាក់ LED ឆេះភ្លឺខ្សោយ (ខ)ខណៈបន្ទាប់ LED ឆេះភ្លឺខ្លាំងជាង (គ) ខណៈបើកកុងតាក់ LED ឆេះភ្លឺខ្សោយវិញ និងភ្លឺខ្សោយជាបន្តបន្ទាប់ ចុងបញ្ចប់រលត់។

- **វិភាគ សន្និដ្ឋាន៖**

វិភាគ៖

- រូបទី3.52(ក)ខណៈកុងបិទតាក់ LED ឆេះភ្លឺខ្សោយ ដោយសារតែ*ចរន្តអគ្គិសនីចេញពីគោល (+) នៃបាតឺរីឆ្លងកាត់កុងតាក់មកដល់A។ ត្រង់A ចរន្តបែងចែកជាពីរ មួយចូលមកផ្ទុកកុងដង់សាទ័រC_1និងមួយទៀតឆ្លងកាត់ R_2LED B និងបន្តទៅដល់គោល(-)នៃបាតឺរី។កុងដង់សាទ័របន្តផ្ទុកនិងLED បន្តភ្លឺខ្លាំងឡើងៗ។* - រូប(ខ)ខណៈបន្ទាប់ LED ឆេះភ្លឺខ្លាំងជាងដោយសារតែ *ពេលកុងដង់ផ្ទុកពេញគ្មានចរន្តឆ្លងកាត់កុងដង់សាទ័រទៀតទេ ចរន្តទាំងអស់ត្រូវឆ្លងកាត់ LED ចំណុចB និងទៅដល់គោល (-) នៃបាតឺរី។*

- រូប(គ) ខណៈបើកកុងតាក់ ភ្លាមនោះLED ឆេះភ្លឺខ្សោយបន្តិចវិញ និងបន្តចុះខ្សោយ ចុងបញ្ចប់ក៏រលត់ដោយសារតែ*កុងដង់សាទ័រផ្ទេរបន្ទុកអគ្គិសនីហើយថាមពលរបស់វាថយចុះជាបន្តបន្ទាប់ ចុងបញ្ចប់ក៏អស់ ហើយអំពូលLEDលែងភ្លឺ។*

សន្និដ្ឋាន៖ តាមការពិសោធខាងលើបង្ហាញថា កុងដង់សាទ័រជាគ្រឿងអេឡិចត្រូនិកដែលត្រូវបានប្រើដើម្បី*ផ្ទុក-ផ្ទេរបន្ទុកអគ្គិសនី*។ វាមាននាទីជា*ប្រភពអគ្គិសនីបណ្តោះអាសន្ន*។

សម្គាល់៖ កុងដង់សាទ័រអាចត្រូវបានប្រើដើម្បីច្រោះចរន្ត(Filter)ពេលដែលបំប្លែងពីរន្តឆ្លាស់ទៅចរន្តជាប់ និងបម្រែបម្រួលប្រេកង់សម្លេង ឬបង់(ប៉ុស្តិ៍)វិទ្យុ...។

❖ វិធីទី២៖ ការប្រើបន្ទះសៀគ្វី

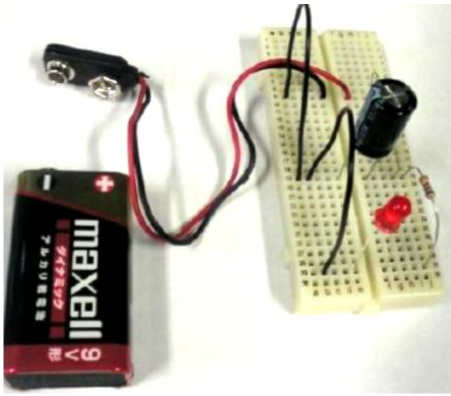
- **តម្រូវការសម្ភារៈ ៖**

កុងដង់សាទ័រ(1000 μF,16 V) រេស៊ីស្តង់ពីរ(220Ω និង1kΩ) LED ខ្សែភ្លើងសម្រាប់ដោត បន្ទះសៀគ្វី ថ្មពិល9.0 V និងប្រដាប់ដាក់ថ្មពិល

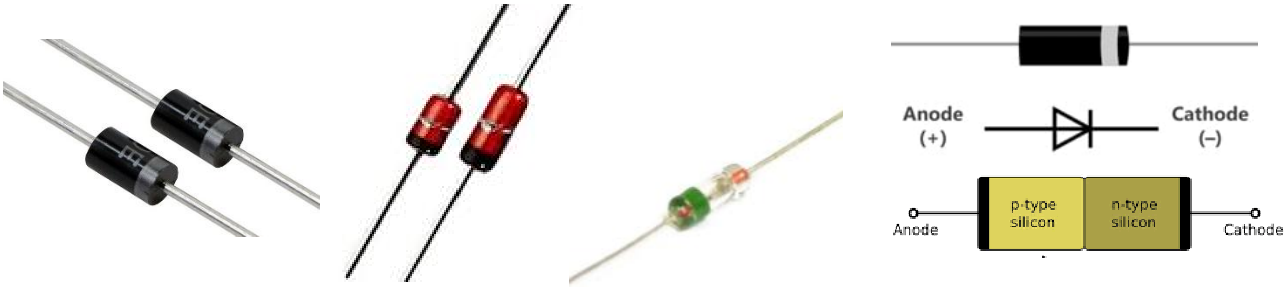
- **ដំណើរការដំឡើង និងពិសោធន៍៖**

ដំឡើងសៀគ្វី និងធ្វើពិសោធដូចរូប3.52ខាងលើ។ អ្នកអាចយកខ្សែដោតមួយសម្រាប់ធ្វើជាកុងតាក់។

៥ ដំណើរការរបស់ឌីយ៉ូត



រូប និងនិមិត្តសញ្ញា



រូបទី3.53 (ក)ឌីយ៉ូតស៊ីលីស្យូម (ខ) សែនឺរ(ក្រហម) (គ) សែម៉ាញ៉ូម(បៃតង)(ឃ) និមិត្តសញ្ញា

តើឌីយ៉ូតជាអ្វី វាដំណើរការដូចម្ដេច និងគេប្រើវាសម្រាប់ធ្វើអ្វី?

ឌីយ៉ូតស៊ីលីស្យូម

(ដំឡើងសៀគ្វី រូបទី3.54, 3.55 និង 3.56)

❖ វិធីទី១៖ ការប្រើ E-Lab ដោយដំណើការ Software

- **តម្រូវការសម្ភារៈ ៖** (ទាញយកគ្រឿងពីSoftwareដែលដំឡើងរួចលើកំព្យូទ័ររបស់អ្នក)

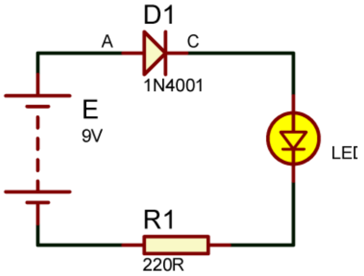
ឌីយ៉ូត(1N4001) ស្ពានឌីយ៉ូត(Bridge diode) LEDពណ៌លឿង(LED-y) រេស៊ីស្តរ(RES) កុងដង់សាទ័រ(cap) បាតឺរី(Battery)និងប្រភពចរន្តឆ្លាស់(Alternator ឬAlt)

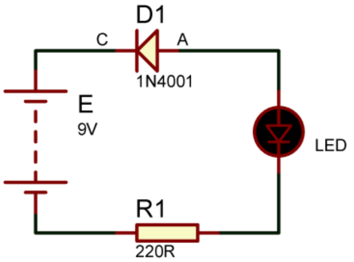
សម្គាល់៖ ពេលធ្វើពិសោធ អ្នកចង់មើលក្រាបសំទួយកន្លះខួប ត្រូវចុចលើ Virtual instruments mode រួចយក Oscilloscope និងដំឡើងដូចរូបទី3.55 បន្ទាប់មកចុច Run។ តែត្រូវរយៈពេលមក0.24 ms នោះអ្នកនឹងទទួលបានក្រាបដូចរូបទី3.55(ខ)។ស្រដៀងគ្នាដែរចំពោះក្រាបផ្សេងៗទៀត។

- **ដំណើរការដំឡើង និងពិសោធន៍៖**

ដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.54, 3.55, 3.56 រៀងគ្នា និងធ្វើពិសោធម្តងមួយៗ និងពិនិត្យពន្លឺLED ឬក្រាបតាមរូបរបស់វាដាក់ស្តែងតាមលំដាប់លំដោយ។

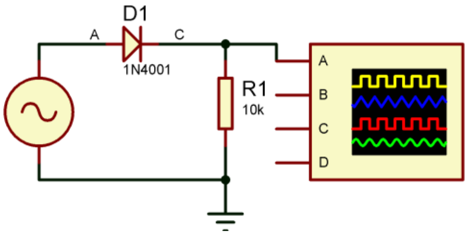
ក. ប្រើជាមួយចរន្តជាប់ រូបទី3.54

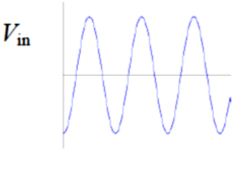


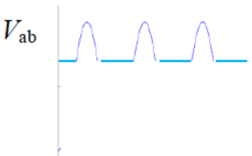


(ក) ចរន្តឆ្លងកាត់សៀគ្វីបាន LEDភ្លឺ (ខ) ចរន្តមិនអាចឆ្លងកាត់សៀគ្វីបានទេ LEDរលត់

ខ.ប្រើជាមួយចរន្តឆ្លាស់ រូបទី3.55

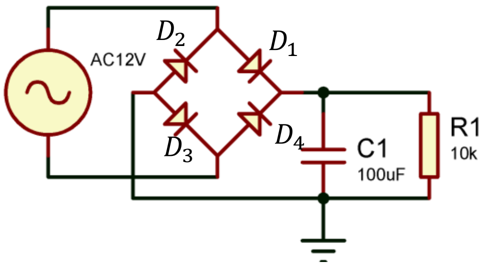


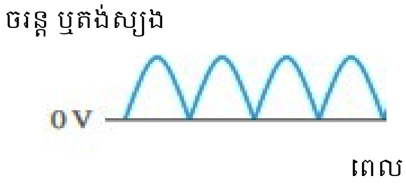




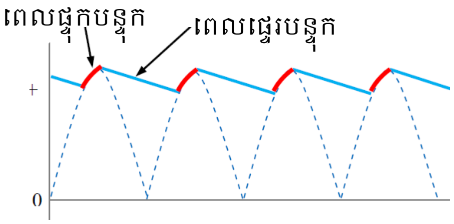
(ក)ប្រភពចរន្តឆ្លាស់ (ខ)សំទួយកន្លះខួប

រូបទី3.56





(ក)សំទួយពេញ១ខួប



(ខ) ដាក់កុងដង់សាទ័រ

សង្កេត៖

- រូប3.54(ករណីប្រភពចរន្តជាប់) (ក) អាណូតA ភ្ជាប់ទៅគោល (+) និងកាតូតCភ្ជាប់ទៅគោល (-) នៃថ្មពិល LED ឆេះភ្លឺ និង(ខ)ប្រាសមកវិញ LED មិនឆេះភ្លឺទេ។

- រូប3.55(ករណីប្រភពចរន្តឆ្លាស់) (ក)(មិនទាន់ដាក់ឌីយ៉ូត)ភ្ជាប់ជើងអូស៊ីឡូស្កូបរវាងប្រភពចរន្តឆ្លាស់ និងរេស៊ីស្តរ10 kΩ ក្រាបជាចរន្តឆ្លាស់ និង(ខ)(ដាក់ឌីយ៉ូត) ភ្ជាប់ជើងអូស៊ីឡូស្កូបរវាងឌីយ៉ូតនិងរេស៊ីស្តរ ក្រាបជាជីពចរលេក(សំទួយកន្លះខួប)។

- រូប3.56(ករណីចរន្តឆ្លាស់) (ក)ដាក់ស្ពានឌីយ៉ូតសេរីជាមួយនឹងរេស៊ីស្តង់10 kΩ (មិនទាន់ភ្ជាប់កុងដង់សាទ័រ) ភ្ជាប់ជើងអូស៊ីឡូស្កូបរវាងស្ពានឌីយ៉ូត និងរេស៊ីស្តង់ ក្រាបជាចរន្តជាប់(សំទួយពេញមួយខួប) ប៉ុន្តែនៅមានលំយោល (នៅមានតង់ស្យុង ឬចរន្តស្មើសូន្យ)។ រូប(ខ) តកុងដង់សាទ័រ 100 μFជាខ្នែងនឹងរេស៊ីស្តរ (ករណីនេះគេហៅថាច្រោះ) ក្រាបជាចរន្តជាប់រាងអង្កាញ់ៗ ប៉ុន្តែគ្មានតង់ស្យុងឬចរន្តសូន្យទេ។

- **វិភាគ សន្និដ្ឋាន៖**

វិភាគ៖ រូប3.54 (ក) LED ឆេះភ្លឺ ដោយសារ *ឌីយ៉ូតស្ថិតក្នុងទិសដៅចរន្តឆ្លងកាត់វាឬប៉ូលកម្មស្រប* និង(ខ) LED មិនឆេះភ្លឺទេ ដោយសារ *ឌីយ៉ូតស្ថិតក្នុងទិសដៅផ្ទុយពីចរន្តឆ្លងកាត់វាឬប៉ូលកម្មប្រាស* ។

- រូប3.55 (ក) ក្រាបជាចរន្តឆ្លាស់ ដោយសារ *ចរន្តឆ្លាស់ប្តូរទិសដៅពីរដងក្នុងមួយខួប*និង(ខ) ក្រាបជាជីពចរលេក(សំទួយកន្លះខួប)ដោយសារ *ឌីយ៉ូតក្នុងប៉ូលកម្មប្រាសមិនអនុញ្ញាតិឱ្យចរន្តឆ្លងកាត់*។

- រូប3.56 (ក) ក្រាបជាចរន្តជាប់(សំទួយពេញមួយខួប) ប៉ុន្តែនៅមានលំយោល (នៅមានតង់ស្យុង ឬចរន្តស្មើសូន្យ) ដោយសារ *កន្លះខួបលើ ឌីយ៉ូតD_1 ឱ្យចរន្តឆ្លងកាត់ និងកន្លះខួបក្រោម ឌីយ៉ូតD_2 ឱ្យចរន្តឆ្លងកាត់ និងខួបបន្តបន្ទាប់គ្រាន់តែធ្វើសារឡើងវិញប៉ុណ្ណោះ*។ រូប(ខ) ក្រាបជាចរន្តជាប់រាងអង្កាញ់ៗ ប៉ុន្តែគ្មានតង់ស្យុងឬចរន្តសូន្យទេ ដោយសារតែ *ពេលកុងដង់សាទ័រផ្ទុកពេញវាចាប់ផ្តើមផ្ទេរ វាផ្ទេរបានត្រឹមតែ 1/3 នៃតង់ស្យុងសរុបរបស់វាប៉ុណ្ណោះ វាក៏ចាប់ផ្តើមផ្ទុកវិញ និងធ្វើឡើងវិញជាបន្តបន្ទាប់*។

សន្និដ្ឋាន៖ ផ្អែកតាមពិសោធន៍ខាងលើ ឌីយ៉ូត*គឺជាគ្រឿងអេឡិចត្រូនិច និងសឺមីកុងឌុចទ័រដែលមានគោលពីរ មួយជាអាណូត(A)និងមួយទៀតជាកាតូត(C) ហើយវាអាចឱ្យចរន្តឆ្លងកាត់តែតាមទិសដៅពីអាណូត*

(A)ទៅកាតូត(C)ប៉ុណ្ណោះ។ គេប្រើវាដើម្បីការពារសៀគ្វីពីការឆេះខូចពេលចាប់ប្រភពអគ្គិសនីបញ្ច្រាសគោល(ប៉ូល) និងសំទួយចរន្តពីAC ទៅDC។

សឺមីកុងឌុចទ័រ(semi-conductor)ជារូបធាតុចម្លងអគ្គិសនីដែលស្ថិតរវាងអង្គធាតុចម្លង និងអ៊ីសូឡង់អគ្គិសនី រួមមាន៖ ស៊ីលីស្យូម(Si) ហ្គេម៉ានីញ៉ូម(Ge) សេលេញ៉ូម(Se) កាបូន(C)...។ យើងនឹងសិក្សាពិស្តានៅសាកលវិទ្យាល័យ។

❖ វិធីទី២៖ ការប្រើបន្ទះសៀគ្វី

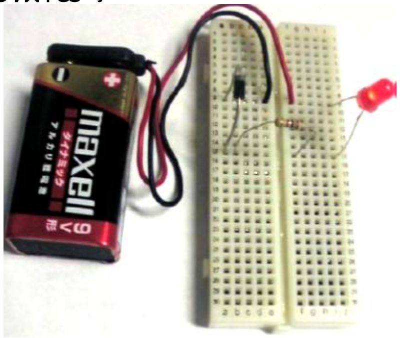
- **តម្រូវការសម្ភារៈ ៖**

ឌីយ៉ូត៤(1N4001) និង/ឬស្ពានឌីយ៉ូត LED រេស៊ីស្តរ២(220Ω និង5kΩ) កុងដង់សាទ័រ100μF បន្ទះសៀគ្វី ខ្សែភ្លើងសម្រាប់ដោត ថ្មពិល9.0 V ប្រដាប់ដាក់(ថ្មពិល) និងប្រភពចរន្តឆ្លាស់ តង្កៀបមានក្រចាប់។

សម្គាល់៖ ពេលធ្វើពិសោធ អ្នកចង់មើលក្រាបត្រូវប្រើ Oscilloscope។

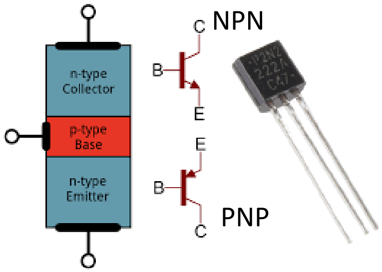
- **ដំណើរការដំឡើង និងពិសោធន៍៖**

ដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.54, 3.55, 3.56 ខាងលើរៀងគ្នា និងធ្វើពិសោធម្តងមួយៗ និងពិនិត្យពន្លឺLED ឬក្រាបតាមរូបរបស់វាជាក់ស្តែងតាមលំដាប់លំដោយ។



៦. ដំណើរការរបស់ត្រង់ស៊ីស្ទរ

រូប និងនិមិត្តសញ្ញា



រូបទី3.57 (ក)ប្រភេទផ្សេងៗនៃត្រង់ស៊ីស្ទរ (ខ) និមិត្តសញ្ញា

តើត្រង់ស៊ីស្ទរជាអ្វី មានប៉ុន្មានប្រភេទ ដំណើរការដូចម្តេច និងគេប្រើវាសម្រាប់ធ្វើអ្វី?

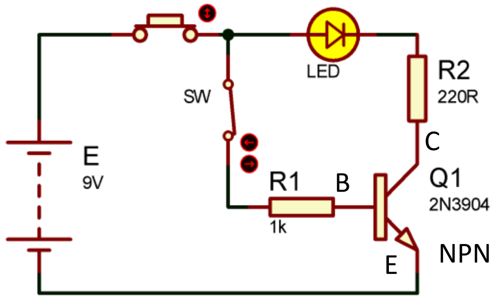
❖ វិធីទី១៖ ការប្រើ E-Lab ដោយដំណើការ Software

- **តម្រូវការសម្ភារៈ ៖** (ទាញយកគ្រឿងពីSoftwareដែលដំឡើងរួចលើកំព្យូទ័ររបស់អ្នក)

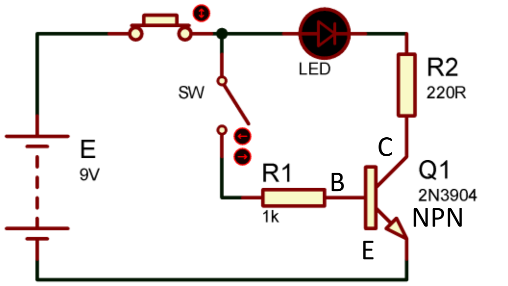
ត្រង់ស៊ីស្ទរ២(2N3904, 2N3906) LEDពណ៌លឿង(LED-y) រេស៊ីស្តរ២(RES) កុងតាក់កណ្តឹង កុងតាក់(SW) និងបាតឺរី(Battery)

- **ដំណើរការដំឡើង និងពិសោធន៍៖**

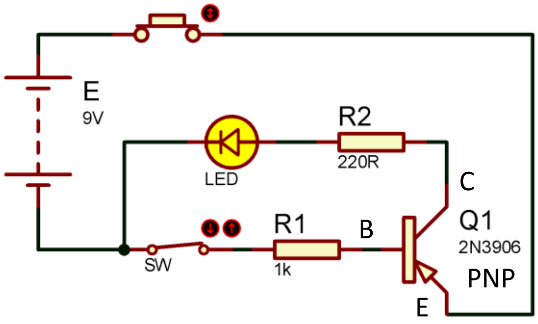
ដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.58 រៀងគ្នា និងធ្វើពិសោធម្តងមួយៗ និងពិនិត្យពន្លឺLED



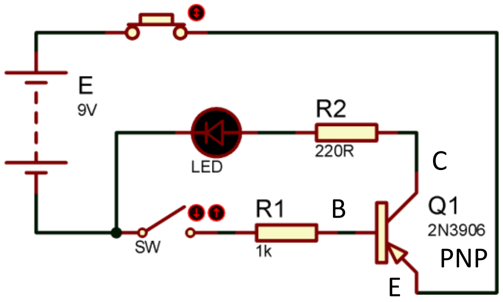
(ក) ប្រើ NPN ជាកុងតាក់បិទ



(ខ) ប្រើ NPN ជាកុងតាក់បើក



រូបទី3.58 (គ) ប្រើ PNP ជាកុងតាក់បិទ



(ឃ) ប្រើ PNP ជាកុងតាក់បើក

សង្កេត៖ត្រង់ស៊ីស្ទរមានពីរប្រភេទគឺ NPN និងPNP ហើយវាមានជើង៣ ជើងបាសB(Base) ជើងកូឡិចទ័រ C(Collector) និងជើងអេមីទ័រE(Emitter)។

រូបទី3.58 (ក) បិទកុងតាក់(SW) អំពូលLEDឆេះភ្លឺ (ខ) បើកកុងតាក់(SW) អំពូលLEDរលត់ (គ) បិទកុងតាក់(SW) អំពូលLEDឆេះភ្លឺ (ឃ)បើកកុងតាក់(SW) អំពូលLEDរលត់។

- **វិភាគ សន្និដ្ឋាន៖**

វិភាគ៖ រូប3.58

-(ក) បិទកុងតាក់ (SW) ចរន្តតូចមួយឆ្លងកាត់ R_1 (រេស៊ីស្តង់ធំ) បន្តឆ្លងកាត់ជើង B របស់ត្រង់ស៊ីស្ទ័រ (ជើង B ភ្ជាប) ត្រង់ស៊ីស្ទ័រ NPN ដំណើរការ នោះចរន្តយ៉ាងធំឆ្លងកាត់LED R_2ជើងC ចូលត្រង់ស៊ីស្ទ័រចេញតាមជើង E និងទៅដល់គោល (-) នៃថ្មពិល អំពូលLEDឆេះភ្លឺ។ ករណីនេះ គេថា*ត្រង់ស៊ីស្ទ័រNPN មាននាទីជាកុងតាក់បិទ*។ ចរន្តចេញតាមជើងE, $I_E = I_B + I_C$ ដែល I_B, I_Cចរន្តចូលតាមជើងB និងCរៀងគ្នា។

-(ខ) បើកកុងតាក់ (SW) គ្មានចរន្តឆ្លងកាត់ជើង B របស់ត្រង់ស៊ីស្ទ័រNPN (ជើងBមិនភ្ជាប) ត្រង់ស៊ីស្ទ័រ មិនដំណើរការ នោះអំពូលLEDរលត់។ ករណីនេះ គេថា*ត្រង់ស៊ីស្ទ័រNPN មាននាទីជាកុងតាក់បើក*។

-(គ) បិទកុងតាក់ (SW) ចរន្តតូចមួយឆ្លងកាត់ជើង B របស់ត្រង់ស៊ីស្ទ័រ (ជើងB ភ្ជាប) ត្រង់ស៊ីស្ទ័រ PNP ដំណើរការ នោះចរន្តយ៉ាងធំចូលតាមជើងEនៃត្រង់ស៊ីស្ទ័រ រួចចេញតាមជើងCឆ្លងកាត់LED ទៅដល់ថ្នាំង និងបន្តទៅគោល (-) នៃថ្មពិល អំពូលLEDឆេះភ្លឺ។ ករណីនេះ គេថា*ត្រង់ស៊ីស្ទ័រPNP មាននាទីជាកុងតាក់បិទ*។ ចរន្តចូលតាមជើងE, $I_E = I_B + I_C$ ដែល I_B, I_Cចរន្តចេញតាមជើងB និងCរៀងគ្នា។

-(ខ) បើកកុងតាក់ (SW) គ្មានចរន្តឆ្លងកាត់ជើង B របស់ត្រង់ស៊ីស្ទ័រPNP (ជើងBមិនភ្ជាប) ត្រង់ស៊ីស្ទ័រ មិនដំណើរការ នោះអំពូលLEDរលត់។ ករណីនេះ គេថា*ត្រង់ស៊ីស្ទ័រPNP មាននាទីជាកុងតាក់បើក*។

សន្និដ្ឋាន៖ ត្រង់ស៊ីស្ទ័រគឺ *ជាគ្រឿងស៊ីមីកុងឌុចទ័រដែលមានជើង៣ ជើងបាស(B) ជើងកូឡិចទ័រ(C) និងជើងអេមីទ័រ(E)។ត្រង់ស៊ីស្ទ័រមានពីរប្រភេទគឺ NPN និងPNP។ វាដំណើរការកាលណាជើង(B)ភ្ជាបចរន្ត គេថាវាជាកុងតាក់បិទ និងវាមិនដំណើរការកាលណាជើង(B)គ្មានចរន្ត គេថាវាជាកុងតាក់បើក។ គេប្រើវាដើម្បីពង្រីកស៊ីញ៉ាល់អគ្គិសនី។*

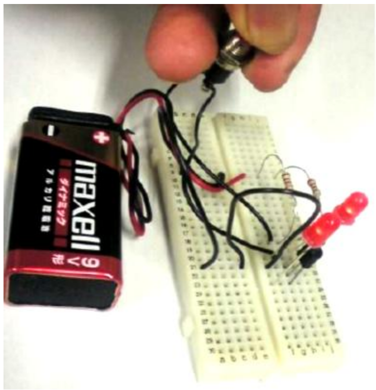
❖ វិធីទី២៖ ការប្រើបន្ទះសៀគ្វី

- **តម្រូវការសម្ភារៈ ៖**

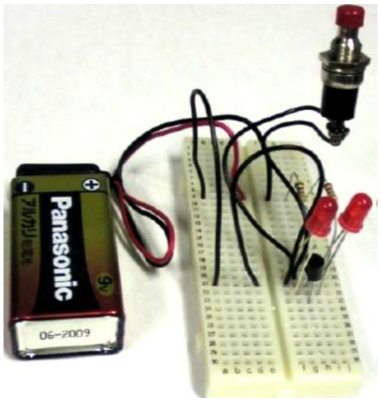
ត្រង់ស៊ីស្ទរ២(2N3904, 2N3906) LED រេស៊ីស្តរ២(220Ω, 1kΩ) កុងតាក់កណ្ដឹង កុងតាក់(ប្រើខ្សែភ្លើង) ខ្សែភ្លើងដោត បន្ទះសៀគ្វី ថ្មពិល9.0 V និងប្រដាប់ដាក់(ថ្មពិល)។

- **ដំណើរការដំឡើង និងពិសោធន៍៖**

ដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.58 ខាងលើរៀងគ្នា និងធ្វើពិសោធម្តងមួយៗ និងពិនិត្យពន្លឺLED ។

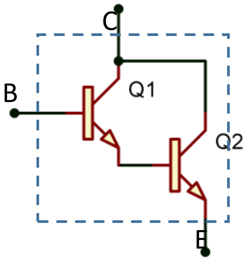


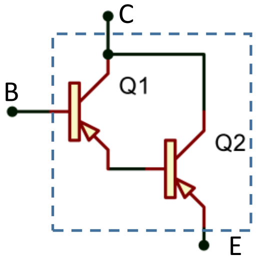
NPN



PNP

- ត្រង់ស៊ីស្ទរគូដាលីងតុន (Darlington pair)





រូបទី3.59 (ក) គូដាលីងតុនNPN (ខ)គូដាលីងតុនPNP

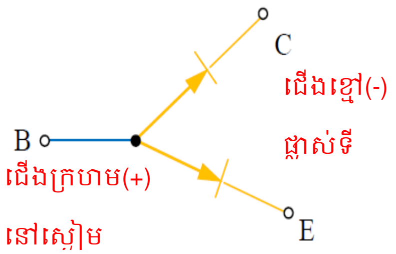
បើកម្រិតពង្រីកចរន្ត NPN1, $h_{FE1} = 220$ និង NPN2, $h_{FE2} = 40$

កម្រិតពង្រីកចរន្តសរុបនៃគូដាលីងតុនគឺ $h_{FE} = h_{FE1} \times h_{FE2} = 220 \times 40 = 8800$ ។

ការវាស់ជើងរបស់ត្រង់ស៊ីស្ទរដោយប្រើមុលទីម៉ែត្រ៖

ចំពោះNPN (ជើង

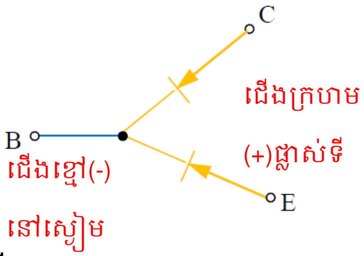
- ជ្រើសរើសកាលីបជាឌីយ៉ូតនៃមុលទីម៉ែត្រ។
- តេស្ត(វាស់)គូជើងរបស់ត្រង់ស៊ីស្ទរម្តងពីរៗ(សរុប6ដង) និងចងចាំថាជើងមុលទីម៉ែត្រក្រហម(+) និងខ្មៅ(-)។



- គូជើងបាស-កូឡិចទ័រ (BC) មាននាទីជាឌីយ៉ូត វាដំណើរការតែមួយទិសដៅប៉ុណ្ណោះគឺ (+)ចុចលើB និងខ្មៅ (-)លើC។ ប្រាសមកវិញ វាមិនដំណើរការទេ។
- គូជើងបាស-អេមីទ័រ (BE) មាននាទីជាឌីយ៉ូត វាដំណើរការតែមួយទិសដៅប៉ុណ្ណោះគឺ (+)ចុចលើB ដដែល និងខ្មៅ (-)លើE។ ប្រាសមកវិញ វាមិនដំណើរការទេ។
- គូជើងកូឡិចទ័រ-អេមីទ័រ (CE) វាមិនដំណើរការទាំងពីរផ្លូវ។
- ស្គាល់ជើងB ជើងជាប់គ្នាជាជើងC និងជើងបន្ទាប់ជាជើងE។ បើជើងB នៅកណ្តាល នោះជើងC នៅខាងស្តាំ និងជើងEខាងឆ្វេង (មើល រូបទី3.60)។

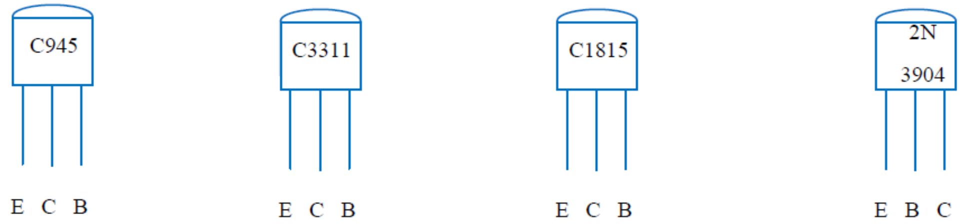
ចំពោះPNP

- ជ្រើសរើសកាលីបជាឌីយ៉ូតនៃមុលទីម៉ែត្រ។
- គូជើងបាស-កូឡិចទ័រ (BC) មាននាទីជាឌីយ៉ូត វាដំណើរការតែមួយទិសដៅប៉ុណ្ណោះគឺ ខ្មៅ(-)ចុចលើB និងក្រហម(+)លើC។ ប្រាសមកវិញ វាមិនដំណើរការទេ។



- គូជើងបាស-អេមីទ័រ (BE) គឺ ខ្មៅ(-)ចុចលើBដដែល និងក្រហម(+)លើE។ ប្រាសមកវិញ វាមិនដំណើរការទេ។
- គូជើងកូឡិចទ័រ-អេមីទ័រ (CE) វាមិនដំណើរការទាំងពីរផ្លូវ។
- ស្គាល់ជើងB ជើងជាប់គ្នាជាជើងC និងជើងបន្ទាប់ជាជើងE។ បើជើងB នៅកណ្តាល នោះជើងC នៅខាងស្តាំ និងជើងEខាងឆ្វេង (មើល រូបទី3.61)។

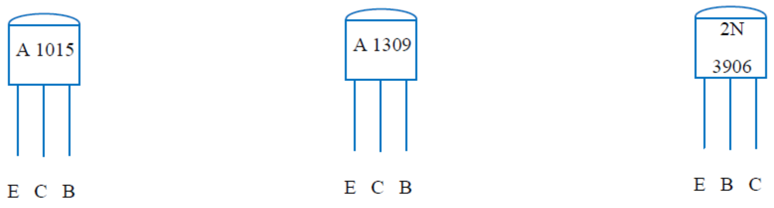
សម្គាល់៖ លេខតួ និងជើងរបស់ ត្រង់ស៊ីស្ទរ NPN មួយចំនួន



រូបទី3.60

លេខតួ និងជើងរបស់ ត្រង់ស៊ីស្ទរ PNP មួយចំនួន

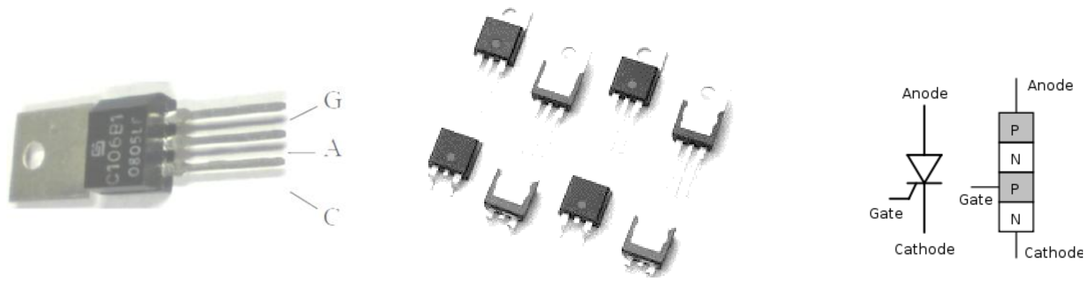
រូបទី3.61



៧. ដំណើរការរបស់SCR

SCR ជាភាសាអង់គ្លេសគឺ Silicon Controlled Rectifier ឬត្រូវបានគេហៅថា ធីរីស្ទរ (Thyristor)

រូប និងនិម្មិតសញ្ញា



រូបទី3.62 (ក) (ខ)

តើធីរីស្ទរ ឬSCRជាអ្វី និងដំណើរការដូចម្តេច?

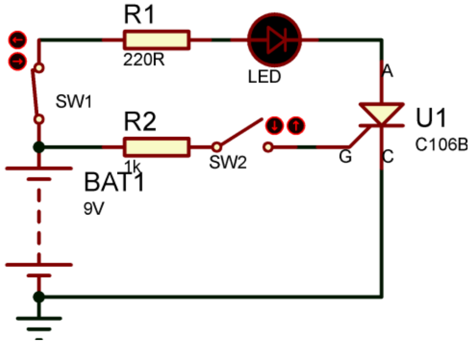
❖ វិធីទី១៖ ការប្រើ E-Lab ដោយដំណើការ Software

- **តម្រូវការសម្ភារៈ ៖** (ទាញយកគ្រឿងពីSoftwareដែលដំឡើងរួចលើកំព្យូទ័ររបស់អ្នក)

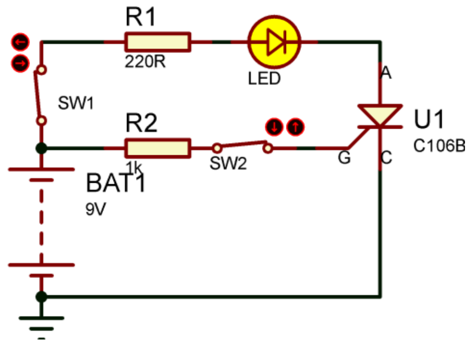
ធីរីស្ទរ ឬSCR(C106B) LEDពណ៌លឿង(LED-y) រេស៊ីស្ទរ២(RES) កុងតាក់២(SW) និងបាតឺរី (Battery)

- **ដំណើរការដំឡើង និងពិសោធន៍៖**

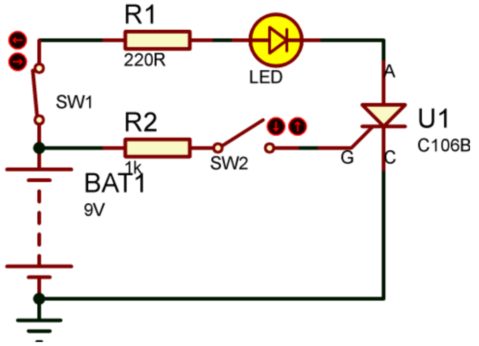
ដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.62 រៀងគ្នា និងធ្វើពិសោធម្តងមួយៗ និងពិនិត្យពន្លឺLED



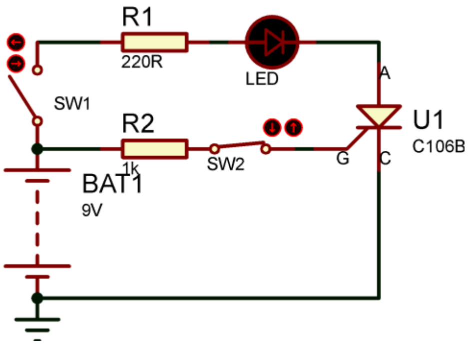
(ក)



(ខ)



រូបទី3.62 (គ)



(ឃ)

សង្កេត៖ ធីរីស្ទរ ឬSCRមានជើងបី ជើងអាណូតA(Anode) ជើងកាតូតC(Cathode) និងជើងហ្គេតG(Gate)។

រូបទី3.62 (ក) បិទកុងតាក់(SW1) និងបើកកុងតាក់(SW2) LED មិនឆេះភ្លឺទេ (ខ) បិទកុងតាក់(SW1) និងបិទកុងតាក់(SW2) LED ឆេះភ្លឺ (គ)រក្សាកុងតាក់(SW1)បិទ និងបើកកុងតាក់(SW2) LED នៅបន្តឆេះភ្លឺដដែល (ឃ)បើកកុងតាក់(SW1) និងបិទ/បើកកុងតាក់(SW2) LED មិនឆេះភ្លឺទេ (រលត់)។

- **វិភាគ សន្និដ្ឋាន៖**

វិភាគ៖ រូបទី3.62

-(ក) បិទកុងតាក់(SW1) និងបើកកុងតាក់(SW2) LED មិនឆេះភ្លឺទេ ដោយសារ *ជើងGរបស់SCRមិនភ្ជាប់ចរន្តអគ្គិសនី* និងSCRមិនចម្លងចរន្តអគ្គិសនី។

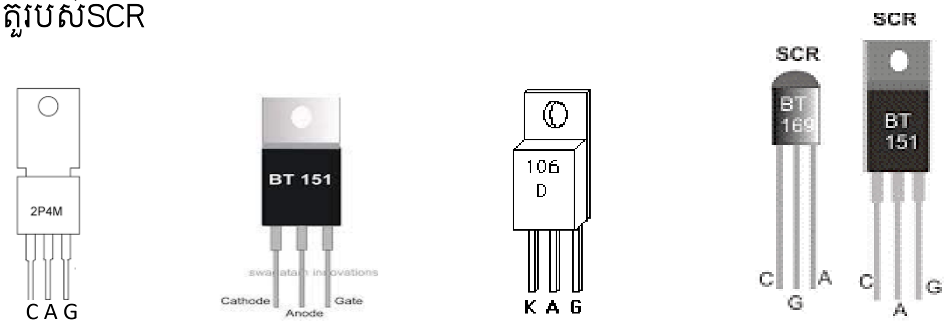
-(ខ) បិទកុងតាក់(SW1) និងបិទកុងតាក់(SW2) LED ឆេះភ្លឺ ដោយសារ *ជើងGរបស់SCR ភ្ជាប់ចរន្តអគ្គិសនី និងSCRក្លាយជាអង្គធាតុចម្លង។* ចរន្តអគ្គិសនីឆ្លងកាត់ពីអាណូតAទៅកាតូតC។

-(គ)រក្សាកុងតាក់(SW1)បិទ និងបើកកុងតាក់(SW2) LED នៅបន្តឆេះភ្លឺដដែល ដោយសារ *ជើងG របស់SCR ភ្ញោចចរន្តអគ្គិសនីរួចហើយ និងវាក្លាយជាអង្គធាតុចម្លងរួចហើយ* កុងតាក់(SW2)លែងសំខាន់ហើយ។ ចរន្តអគ្គិសនីបន្តឆ្លងកាត់SCRពីអាណូតAទៅកាតូតCតទៅទៀត។

-(ឃ) បើកកុងតាក់(SW1) និងបិទ/បើកកុងតាក់(SW2) LED មិនឆេះភ្លឺទេ (រលត់)ដោយសារ *កុងតាក់(SW1)ជាកុងតាក់មេ គ្មានចរន្តឆ្លងកាត់SCR។*

សន្និដ្ឋាន៖ ធីរីស្តរឬSCRគឺ *ជាគ្រឿងស៊ីមីកុងឌុចទ័រដែលមានជើង៣ ជើងអាណូតA ជើងកាតូត(C) និងជើងហ្គេតG ។ វាដំណើរការ កាលណាជើងGភ្ញោចចរន្ត បើវាមិនភ្ញោចទេ នោះSCRមិនដំណើរការទេ។*

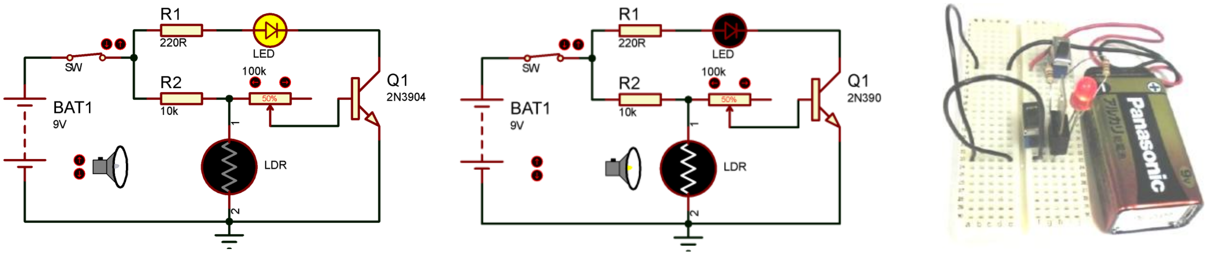
- លេខតួរបស់SCR



រូបទី3.63

៨. អនុវត្តន៍៖

៨.១ ការដំឡើងសៀគ្វី(ឆេះភ្លឺដោយស្វ័យប្រវត្តិនៅពេលយប់) រូបទី3.64៖(សៀគ្វីនេះត្រូវបានគេប្រើជាមូលដ្ឋានគ្រឹះនៃពន្លឺអំពូលភ្លើងប្រើពន្លឺព្រះអាទិត្យដែលឆេះភ្លឺនៅពេលយប់និងរលត់នៅពេលភ្លឺ ក៏ដូចជាអំពូលដែលប្រើនៅលើបង្គោលអង់តែនខ្ពស់ៗ)



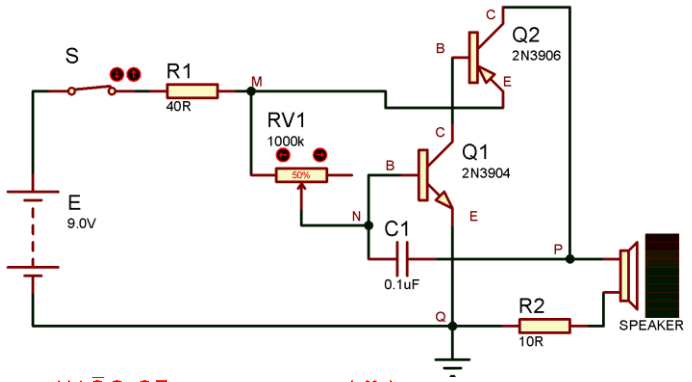
(ក)LDRនៅទីងងឹត(យប់) (ខ) LDRនៅទីភ្លឺ (គ)ការដំឡើងជាក់ស្តែង

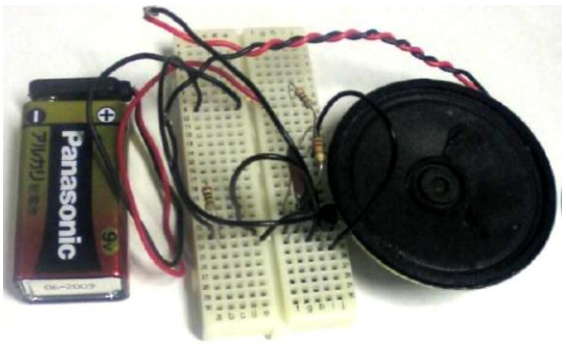
ការពន្យល់ដំណើរការនៃសៀគ្វី៖

-រូបទី3.64(ក) ពេលយប់ផ្ទៃមុខLDRគ្មានពន្លឺចាំងប៉ះលើផ្ទៃមុខវាទេ នោះរេស៊ីស្តង់របស់វាធំខ្លាំង(មិនអនុញ្ញាតិឱ្យ ចរន្តឆ្លងកាត់វាទេ) ចរន្តចេញពីគោល(+)នៃថ្មពិលឆ្លងកាត់SW1, R_2 ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ100k ចូលជើងBនៃត្រង់ស៊ីស្ទ័រQ_1 ធ្វើឱ្យវាដំណើរការ។ ត្រង់ស៊ីស្ទ័រមាននាទីជាកុងតាក់បិទ។ ចរន្តយ៉ាងធំចេញពីគោល(+)នៃថ្មពិលឆ្លងកាត់SW1, R_1 LED ជើងCនៃQ_1 និងទៅដល់គោល(-)នៃថ្មពិលវិញ ពេលនោះ LEDឆេះភ្លឺ។

-រូបទី3.64(ខ)ពេលភ្លឺ(ថ្ងៃ)ផ្ទៃមុខLDRត្រូវពន្លឺ នោះរេស៊ីស្តង់វាតូចខ្លាំងហើយអនុញ្ញាតិឱ្យចរន្តឆ្លងកាត់វា។ គ្មានចរន្ត ឆ្លងកាត់ជើងBនៃត្រង់ស៊ីស្ទ័រQ_1ទេ នោះត្រង់ស៊ីស្ទ័រមាននាទីជាកុងតាក់បើក។ ពេលនោះLEDរលត់។ ចំណែករូបទី3.64(គ) គឺជាការដំឡើងសៀគ្វីជាក់ស្តែងដោយប្រើបន្ទះសៀគ្វីផ្ទាល់។

៨.២ ការដំឡើងសៀគ្វីលំយោលត្រង់ស៊ីស្ទ័ រូបទី3.65៖ (សៀគ្វីនេះត្រូវបានប្រើសម្រាប់បង្កើតលំយោលករ (Oscillator)សម្លេង)



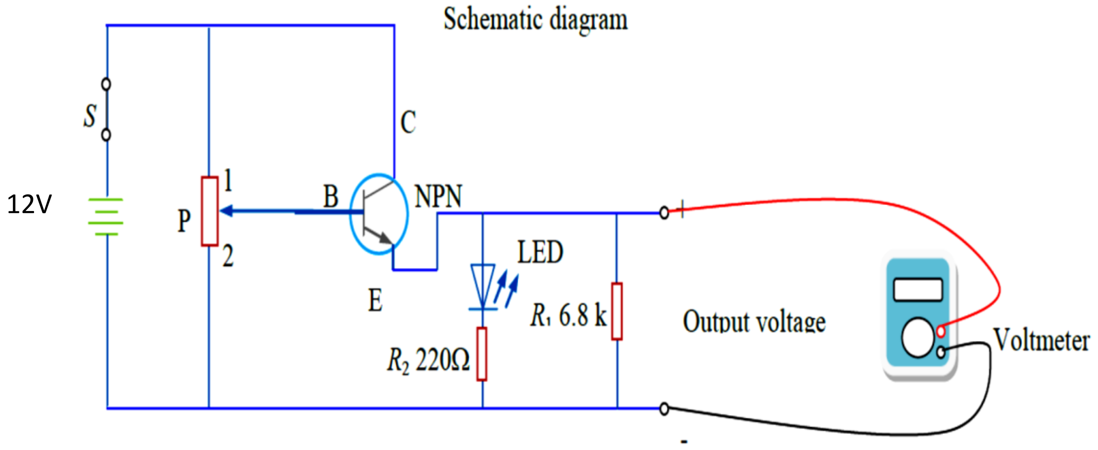


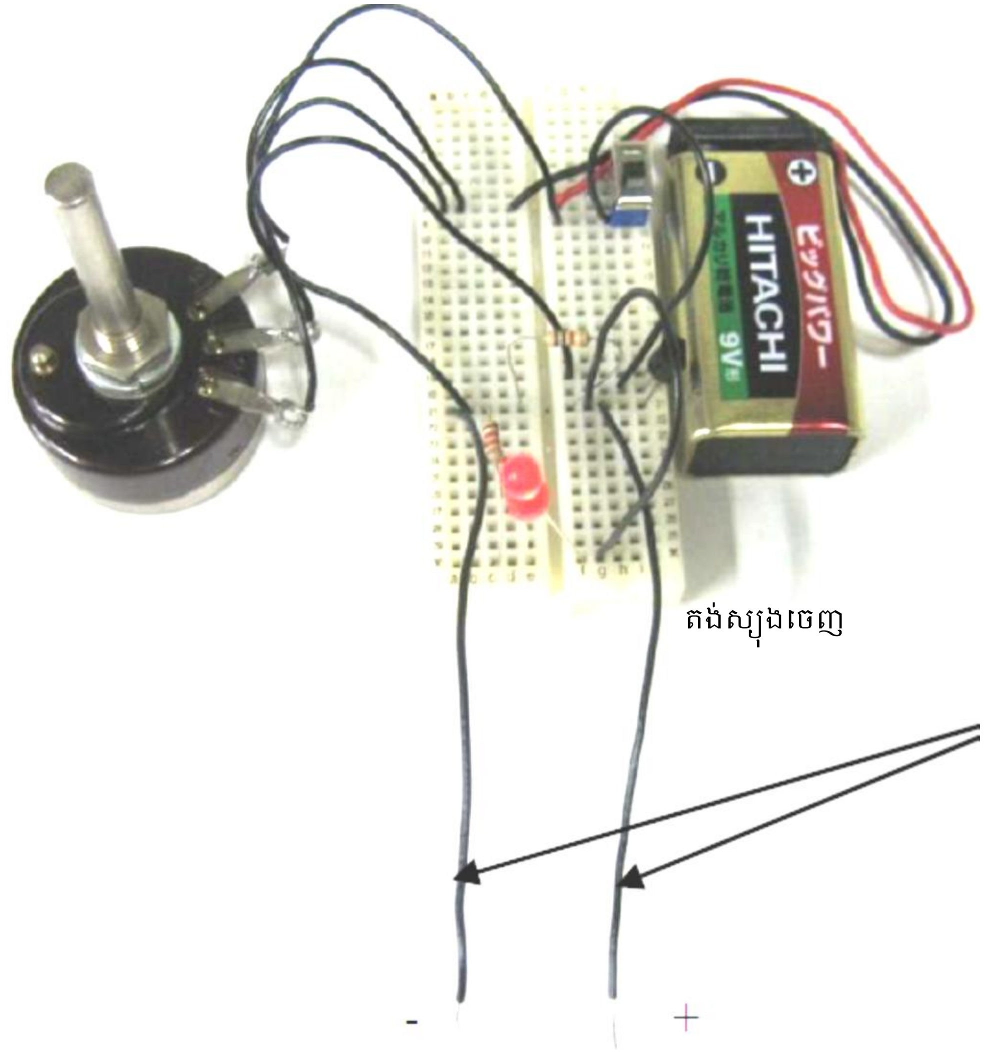
រូបទី3.65 (ក) (ខ)

ការពន្យល់ដំណើរការនៃសៀគ្វី៖ កាលណាកុងតាក់(S)បិទ ចរន្តអគ្គិសនីចេញពីប៉ូល(+)នៃប្រភពឆ្លងកាត់ S R1 M ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ និងN ដើម្បីផ្ទុកកុងដង់សាទ័រC1 ក្នុងពេលជាមួយគ្នានេះត្រង់ស៊ីស្ទ័រទាំងពីរ(Q1 និងQ2) មាននាទីជាកុងតាក់បើក(ចំហ)។ ក្រោយពេលដែលកុងដង់សាទ័រC1ផ្ទុកពេញ វាក៏ផ្ទេរបន្ទុកអគ្គិសនី។ ពេលនោះមានចរន្តអគ្គិសនីឆ្លងកាត់ជើងBនៃត្រង់ស៊ីស្ទ័រQ1(NPN)ដែលធ្វើឱ្យមានចរន្តអគ្គិសនីយ៉ាងធំឆ្លងកាត់ជើងEនៃត្រង់ស៊ីស្ទ័រQ2(PNP)។ ចរន្តអគ្គិសនីនេះចេញតាមជើងB និងជើងCរបស់Q2 ធ្វើឱ្យត្រង់ស៊ីស្ទ័រ ទាំងពីរ(Q1 និងQ2)ដំណើរការ មានន័យថា វាមាននាទីជាកុងតាក់បិទ។ ចរន្តអគ្គិសនីដែលចេញតាមជើង C នៃ Q2 ឆ្លងកាត់ P អូប៉ាល័រ បន្តទៅR2 Q និងទៅដល់ប៉ូល(-)នៃប្រភព និងក្នុងពេលជាមួយគ្នានេះ អូប៉ាល័របន្លឺសម្លេង។

ក្រោយពេលដែលកុងដង់សាទ័រ C1 ផ្ទេរបានបន្តិច វាក៏ចាប់ផ្តើមផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីឡើងវិញ រួចក៏ផ្ទេរបន្ទុកដូចបានពោលខាងលើ។ ចលនានៃការផ្ទុកនិងផ្ទេរបន្ទុកអគ្គិសនីក្នុងកុងដង់សាទ័រជាបន្តបន្ទាប់បែបនេះត្រូវបានគេហៅថា ជីពចរលេក(pulses)។ ចំនួនជីពចរលេកក្នុងមួយវិនាទីត្រូវបានគេហៅថា *ប្រេកង់លំយោល*។ ប្រេកង់លំយោលនេះធ្វើឱ្យកោននៃអូប៉ាល័រញ័រនៅប្រេកង់សម្លេង(សូរ)។ ប្រេកង់សម្លេងដែលត្រចៀកមនុស្សយើងស្តាប់ឮស្ថិតក្នុងចន្លោះពី 20 Hz ទៅ 20 kHz។ សូរដែលមានប្រេកង់ទាបជាង 20 Hz ត្រូវបានគេហៅថាសូរអាំងប្រា និងខ្ពស់ជាង 20 kHz ជាសូរអ៊ុលត្រា។ អ្នកអាចមួលបង្វិលជើងកណ្តាលរបស់ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្ររូបទី3.65 ពេលនោះអ្នកបានសម្លេង(សូរ)ប្រែប្រួល ដែលមានន័យថាប្រេកង់សម្លេងប្រែប្រួល (អាចស្តាប់ឮ ឬស្តាប់មិនឮ)។

៨.៣ ការដំឡើងសៀគ្វី(ផ្ទាំងសាក)បញ្ចូលថ្មពិល ឬទូរស័ព្ទ ចរន្តជាប់DC រូបទី3.65៖





ការពន្យល់ដំណើរការនៃសៀគ្វី៖

កាលណាកុងតាក់(S)បិទ ចរន្តអគ្គិសនីចេញពីប៉ូល(+)នៃប្រភពឆ្លងកាត់កុងតាក់ S និង ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ រួចភ្ជាប(ចូល)ជើង B នៃត្រង់ស៊ីស្ទរ។ ពេលនោះចរន្តអគ្គិសនីយ៉ាងធំចេញពីប៉ូល(+)ឆ្លងកាត់កុងតាក់ S ជើងC ជើងE នៃត្រង់ស៊ីស្ទរ LED និងR2 រួចមកដល់ប៉ូល (-)ប្រភព។ ក្នុងពេលជាមួយគ្នានេះ LEDឆេះភ្លឺ។ គេថាត្រង់ស៊ីស្ទរ(NPN)មាននាទីជាកុងតាក់បិទ។

អ្នកអាចមួល(បង្វិល)ជើងកណ្តាលនៃប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ ដើម្បីបានតង់ស្យុងចេញ(Output) ដែលត្រូវគ្នានឹងឧបករណ៍ដែលអ្នកចង់បញ្ចូល ឬសាក។

សង្ខេបមេរៀន

- សឺមីកុងឌុចទ័រ(semi-conductor)ជារូបជាតុចម្លងអគ្គិសនីដែលស្ថិតរវាងអង្គធាតុចម្លង និងអ៊ីសូឡង់អគ្គិសនី រួមមាន ស៊ីលីស្យូម(Si) ហ្គេម៉ានីញ៉ូម(Ge) សេលេញ៉ូម(Se) កាបូន(C)...។
- ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រជាគ្រឿងអេឡិចត្រូនិកដែលមាន *រេស៊ីស្តង់ប្រែប្រួល* ហើយត្រូវបានប្រើដើម្បីកម្រិត *ចរន្តរត់ឆ្លងកាត់* សៀគ្វី។
- LDRជាគ្រឿងអេឡិចត្រូនិកដែលមាន *រេស៊ីស្តង់ប្រែប្រួល* ដោយអាស្រ័យលើអាំងតង់ស៊ីតេពន្លឺដែលចាំងប៉ះលើផ្ទៃមុខរបស់វា។ នៅទីងងឹត LDR *មានរេស៊ីស្តង់ធំណាស់* (ស្ថិតក្នុងកម្រិត MΩ) ប៉ុន្តែនៅទីភ្លឺ LDR *មានរេស៊ីស្តង់តូច* ។ LDR ត្រូវបានគេប្រើធ្វើជា *សិនស័រពន្លឺ* (Light Sensor) ។
- កុងដង់សាទ័រជាគ្រឿងអេឡិចត្រូនិកដែលត្រូវបានប្រើដើម្បី *ផ្ទុក-ផ្ទេរបន្ទុកអគ្គិសនី*។ វាមាននាទីជា *ប្រភពអគ្គិសនីបណ្ដោះអាសន្ន*។ កុងដង់សាទ័រត្រូវបានប្រើដើម្បីច្រោះចរន្ត(Filter)ពេលដែលបំប្លែងពីរន្តឆ្លាស់ទៅចរន្តជាប់ និងបម្រែបម្រួលប្រេកង់សម្លេង ឬបង់(ប៉ុស្ដិ៍)វិទ្យុ...។
- ឌីយ៉ូត *គឺជាគ្រឿងអេឡិចត្រូនិច និង(គ្រឿង)សឺមីកុងឌុចទ័រដែលមានគោលពីរ មួយជាអាណូត(A)និងមួយទៀតជាកាតូត(C) ហើយវាអាចឱ្យចរន្តឆ្លងកាត់តែតាមទិសដៅពីអាណូត(A)ទៅកាតូត(C)ប៉ុណ្ណោះ។* គេប្រើវាដើម្បីការពារសៀគ្វីពីការឆេះខូចពេលចាប់ប្រភពអគ្គិសនីបញ្ច្រាសគោល(ប៉ូល) និងសំទួយចរន្តពីAC ទៅDC។
- ត្រង់ស៊ីស្ទ័រគឺ *ជា(គ្រឿង)ស៊ីមីកុងឌុចទ័រដែលមានជើង៣ ជើងបាស(B) ជើងកូឡិចទ័រ(C) និងជើងអេមីទ័រ(E)។ត្រង់ស៊ីស្ទ័រមានពីរប្រភេទគឺ NPN និងPNP។ វាដំណើរការកាលណាជើង(B)ភ្លោចចរន្ត គេថាវាជាកុងតាក់បិទ និងវាមិនដំណើរការកាលណាជើង(B)គ្មានចរន្ត គេថាវាជាកុងតាក់បើក។ គេប្រើវាដើម្បីពង្រីកស៊ីញ៉ាល់អគ្គិសនី។*
- ធីរីស្ទ័រឬSCRគឺ *ជា(គ្រឿង)ស៊ីមីកុងឌុចទ័រដែលមានជើង៣ ជើងអាណូតA ជើងកាតូត(C) និងជើងហ្គេតG ។ វាដំណើរការ កាលណាជើងGភ្លោចចរន្ត បើវាមិនភ្លាចទេ នោះSCRមិនដំណើរការទេ។*

សំណួរ និងលំហាត់៖

១. តើរេស៊ីស្តរ និង ប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រជាអ្វី? ហើយវាខុសគ្នាដូចម្ដេច?

២. ចូររៀបរាប់ឈ្មោះឧបករណ៍ដែលប្រើប៉ូតង់ស្យូម៉ែត្រ ដែលអ្នកបានស្គាល់ឱ្យបានប្រាំ។

៣. តើ LDR ជាអ្វី? និងចូរគូសដ្យាក្រាមនៃសៀគ្វីងាយណាមួយដែលមានគ្រឿងអេឡិចត្រូនិចផ្សេងៗ និងមានLDRជាចាំបាច់ រួចពន្យល់ពីដំណើរការនៃសៀគ្វីនោះ។

៤. តើគេប្រើកុងដង់សាទ័រសម្រាប់ធ្វើអ្វីខ្លះ?

៥. តើឌីយ៉ូតជាអ្វី?

៦. តើត្រង់ស៊ីស្តរជាអ្វី? និងមានប៉ុន្មានប្រភេទ? ចូរពន្យល់ពីគោលការណ៍ដំណើការរបស់វានីមួយៗ។

៧. ចូរពន្យល់ពីការវាស់រកជើងត្រង់ស៊ីស្តរដើម្បីដឹងថាវាជាត្រង់ស៊ីស្តរប្រភេទNPN ឬPNP។

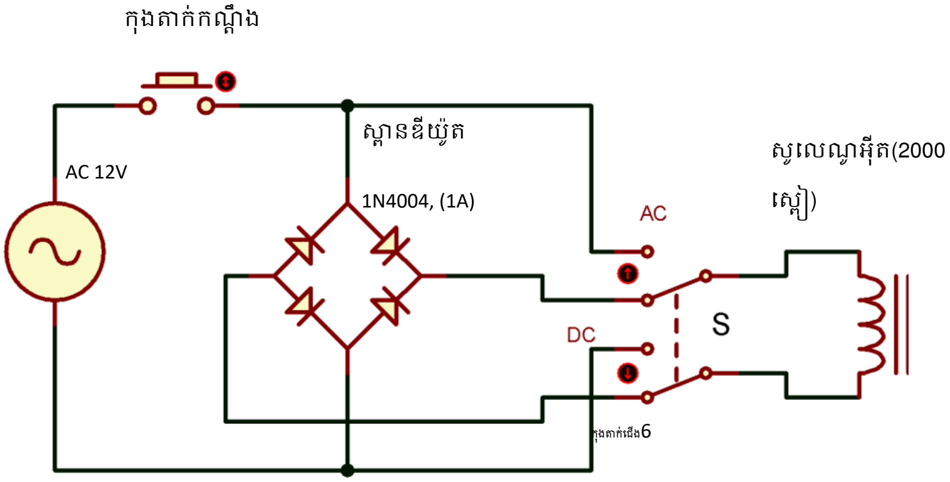
៨. តើSCR ឬធីរីស្តរជាអ្វី? និងចូរពន្យល់ពីគោលការណ៍ដំណើការរបស់វា។

៩. គេដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.32។

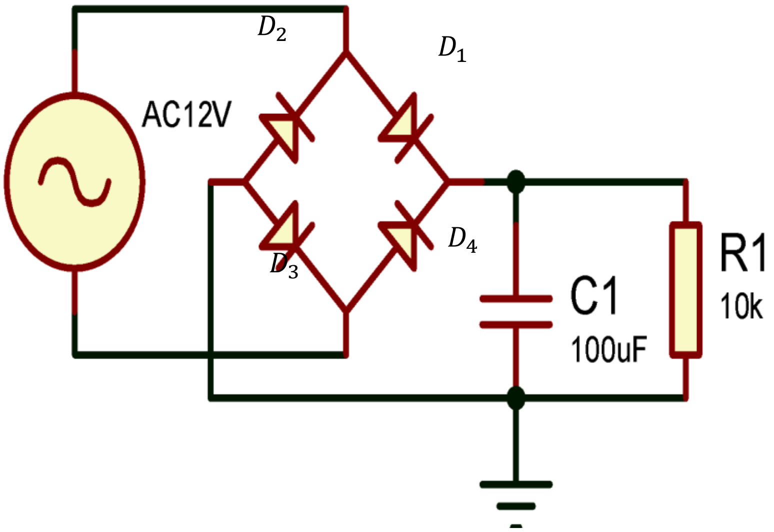
(ក) ចូររៀបរាប់ឈ្មោះគ្រឿងអេឡិចត្រូនិកដែលយកមកប្រើក្នុងដ្យាក្រាមនៃសៀគ្វីនេះ។

(ខ) ចូរពន្យល់ពីដំណើរការនៃសៀគ្វីនេះ។

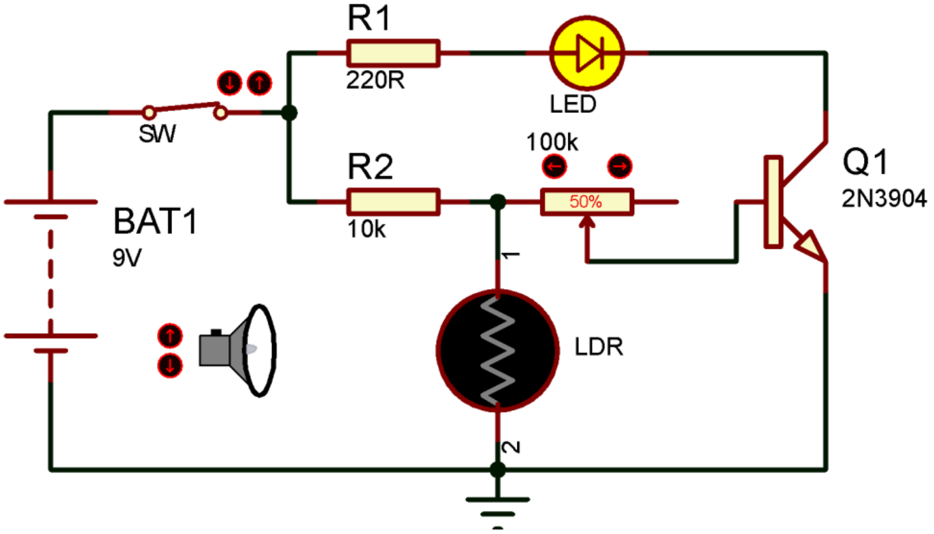
(គ) (បើអាច)ចូរដំឡើងសៀគ្វីនេះលើបន្ទះសៀគ្វីជាក់ស្តែង។



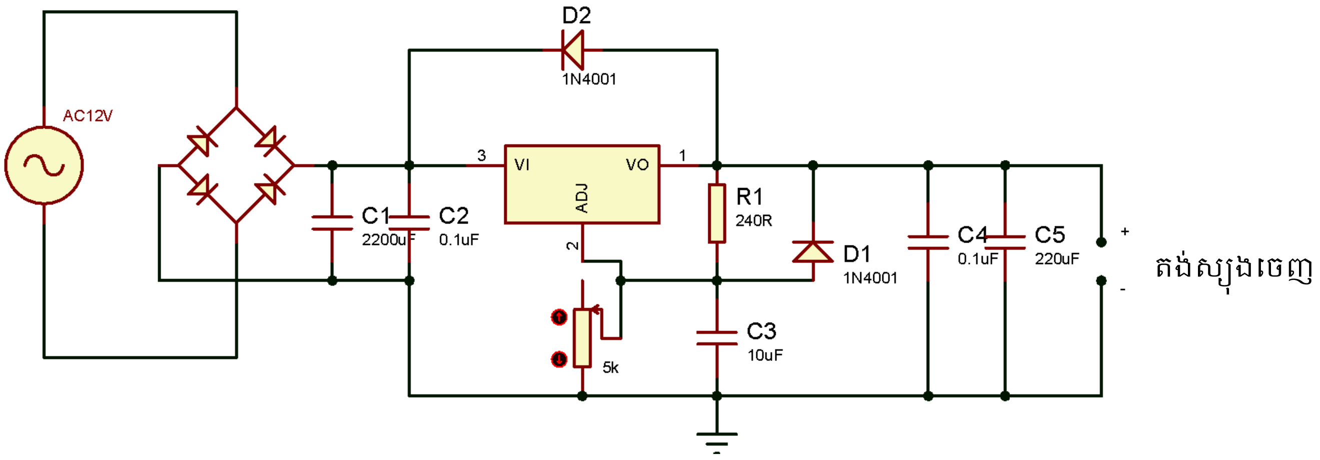
១០. គេដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.56។ (ក) ចូររៀបរាប់ឈ្មោះគ្រឿងអេឡិចត្រូនិកដែលយកមកប្រើក្នុងដ្យាក្រាមនៃសៀគ្វីនេះ។(ខ) ចូរពន្យល់ពីដំណើរការនៃសៀគ្វីនេះ។(គ) (បើអាច)ចូរដំឡើងសៀគ្វីនេះលើបន្ទះសៀគ្វីជាក់ស្តែង។ អ្នកអាចដំឡើងវាដោយប្រើកម្មវិធីE-Lab។



១១. គេដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.64។ (ក) ចូររៀបរាប់ឈ្មោះគ្រឿងអេឡិចត្រូនិកដែលយកមកប្រើក្នុងដ្យាក្រាមនៃសៀគ្វីនេះ។(ខ) ចូរពន្យល់ពីដំណើរការនៃសៀគ្វីនេះ។ (គ) (បើអាច)ចូរដំឡើងសៀគ្វីនេះលើបន្ទះសៀគ្វីជាក់ស្ដែង និងពិនិត្យមើលដំណើរការវាជាក់ស្ដែង។អ្នកអាចដំឡើងវាដោយប្រើកម្មវិធីE-Lab។

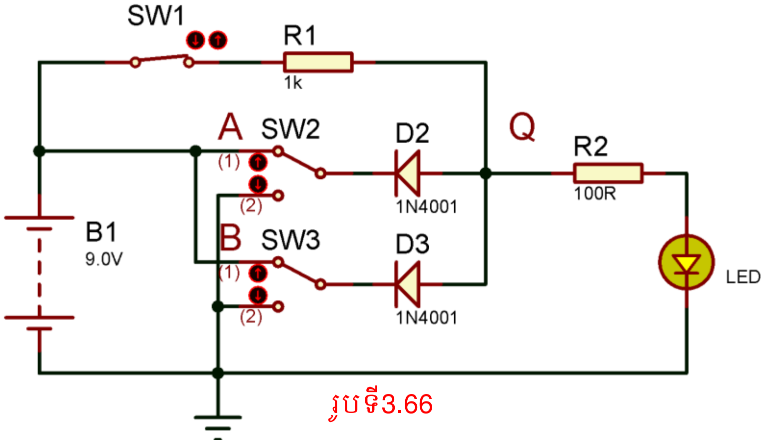


១២. គេដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.65។(ក)ចូររៀបរាប់ឈ្មោះគ្រឿងអេឡិចត្រូនិកដែលយកមកប្រើក្នុងដ្យាក្រាមនៃសៀគ្វីនេះ។(ខ) ចូរពន្យល់ពីដំណើរការនៃសៀគ្វីនេះ។(គ) (បើអាច)ចូរដំឡើងសៀគ្វីនេះលើបន្ទះសៀគ្វីជាក់ស្ដែង និងវាស់តង់ស្យុងចេញដើម្បីពិនិត្យដំណើរការរបស់វា។អ្នកអាចដំឡើងវាដោយប្រើកម្មវិធីE-Lab។



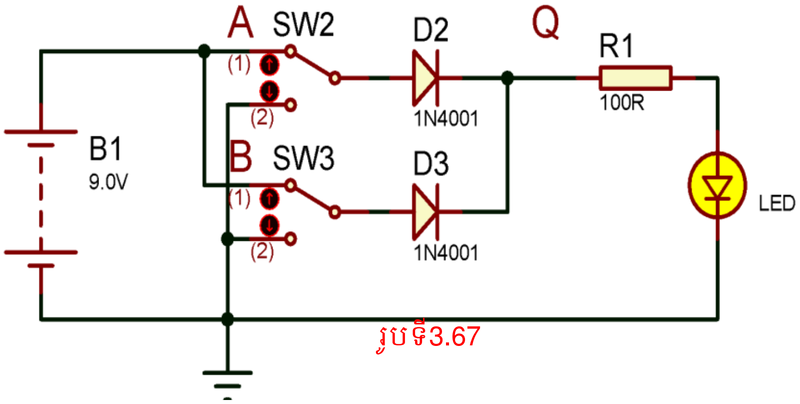
១៣. គេដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.66។ (ក) ចូររៀបរាប់ឈ្មោះគ្រឿងអេឡិចត្រូនិកដែលយកមកប្រើក្នុងដ្យាក្រាមនៃសៀគ្វីនេះ។(ខ) ចូរពន្យល់ពីដំណើរការនៃសៀគ្វីនេះ។(គ) (បើអាច)ចូរដំឡើងសៀគ្វីនេះលើបន្ទះ

សៀគ្វីជាក់ស្តែង និងវាស់តង់ស្យុងចេញដើម្បីពិនិត្យដំណើរការរបស់វា។ អ្នកអាចដំឡើងវាដោយប្រើកម្មវិធីE-Lab។ (សៀគ្វីនេះត្រូវបានគេស្គាល់ថាជាទ្វារតក្កៈAND)



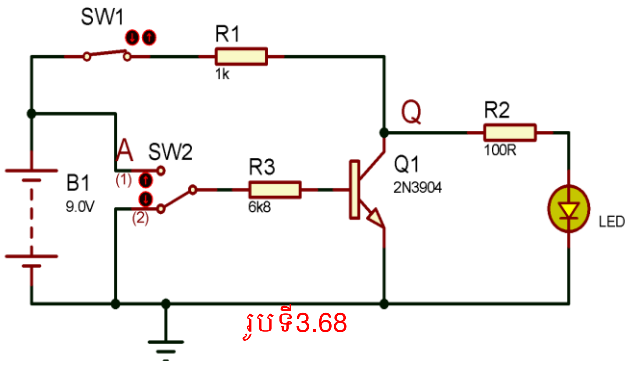
រូបទី3.66

១៤. គេដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.67។ (ក) ចូររៀបរាប់ឈ្មោះគ្រឿងអេឡិចត្រូនិកដែលយកមកប្រើក្នុងដ្យាក្រាមនៃសៀគ្វីនេះ។(ខ) ចូរពន្យល់ពីដំណើរការនៃសៀគ្វីនេះ។(គ) (បើអាច)ចូរដំឡើងសៀគ្វីនេះលើបន្ទះសៀគ្វីជាក់ស្តែង និងវាស់តង់ស្យុងចេញដើម្បីពិនិត្យដំណើរការរបស់វា។ អ្នកអាចដំឡើងវាដោយប្រើកម្មវិធីE-Lab។ (សៀគ្វីនេះត្រូវបានគេស្គាល់ថាជាទ្វារតក្កៈOR)



រូបទី3.67

១៥. គេដំឡើងសៀគ្វីដូចរូបទី3.68។ (ក) ចូររៀបរាប់ឈ្មោះគ្រឿងអេឡិចត្រូនិកដែលយកមកប្រើក្នុងដ្យាក្រាមនៃសៀគ្វីនេះ។(ខ) ចូរពន្យល់ពីដំណើរការនៃសៀគ្វីនេះ។(គ) (បើអាច)ចូរដំឡើងសៀគ្វីនេះលើបន្ទះសៀគ្វីជាក់ស្តែង និងវាស់តង់ស្យុងចេញដើម្បីពិនិត្យដំណើរការរបស់វា។ អ្នកអាចដំឡើងវាដោយប្រើកម្មវិធីE-Lab។ (សៀគ្វីនេះត្រូវបានគេស្គាល់ថាជាទ្វារតក្កៈNOT ឬINVERTER)។



រូបទី3.68

ពិសោធន៍ទ្វារតក្ក

វត្ថុបំណង៖

- គូរនិមិត្តសញ្ញានិងដ្យាក្រាមនៃទ្វារតក្ក។
- ពន្យល់កន្សោមប៊ូលៀននិងដំណើរការនៃទ្វារតក្ក។
- អនុវត្តក្នុងការរស់នៅប្រចាំថ្ងៃនិងក្នុងបច្ចេកទេស។

ភាពតក្ក	
ពិត	មិនពិត
1	0
ខ្ពស់	ទាប
+Vs	0 V
បិទ	បើក

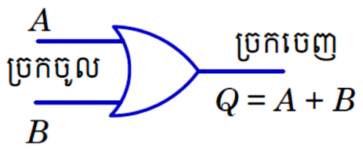
សៀគ្វីដែលប្រើដើម្បីដំណើរការស៊ីញ៉ាល់ឌីជីថលត្រូវបានហៅថា ទ្វារតក្ក។ វាជាប្រព័ន្ធគោលពីរនៅក្នុងធម្មជាតិ ហើយជាសៀគ្វីឌីជីថលដែលមានច្រកចូលមួយឬច្រើន ប៉ុន្តែមានច្រកចេញតែមួយ។ ច្រកចេញលេចឡើងសម្រាប់តែការ បន្សំជាក់លាក់នៃកម្រិតតក្កច្រកចូលប៉ុណ្ណោះ។ ទ្វារតក្កគឺជាប្លុកជាតុបង្គគ្រឹះដែលភាគច្រើននៃប្រព័ន្ធឌីជីថល។ លេខ 0 និង 1 តាងឱ្យភាពដែលអាចមានពីរនៃសៀគ្វីតក្ក។ ភាពពីរនេះអាចត្រូវបានហៅថា "បិទ" និង "បើក" ឬ "ខ្ពស់" និង "ទាប" ឬ "ពិត" និង "មិនពិត"។

១. ទ្វារតក្កគ្រឹះ

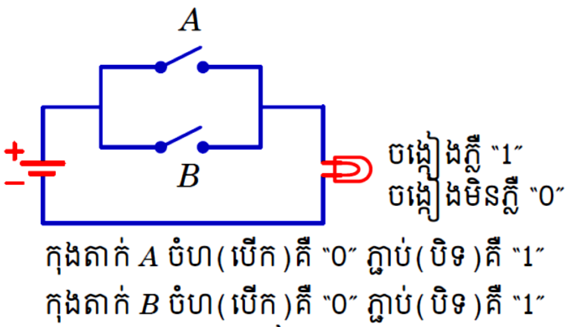
ជាតុគ្រឹះបង្កើតជាប្រព័ន្ធឌីជីថលគឺទ្វារ *OR, AND* និង *NOT*។ ទ្វារទាំងបីនេះហៅថា ទ្វារតក្កគ្រឹះ។ រាល់ច្រកចូលនិងច្រកចេញដែលអាចកើតមាននៃសៀគ្វីតក្កគឺបានតាងនៅក្នុងតារាងហៅថា តារាង ភាពពិត។ មុខងារនៃទ្វារគ្រឹះទាំងនេះគឺបានពន្យល់ខាងក្រោមជាមួយនឹងសៀគ្វីនិងតារាងភាពពិត។

១.១. ទ្វារ *OR*

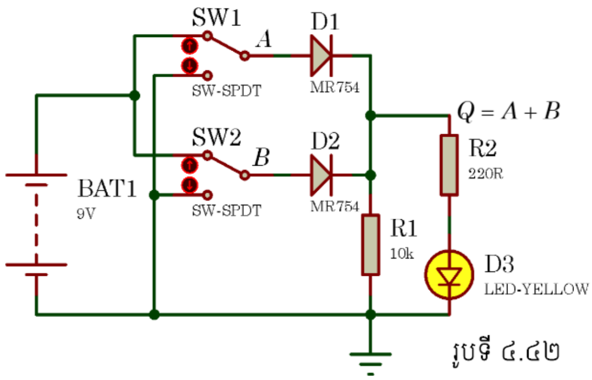
ទ្វារ *OR* មានច្រកចូលពីរឬច្រើន ប៉ុន្តែមានច្រកចេញតែមួយ ហើយច្រកចេញគឺខ្ពស់ បើច្រកចូលមួយណាឬទាំងអស់ខ្ពស់។ និមិត្តសញ្ញាតក្កនៃទ្វារច្រកចូល *OR* បានបង្ហាញក្នុងរូបទី ៤-៤២(ក)។ កន្សោមប៊ូលៀនតាងទ្វារ *OR* ដោយ $Q = A + B$ (សញ្ញា + អានជា *OR*)។



(ក) និមិត្តតក្ក



(ខ) សៀគ្វីអគ្គិសនី



រូបទី ៤.៤២

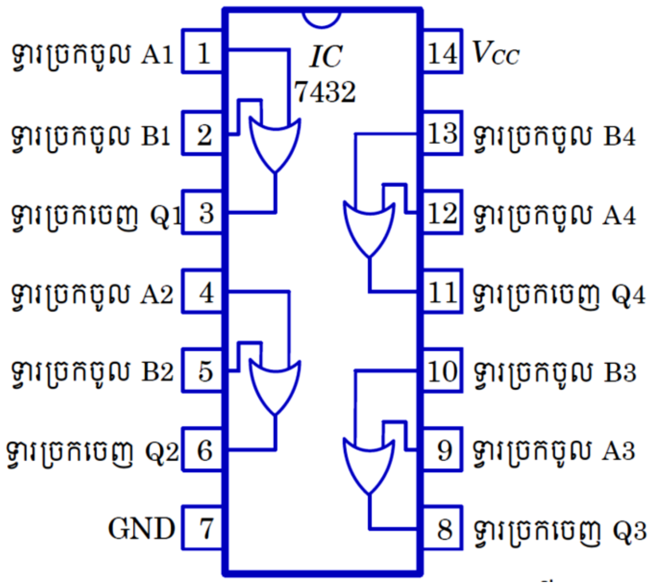
តារាងភាពពិតនៃទ្វារ *OR*

ប្រកចូល		ប្រកចេញ	ពណ៌នា
A	B	$Q = A + B$	
0	0	0	A ចំហនិង B ចំហ, ចង្កៀងមិនភ្លឺ
0	1	1	A ចំហនិង B ភ្ជាប់, ចង្កៀងភ្លឺ
1	0	1	A ភ្ជាប់និង B ចំហ, ចង្កៀងភ្លឺ
1	1	1	A ភ្ជាប់និង B ភ្ជាប់, ចង្កៀងភ្លឺ

-

- សៀគ្វី *IC* នៃទ្វារ *OR*

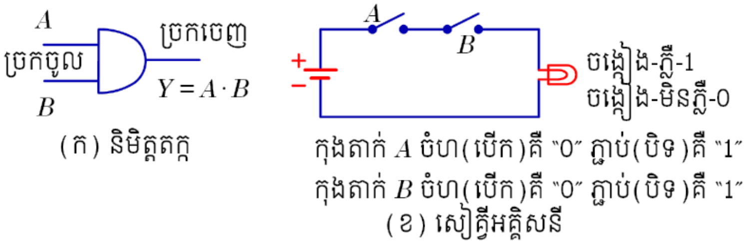
ទ្វារអនុវត្តប្រតិបត្តិការវិធីចែកតក្កដែលស្គាល់ជាទ្វារ *OR*។ សៀគ្វី *IC* ប្រើសម្រាប់ទ្វារ *OR* ហើយឌីដ្យាក្រាមជើង *IC* នៃទ្វារ *OR* គឺ 7432 Quad 2 input OR Gates ៖

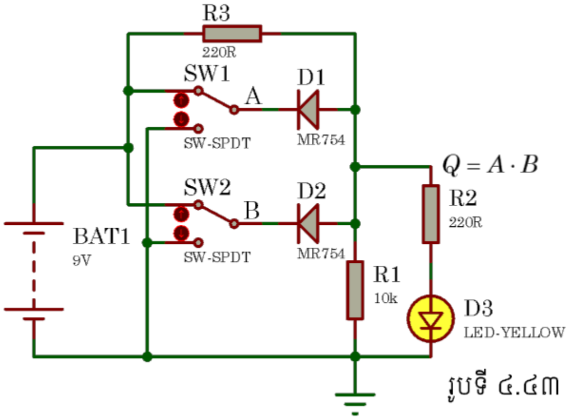


ជើង *IC* នៃប្រកចូលគឺ (1,2), (4,5), (9,10), (12,13) និងជើង *IC* នៃប្រកចេញគឺ (3,6,8,11) ហើយ V_{CC} គឺ 14 និង *GND* គឺ 7។

១.២. ទ្វារ *AND*

ទ្វារ *AND* មានប្រកចូលពីរឬច្រើន ប៉ុន្តែប្រកចេញមួយប៉ុណ្ណោះ ហើយប្រកចេញខ្ពស់និងប្រកចូលទាំងពីរគឺខ្ពស់។ និមិត្តសញ្ញាតក្កនៃទ្វារប្រកចូល *AND* បង្ហាញក្នុងរូបទី ៤-៤៣(ក)។ $Q = A \cdot B$ (សញ្ញា "•" អានជា *AND*) ហើយទ្វារ *AND* បង្ហាញជាសៀគ្វីអគ្គិសនីដូចក្នុងរូបទី ៤-៤៣(ខ) ដែលក្នុងនោះកុងតាក់បានតភ្ជាប់ជាស៊េរី។ នៅពេល *A* និង *B* បិទ នោះចង្កៀងភ្លឺ ហើយប្រកចេញគឺខ្ពស់។





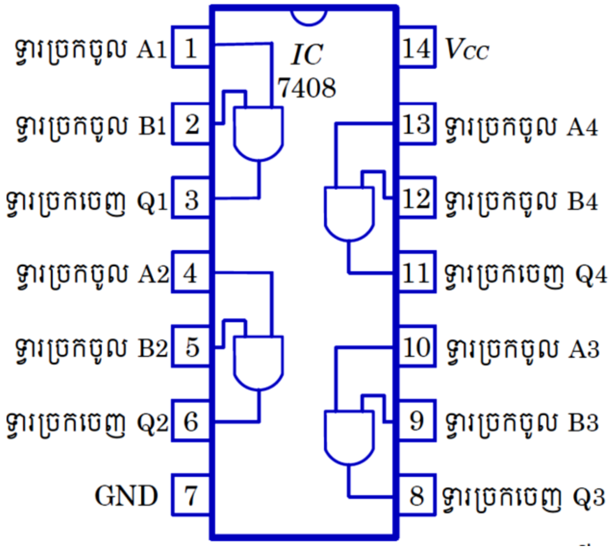
តារាងភាពពិតនៃទ្វារ *AND*

ច្រកចូល		ច្រកចេញ	ពណ៌នា
A	B	$Q = A \cdot B$	
0	0	0	A ចំហនិង B ចំហ, ចង្កៀងមិនភ្លឺ
0	1	0	A ចំហនិង B ភ្ជាប់, ចង្កៀងមិនភ្លឺ
1	0	0	A ភ្ជាប់និង B ចំហ, ចង្កៀងមិនភ្លឺ
1	1	1	A ភ្ជាប់និង B ភ្ជាប់, ចង្កៀងភ្លឺ

រូបទី ៤.៤៣

- សៀគ្វី *IC* នៃទ្វារ *AND*

ទ្វារ *AND* អនុវត្តការប្រតិបត្តិវិធីគុណឌីជីថលដែលស្គាល់ជាទូទៅថា មុខងារ *AND*។ សៀគ្វី *IC* ប្រើសម្រាប់ទ្វារ *AND* គឺ *IC* 7408 ហើយឌីដ្យាក្រាមជើង *IC* នៃទ្វារ *AND* គឺ 7408 Quad 2 input AND Gates ៖



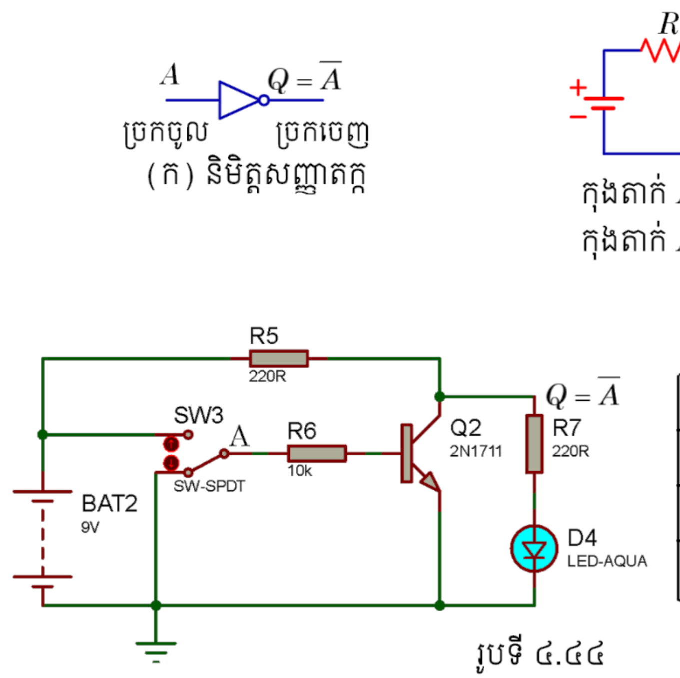
ជើង *IC* នៃប្រកចូលគឺ (1,2), (4,5), (9,10), (12,13) និងជើង *IC* នៃប្រកចេញគឺ (3,6,8,11) ហើយ V_{CC} គឺលេខ 14 និង *GND* គឺលេខ 7។

១.៣. ទ្វារ *NOT*

ទ្វារ *NOT* ជាទ្វារដែលមានប្រកចូលតែមួយនិងប្រកចេញមួយ។ វាត្រូវបាន គេហៅថាដូច្នេះ ដោយសារតែ ប្រកចេញរបស់វាគឺបំពេញបន្ថែមទៅនឹងប្រកចូល។ វាត្រូវបានគេស្គាល់ថាជា អាំងវ៉ែទ័រ។ រូបទី ៤-៤៤(ក) បង្ហាញនិមិត្តសញ្ញាតក្កសម្រាប់ ទ្វារ *NOT*។ កន្សោមប៊ូលៀនដែលតាងឱ្យប្រតិបត្តិការ *NOT* គឺ $Q = \bar{A}$។

ទ្វារ *NOT* ដូចជា សៀគ្វីអគ្គិសនីដូចបង្ហាញក្នុងរូបទី ៤-៤៤(ខ)។ នៅពេលដែលកុងតាក់ A បានបិទ ប្រកចូលគឺខ្ពស់ ហើយអំពូលនឹងមិនភ្លឺទេ ប្រកចេញគឺទាបហើយផ្ទុយមកវិញ។

រូបទី ៤-៥៤(គ)ជាត្រង់ស៊ីស្ទ័រនៅក្នុងរបៀបរួមអេមីតទ័រដែលបានប្រើជាទ្វារ *NOT* ។ នៅពេលប្រកចូល *A* គឺខ្ពស់ ត្រង់ស៊ីស្ទ័រស្ថិតក្នុងភាពឆ្អែត ហេតុដូច្នេះហើយ ប្រកចេញ *Q* គឺទាប។ បើ *A* គឺទាប ត្រង់ស៊ីស្ទ័រកាត់ផ្តាច់ ដូច្នេះ ប្រកចេញ *Q* គឺខ្ពស់។ អាស្រ័យហេតុនេះ រាល់ពេលដែលប្រកចូលគឺខ្ពស់ នោះប្រកចេញគឺទាប ហើយផ្ទុយមកវិញ។ ប្រតិបត្តិការនៃទ្វារ *NOT* បង្ហាញក្នុងតារាងភាពពិត *NOT*។



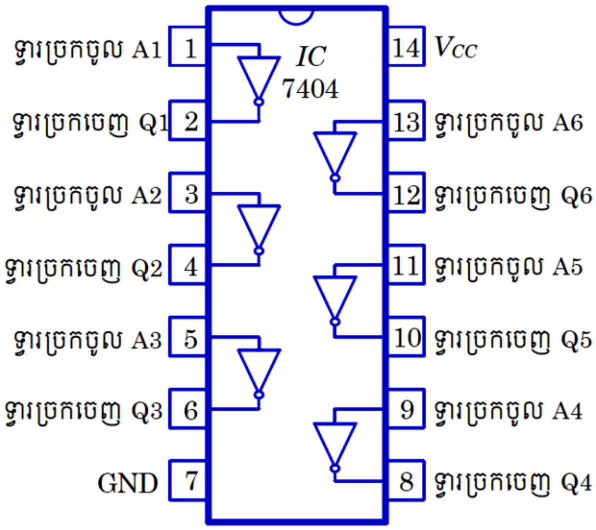
តារាងភាពពិតនៃទ្វារ *NOT*

ប្រកចូល	ប្រកចេញ
A	$Q = \bar{A}$
1	0
0	1

រូបទី ៤.៤៤

- **សៀគ្វី *IC* នៃទ្វារ *NOT***

ប្រកទ្វារដែលអនុវត្តការប្រព្រឹត្តទៅបញ្ច្រាសត្រូវបានហៅថា ទ្វារ *NOT*។ សៀគ្វី *IC* ប្រើសម្រាប់ទ្វារ *NOT* ហើយឌីជ្យាក្រាមជើង *IC* នៃទ្វារ *NOT* គឺ *IC* 7404 Hex NOT Gates (Inverters) ៖

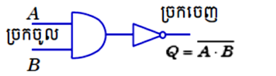


ជើង *IC* នៃប្រកចូលគឺ (1,3,5,9,11,13) និងជើង *IC* នៃប្រកចេញគឺ (2,4,6,8,10,12) ហើយ V_{CC} គឺ 14 និង *GND* គឺ 7។

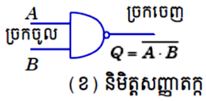
២. ទ្វារតក្កសកល

២.១. ទ្វារ *NAND*

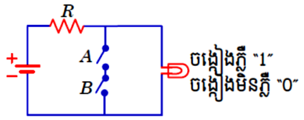
ទ្វារនេះជាទ្វារ *NOT-AND*។ វាបានដោយការភ្ជាប់ទ្វារ *NOT* នៅប្រកចេញនៃទ្វារ *AND* ក្នុងរូបទី ៤-៤៥ (ក)។ និមិត្តសញ្ញាតក្កសម្រាប់ទ្វារ *NAND* បង្ហាញក្នុងរូបទី ៤-៤៥(ខ)។ មុខងារទ្វារ *NAND* គឺប្រាសនៃមុខងារទ្វារ *AND* ។ ទ្វារ *NAND* នឹងមានប្រកចេញ លុះត្រាតែ ប្រកចូលទាំងពីរគឺមិនមែន 1។ម្យ៉ាងវិញទៀត វាផ្តល់ប្រកចេញ 1 បើ *A* ឬ *B* ឬទាំងពីរគឺ 0។ ប្រតិបត្តិការនៃទ្វារ *NAND* បានតាងនៅក្នុងតារាងភាពពិត *NAND*។



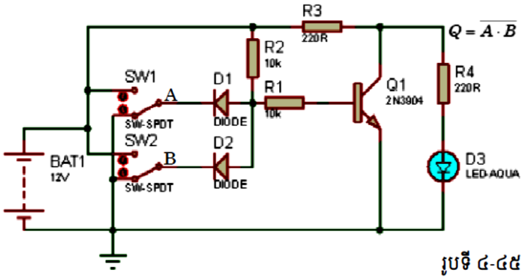
(ក) ទ្វារ *AND* បង្កើតដោយទ្វារ *NOT*



(ខ) និមិត្តសញ្ញាតក្ក



កុងតាក់ *A* ចំហ(បើក)គឺ "0" ភ្ជាប់(បិទ)គឺ "1"
កុងតាក់ *B* ចំហ(បើក)គឺ "0" ភ្ជាប់(បិទ)គឺ "1"
(គ) សៀគ្វីអគ្គិសនី



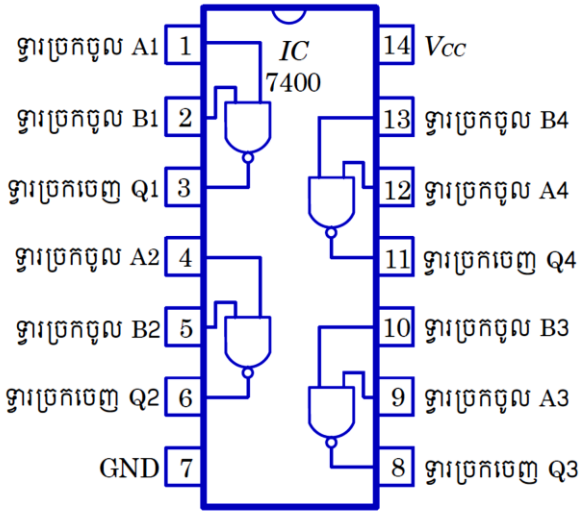
តារាងភាពពិតនៃទ្វារ *NAND*

ប្រកចូល		ប្រកចេញ	ពណ៌នា
A	*B*	$Q = \overline{A \cdot B}$	
0	0	1	*A* ចំហនិង *B* ចំហ, ចង្កៀងភ្លឺ
0	1	1	*A* ចំហនិង *B* ភ្ជាប់, ចង្កៀងភ្លឺ
1	0	1	*A* ភ្ជាប់និង *B* ចំហ, ចង្កៀងភ្លឺ
1	1	0	*A* ភ្ជាប់និង *B* ភ្ជាប់, ចង្កៀងមិនភ្លឺ

រូបទី ៤-៤៥

- **សៀគ្វី *IC* នៃទ្វារ *NAND***

ការបន្សំទ្វារ *NOT* និងទ្វារ *AND*។ ម្យ៉ាងទៀត ទ្វារ *NAND* គឺជាការបញ្ច្រាសទ្វារ *AND*។ ឌីយ៉ាក្រាមជើង *IC* នៃទ្វារ *NOR* គឺ *IC* 7400 Quad 2 input NAND៖

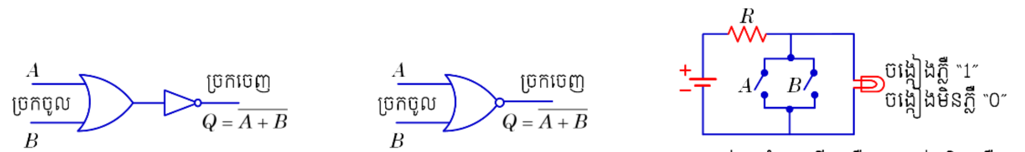


ជើង *IC* នៃប្រកចូលគឺ (1,2), (4,5), (9,10), (12,13) និងជើង *IC* នៃប្រកចេញគឺ (3, 6, 8, 11) ហើយ V_{CC} គឺ 14 និង *GND* គឺ 7៖

២.២. ទ្វារ *NOR*

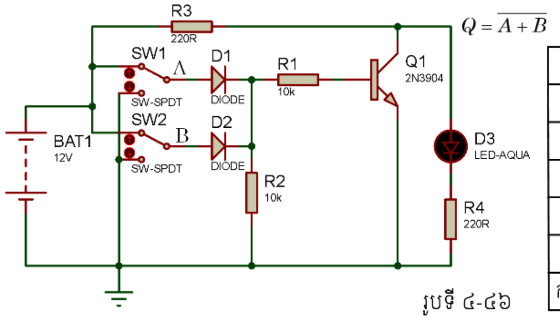
ទ្វារនេះគឺទ្វារ *NOT-OR*។ វាបង្កើតចេញពីទ្វារ *OR* ដោយភ្ជាប់អាំងវែទ័រនៅប្រកចេញរបស់វាក្នុងរូបទី ៤-៤៦(ក)។ និមិត្តសញ្ញាតក្កសម្រាប់ទ្វារ *NOR* បង្ហាញក្នុងរូបទី ៤-៤៦(ខ)។ មុខងារទ្វារ *NOR* គឺចម្រាស់នៃមុខ

ងារទ្វារ *OR*។ ទ្វារ *NOR* នឹងមានប្រកចេញ លុះត្រាតែ ប្រកចូលទាំងពីរគឺ 0។ នៅក្នុងទ្វារ *NOR* ប្រកចេញគឺខ្ពស់ លុះត្រាប្រកចូលគឺទាប។ ប្រតិបត្តិការ *NOR* តាងនៅក្នុងតារាង។



(ក) ទ្វារ *OR* តាម *NOT*　　(ខ) និមិត្តសញ្ញាតក្ក

កុងតាក់ *A* ចំហ(បើក)គឺ "0" ភ្ជាប់(បិទ)គឺ "1"
កុងតាក់ *B* ចំហ(បើក)គឺ "0" ភ្ជាប់(បិទ)គឺ "1"
(គ) សៀគ្វីអគ្គិសនី



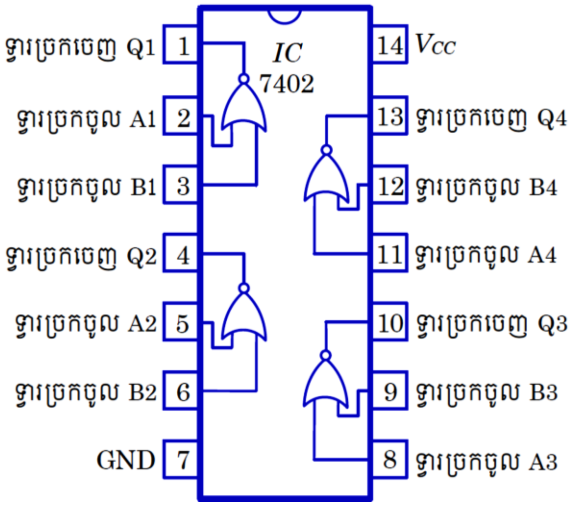
តារាងភាពពិតនៃទ្វារ *NOR*

ប្រកចូល		ប្រកចេញ	ពណ៌នា
A	*B*	$Q = \overline{A+B}$	
0	0	1	*A* ចំហនិង *B* ចំហ, ចង្កៀងភ្លឺ
0	1	0	*A* ចំហនិង *B* ភ្ជាប់, ចង្កៀងមិនភ្លឺ
1	0	0	*A* ភ្ជាប់និង *B* ចំហ, ចង្កៀងមិនភ្លឺ
1	1	0	*A* ភ្ជាប់និង *B* ភ្ជាប់, ចង្កៀងមិនភ្លឺ
កន្សោមប៊ូលៀន $(\overline{A}\,\mathrm{OR}\,\overline{B})$			$\overline{A+B}$

រូបទី ៤-៤៦

- **សៀគ្វី *IC* នៃទ្វារ *NOR***

ការបញ្ច្រាសនៃទ្វារ *OR*។ ឌីដ្យាក្រាមជើង *IC* នៃទ្វារ *NOR* គឺ *IC* 7402 Quad 2 input NOR Gates ៖



ជើង *IC* នៃប្រកចូលគឺ (2,3), (5,6), (8,9), (11, 12) និងជើង *IC* នៃប្រកចេញគឺ (1, 4, 10, 13) ហើយ V_{CC} គឺ 14 និង *GND* គឺ 7។

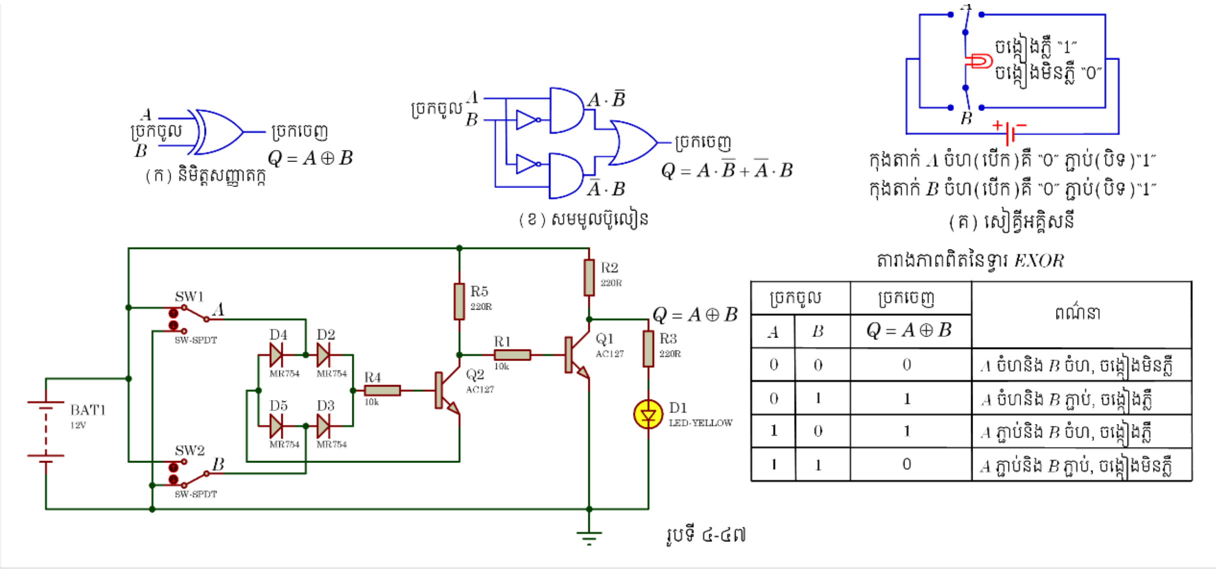
៣. ទ្វារតក្កផ្សេងទៀត

៣.១. ទ្វារ *EX-OR*

និមិត្តសញ្ញាតក្កសម្រាប់ទ្វារ *EXOR* បង្ហាញក្នុងកន្សោមប៊ូលៀន ហើយបង្ហាញដំណើរការទ្វារ *EXOR* គឺ

$$Q = A \oplus B$$

ទ្វារ *EXOR* មានច្រកចេញ 1 លុះត្រាតែច្រកចូលបានបំពេញគ្នាទៅវិញទៅមក។ សៀគ្វីកុងតាក់សមមូលបង្ហាញក្នុងរូបទី៤-៤៧(ខ)។ ទីតាំងកុងតាក់ *A* និង *B* ជាលក្ខណៈនីមួយៗធ្វើឱ្យចង្កៀងភ្លឺ។ ប៉ុន្តែ ការបន្សំនៃ *A* និង *B* គឺមិនអាចទៅរួចបានទេ។ ដំណើរការទ្វារ *EX-OR* បានបង្ហាញក្នុងតារាង។



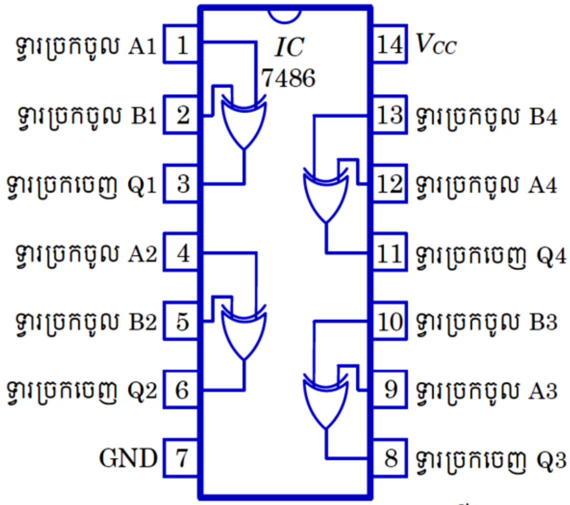
តារាងភាពពិតនៃទ្វារ *EXOR*

ច្រកចូល		ច្រកចេញ	ពណ៌នា
A	*B*	$Q = A \oplus B$	
0	0	0	*A* ចំហនិង *B* ចំហ, ចង្កៀងមិនភ្លឺ
0	1	1	*A* ចំហនិង *B* ភ្ជាប់, ចង្កៀងភ្លឺ
1	0	1	*A* ភ្ជាប់និង *B* ចំហ, ចង្កៀងភ្លឺ
1	1	0	*A* ភ្ជាប់និង *B* ភ្ជាប់, ចង្កៀងមិនភ្លឺ

រូបទី ៤-៤៧

- **សៀគ្វី *IC* នៃទ្វារ *EXOR***

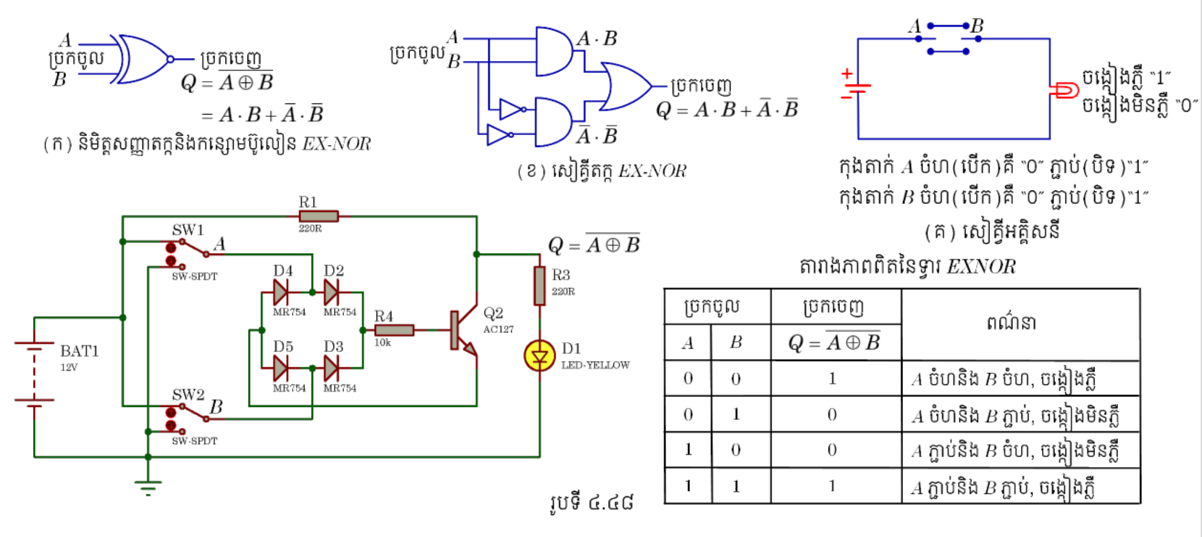
ប្រើនៅក្នុងសៀគ្វីរកឃើញកំហុស ឧបករណ៍ប្រៀបធៀបតក្កព័ត៌មាននិងសៀគ្វីតក្កនព្វន្ធ។ឌីដ្យាក្រាមជើង *IC* នៃទ្វារ *X-OR* គឺ *IC* 7486 Quad 2 input XOR Gates ៖



ជើង *IC* នៃច្រកចូលគឺ (1,2), (4,5), (9,10), (12,13) និងជើង *IC* នៃច្រកចេញគឺ (3, 6, 8, 11) ហើយ V_{CC} គឺ 14 និង *GND* គឺ 7។

៣.២. ទ្វារ *EX-NOR*

ទ្វារ *EX-NOR* គឺជាការបំពេញបន្ថែមនៃទ្វារ *EX-OR*។ ច្រកចេញនៃទ្វារ *EX-NOR* គឺខ្ពស់នៅពេលគ្រប់ច្រកចូលគឺដូចគ្នា ឯច្រកចេញគឺទាប(រូបទី ៤-៤៨)។



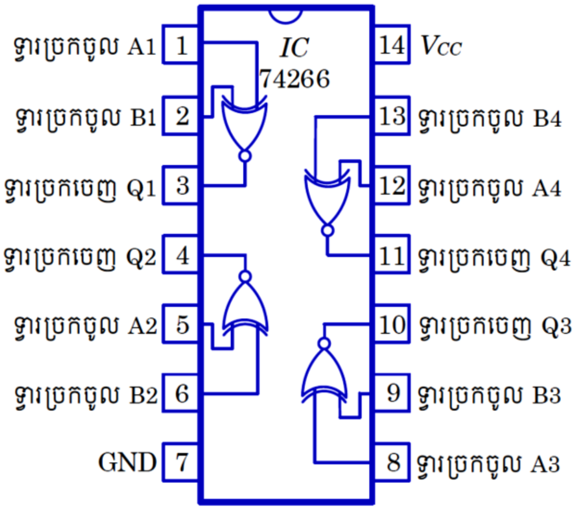
តារាងភាពពិតនៃទ្វារ *EXNOR*

ច្រកចូល		ច្រកចេញ	ពណ៌នា
A	*B*	$Q=\overline{A\oplus B}$	
0	0	1	*A* ចំហនិង *B* ចំហ, ចង្កៀងភ្លឺ
0	1	0	*A* ចំហនិង *B* ភ្ជាប់, ចង្កៀងមិនភ្លឺ
1	0	0	*A* ភ្ជាប់និង *B* ចំហ, ចង្កៀងមិនភ្លឺ
1	1	1	*A* ភ្ជាប់និង *B* ភ្ជាប់, ចង្កៀងភ្លឺ

រូបទី ៤.៤៨

- **សៀគ្វី *IC* នៃទ្វារ *EXNOR***

ជាទ្វារ *XOR* ដែលច្រកចេញដាក់បញ្ច្រាស។ ឌីយ៉ាក្រាមជើង *IC* នៃទ្វារ *XNOR* គឺ *IC* 47266 Quad 2 input XNOR Gates ៖



ជើង *IC* នៃច្រកចូលគឺ (1, 2), (5, 6), (8, 9), (12, 13) និងច្រកចេញគឺ (3, 4, 10, 11) ហើយ V_{CC} គឺ 14 និង *GND* គឺ 7។

៤. សង្ខេបតារាងភាពពិត

តារាងភាពពិតសង្ខេបខាងក្រោមបង្ហាញភាពច្រកចេញសម្រាប់ប្រភេទ 2-ទ្វារច្រកចូលនិង3-ទ្វារច្រកចូល។

2-ទ្វារច្រកចូល							
ច្រកចូល		ច្រកចេញនៃទ្វារ					
A	*B*	*OR*	*AND*	*NAND*	*NOR*	*EX-OR*	*EX-NOR*
0	0	0	0	1	1	0	1
0	1	1	0	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	0	1

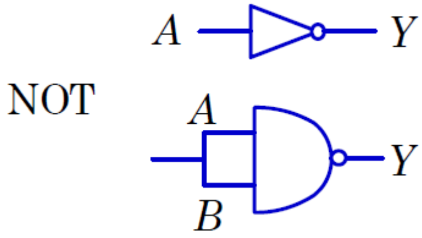
3-ទ្វារច្រកចូល						
ច្រកចូល			ច្រកចេញនៃទ្វារ			
A	*B*	*C*	*OR*	*AND*	*NAND*	*NOR*
0	0	0	0	0	1	1
0	0	1	1	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0

0	1	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1	0
1	0	1	1	0	1	0
1	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	1	0	0

៥. ការបន្សំនៃទ្វារតក្ក

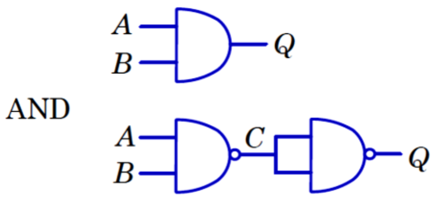
របៀបដែលទ្វារ *NAND* (*NOT-AND*) ប្រើដើម្បីទទួលបានមុខងារស្តង់ដាណាមួយដោយប្រើតែប្រភេទទ្វារតែមួយនេះ។

- *NOT*: ការភ្ជាប់ច្រកចូលទាំងពីរនៃទ្វារ *NAND* រួមគ្នាបង្កើតមុខងារ *NOT* ។
-



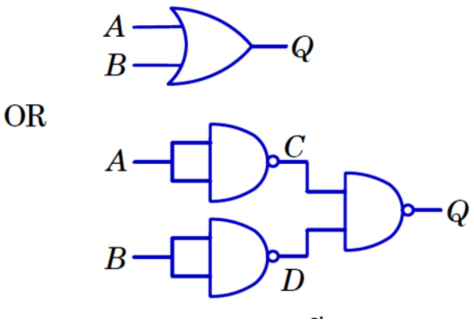
A	B	Y
0	0	1
1	1	0

- *AND*: ការបន្ថែមមុខងារ *NOT* (អាំងវែទ័រ) ទៅច្រកចេញនៃទ្វារ *NAND* បង្កើតមុខងារ *AND* ។



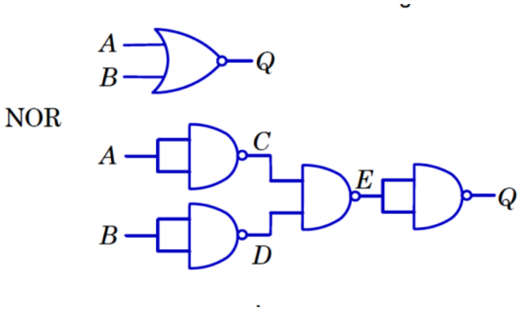
A	B	C	Q
0	0	1	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

- *OR:* ការបញ្ច្រាសច្រកចូលទាំងពីរទៅទ្វារ *NAND* បង្កើតមុខងារ *OR*។
-



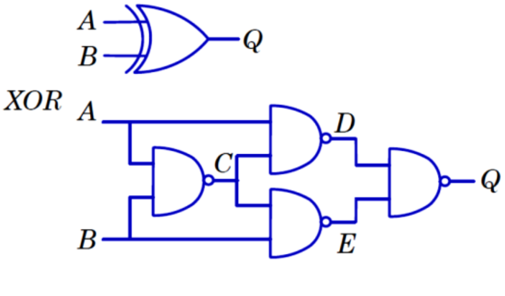
A	*B*	*C*	*D*	*Q*
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	1
1	1	0	0	1

- *NOR:* ការប្រើមុខងារ *NOT* ដើម្បីបញ្ច្រាសច្រកចេញនៃមុខងារ *OR* មុខងារ *NOR*។
-



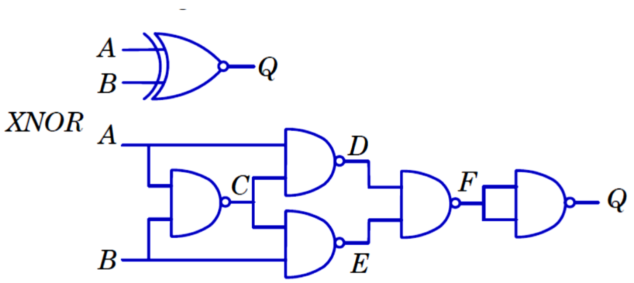
A	*B*	*C*	*D*	*E*	*Q*
0	0	1	1	0	1
0	1	1	0	1	0
1	0	0	1	1	0
1	1	0	0	1	0

- *XOR:* ទ្វារ *NAND* បួន (សៀគ្វី *IC* ទោល) ដែលភ្ជាប់ដូចបានបង្ហាញបង្កើតមុខងារ *XOR* (ហើយសៀគ្វី Quad *NAND IC* គឺប្រហែល 15% ថោកជាង Quad *XOR IC*)។



A	*B*	*C*	*D*	*E*	*Q*
0	0	1	1	1	0
0	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	1
1	1	0	1	1	0

- *XNOR:* ការបញ្ច្រាសច្រកចេញនៃមុខងារ *XOR* បង្កើតមុខងារ *XNOR*។



A	B	C	D	E	F	Q
0	0	1	1	1	0	1
0	1	1	1	0	1	0
1	0	1	0	1	1	0
1	1	0	1	1	0	1

៦. ការអនុវត្តទ្រឹស្តីទ្វារ *NAND*

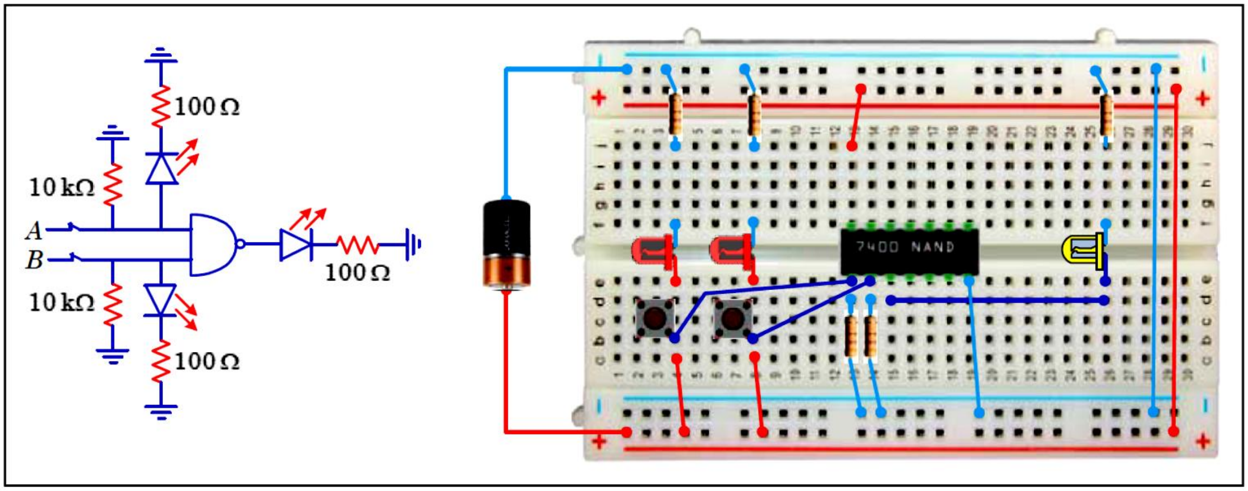
យើងប្រើទ្វារ *NAND* ជាឧទាហរណ៍មួយដើម្បីបញ្ជាក់មុខងាររបស់វានៅក្នុងសៀគ្វី *IC*។ សមាសធាតុបន្សំរួមមានៈ

១. ជនិតា(ថ្មពិល) 3V   ២. បន្ទះសៀគ្វី(បន្ទះគម្រោង)

៣. រេស៊ីស្ទ័រ 10 kΩ ចំនួន ២ និង 100 Ω ចំនួន ៣

៤. ឌីយ៉ូដ 1N4148 ចំនួន ៣   ៥. *IC* 7400 ចំនួន ១

៦. ថ្មពិល 1 V ចំនួន ១   ៧. កុងតាក់ចំនួន ២



ដំណើរការនៃប្រព័ន្ធត្រូវបានបង្ហាញនៅក្នុងផ្នែក ២.១. ក្នុងទ្វារ *NAND*។

មេរៀនសង្ខេប

. ទ្វារតក្កគ្រឹះគឺ *OR, AND* និង *NOT* បង្កើតជាប្រព័ន្ធឌីជីថល ហើយវាមានកន្សោមប៊ូលៀន សម្រាប់ទ្វារ *OR* គឺ $Q = A + B$, ទ្វារ *AND* គឺ $Q = A \cdot B$ និងទ្វារ *NOT* គឺ $Q = \bar{A}$។

. ទ្វារតក្កសកលគឺ *NAND* និង *NOR* ។ ទ្វារ *NAND* ផ្សំពី *NOT-AND* ហើយទ្វារ *NOR* ផ្សំពី *NOT-OR* ។ ប្រកចេញភ្ជាប់អាំងវែទ័រនិងមានកន្សោមប៊ូលៀនគឺ $Q = \overline{A \cdot B}$ សម្រប់ទ្វារ *NAND* និងកន្សោមប៊ូលៀនសម្រាប់ទ្វារ *NOR* គឺ $Q = \overline{A + B}$ ។

. ទ្វារ *EXOR* មានកន្សោមប៊ូលៀន $Q = A \oplus B$និងទ្វារ *EXNOR* មានកន្សោមប៊ូលៀន $Q = \overline{A \oplus B}$។

. សៀគ្វី *IC* នៃទ្វារ

- *OR* គឺ 7432 Quad 2 input *OR* Gates
- AND គឺ 7408 Quad 2 input *AND* Gates
- *NOT* គឺ 7404 Hex *NOT* Gates (Inverters)
- NAND គឺ 7400 Quad 2 input *NAND* Gates
- NOR គឺ 7402 Quad 2 input *NOR* Gates
- *EXOR* គឺ 7486 Quad 2 input *XOR* Gates
- *EXNOR* គឺ 47266 Quad 2 input *XNOR* Gates

. បន្សំទ្វារតក្ក *NAND* តែមួយប្រភេទដើម្បីបង្កើតទ្វារ *NOT*, *AND*, *OR*, *NOR*, *XOR* និង *XNOR*។

. អនុវត្តទ្រឹស្តីទ្វារ *NAND*។

លំហាត់

១. សរសេរកន្សោមប៊ូលៀនសម្រាប់ទ្វារ *AND*។

២. ចូរកំណត់ទ្វារតក្ក។

៣. តើទ្វារសកលគឺជាអ្វី? ចូរឱ្យឧទាហរណ៍។

៤. បើប្រកចូល 0 បានអនុវត្តនៅលើទ្វារ *NOT* តើប្រកចេញនឹងទៅជាយ៉ាងណា?

៥. សរសេរកន្សោមប៊ូលៀនសម្រាប់ទ្វារ *OR*?

៦. តើទ្វារតក្កមួយណាបានគេស្គាល់ថាជា អាំងវែទ័រ?

ពិសោធន៍ចំណាំងផ្លាត និងចំណាំងបែរនៃពន្លឺ

❖ ចំណាំងបែរនៃពន្លឺ

១. វត្ថុបំណង

វិជ្ជាសម្បទា៖ រៀបរាប់ការដំឡើងឧបករណ៍ពិសោធន៍បានត្រឹមត្រូវដោយប្រើ E-Lab។

បំណិនសម្បទា៖ កំណត់សំទុះចំណាំងបែរនៃទឹកបានត្រឹមត្រូវតាមពិសោធន៍E-Lab។

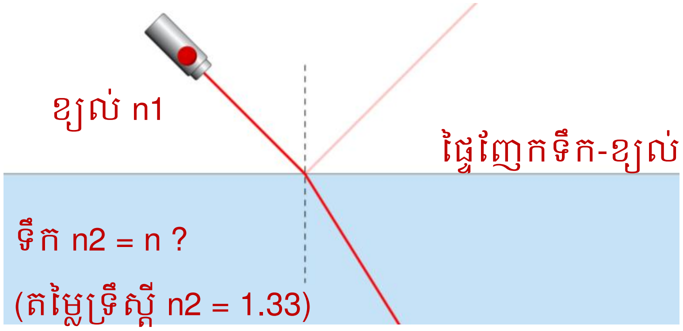
ចរិយាសម្បទា៖ ចូលរួមចំណែកក្នុងការទុកដាក់ និងប្រើប្រាស់ឧករណ៍ចំណាំងបែរនៃពន្លឺក្នុងការរស់នៅរាល់ថ្ងៃ និងក្នុងបច្ចេកទេសបានត្រឹមត្រូវតាមលក្ខណៈបច្ចេកទេស។

២. ចំណេះដឹងមូលដ្ឋាន (ទ្រឹស្តីសំខាន់ៗ)

- ច្បាប់ចំណាំងបែរ (ច្បាប់ដេកាត)ទី២នៃពន្លឺ ឬច្បាប់ Snell៖ $n_1 \sin i = n_2 \sin r$
- ទំនាក់ទំនងមាត្រក្នុងត្រីកោណកែង $\tan\theta = \frac{\text{ជ្រុងឈម}}{\text{អ៊ីប៉ូតេនុស}}$
- សមីការបន្ទាត់ និងមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់

៣. ពិសោធន៍

លំនាំបញ្ហា ឬការបង្ហាញបាតុភូត



៣.១ សំណួរគន្លឹះ

ប្រសិនបើគេឱ្យពន្លឺដាលពីខ្យល់ទៅប៉ះផ្ទៃញែកនៃទឹក-ខ្យល់ ពេលនោះពន្លឺមួយភាគធំដាលចូលទៅក្នុងទឹក តើអ្នកអាចកំណត់សន្ទស្សន៍ទឹកបានយ៉ាងដូចម្តេច?

៣.២ សម្មតិកម្ម

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

តម្រុយ៖ត្រូវគិតពីច្បាប់ដេកាតទី២ (ច្បាប់Snell) ច្បាប់ចំណាំងបែរទី២។ បន្ទាប់មកត្រូវគូសក្រាប រួចកំណត់មេគុណប្រាប់ទិសតាមក្រាប។ តើមេគុណប្រាប់ទិសនោះជាអ្វី?

៣.៣ តេស្តសម្មតិកម្ម(ដំណើរការ)

(ក) តម្រូវការសម្ភារៈ (តាមE-Lab)

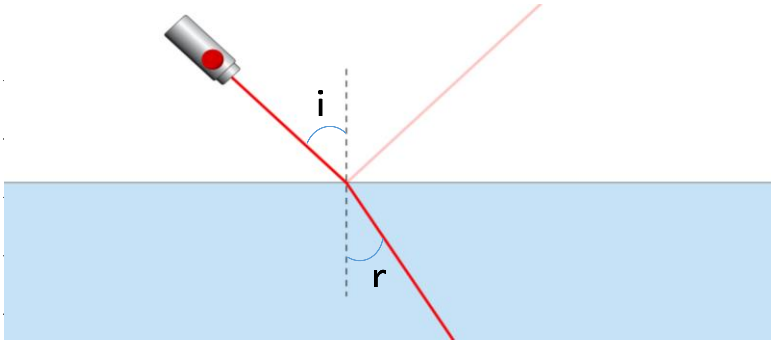
....

....

....

....

(ខ) ប្លង់ពិសោធន៍

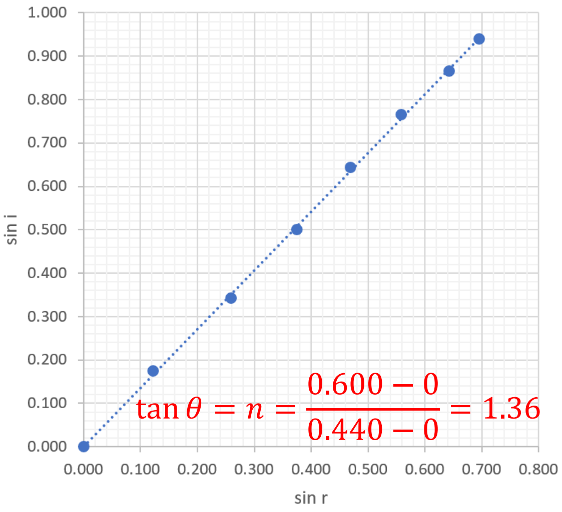


....

៣.៤ លទ្ធផល

តារាងទិន្នន័យ និងពិសោធន៍

i (Degree)	r (Degree)	Sin r	Sin i
0	0	0	0
10	7.0	0.122	0.174
20	15	0.259	0.342
30	22	0.375	0.500
40	28	0.469	0.643
50	34	0.559	0.766
60	40	0.643	0.866
70	44	0.695	0.940



%កម្រិតល្អៀង = $\left|\frac{1.33-1.36}{1.33}\right| \times 100\%$ = 2.26%

៣.៥ សន្និដ្ឋាន

....

....

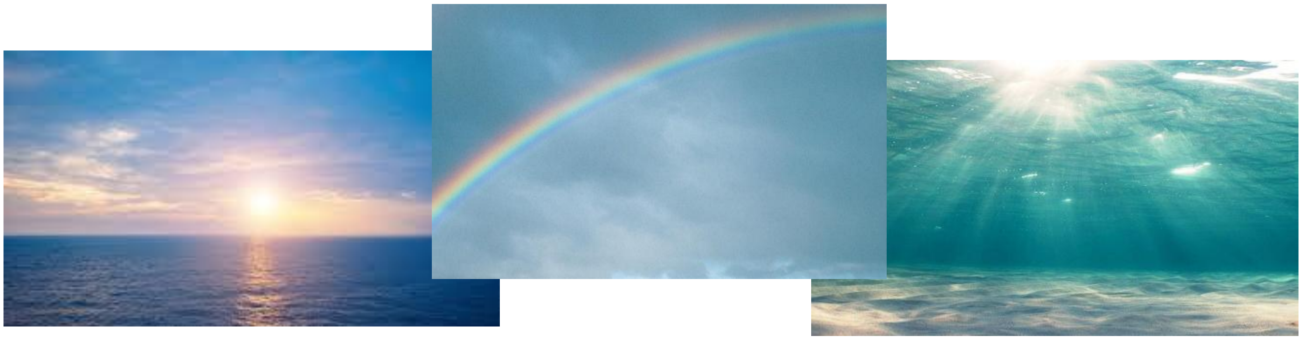
....

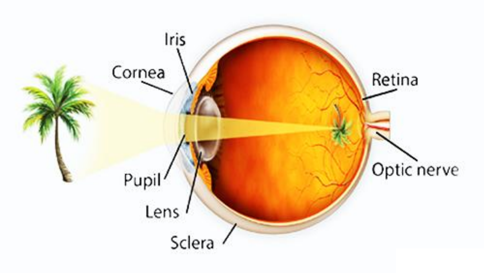
....

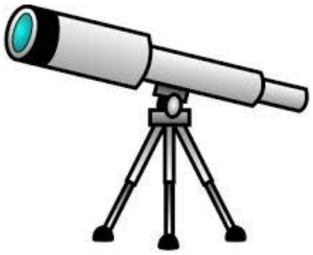
.... ។

៤. ពិភាក្សា៖

តើចំណាំបែរនៃពន្លឺត្រូវបានអនុវត្តក្នុងការរស់នៅរាល់ថ្ងៃនៅកន្លែងណាខ្លះ?







តើអ្នកត្រូវទុកដាក់ឧករណ៍អុបទិចខាងលើយ៉ាងដូចម្តេចដើម្បីចៀសវាងពីការធាប់ខូច?

ពិសោធន៍ចម្ងាយកំណុំរបស់ឡង់ទី

១. វត្ថុបំណង

- សង់រូបភាពនៃវត្ថុដែលឲ្យដោយឡង់ទីបង្រួមដោយប្រើកាំពិសេស ។
- កំណត់ចម្ងាយកំណុំនៃឡង់ទីបង្រួមតាមរូបភាពពិតនៃវត្ថុដែលនៅឆ្ងាយ និងតាមវត្ថុ និងរូបភាពដែលមានចម្ងាយកំណត់ ។
- កំណត់ផលសងភាគរយនៃចម្ងាយកំណុំ(%Diff.) និងកម្រិតល្អៀងស្តង់ដារបស់វា(α_f)។

១. ទ្រឹស្តី

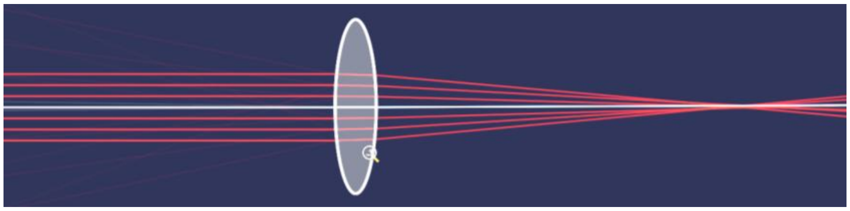
- **ចំណុចកំណុំ និងចម្ងាយកំណុំឡង់ទីបង្រួម (f)**

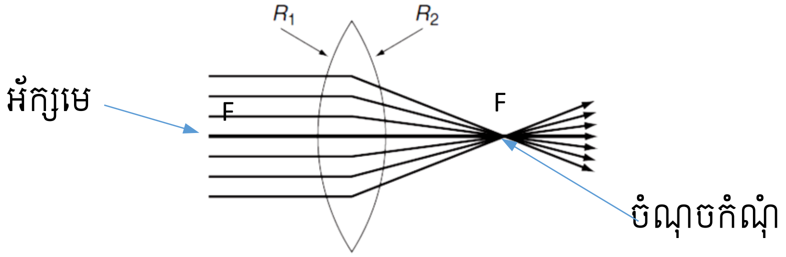
កាលណាបាច់ពន្លឺចាំងប៉ះលើឡង់ទីបង្រួមស្របនឹងអ័ក្សមេ ពេលចេញពីឡង់ទី បាច់ពន្លឺនេះត្រូវរួមគ្នាត្រង់ចំណុចមួយលើអ័ក្សមេ ចំណុចនេះហៅថាចំណុចកំណុំនៃឡង់ទី។ ចម្ងាយគិតពីចំណុចកណ្តាល នៃឡង់ទីទៅចំណុចកំណុំត្រូវបានគេហៅថាចម្ងាយកំណុំ តាងដោយ (f)។ ចំពោះឡង់ទីបង្រួម $f > 0$ (រូបទី១)។

- **ចំណុចកំណុំ និងចម្ងាយកំណុំឡង់ទីពង្រីក (f)**

កាលណាបាច់ពន្លឺចាំងប៉ះលើឡង់ទីពង្រីកស្របនឹងអ័ក្សមេ ពេលចេញពីឡង់ទីបាច់ពន្លឺនេះត្រូវបានពង្រីក និងបន្លាយនៃបាច់ពន្លឺនេះជួបគ្នាត្រង់ចំណុចមួយលើអ័ក្សមេ ចំណុចនេះហៅថាចំណុចកំណុំនៃឡង់ទី។ ចម្ងាយគិតពីចំណុចកណ្តាលនៃឡង់ទីទៅចំណុចកំណុំត្រូវបានគេហៅថាចម្ងាយកំណុំ តាងដោយ (f)។ ចំពោះឡង់ទីពង្រីក $f < 0$ (រូបទី២)។

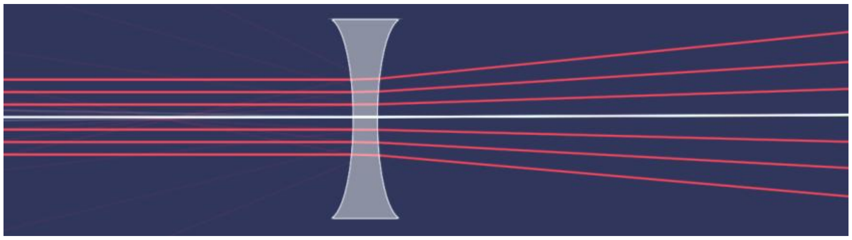
ឡង់ទីបង្រួម

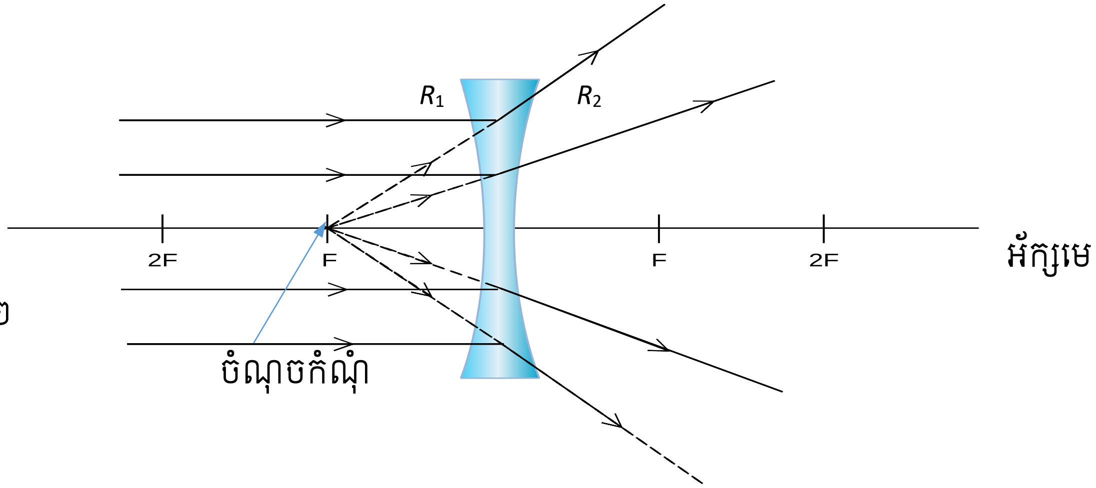




រូបទី១

ឡង់ទីពង្រីក





រូបទី២

➢ **រូបមន្តឡង់ទី**

ទំនាក់ទំនងរវាង ចម្ងាយកំណុំ(f) សន្ទស្សន៍(n) និងកាំកំណោង(R)

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

n សន្ទស្សន៍របស់ឡង់ទី

f ចម្ងាយកំណុំ, $f > 0$ ចំពោះឡង់ទីបង្រួម និង $f < 0$ ចំពោះឡង់ទីពង្រីក

R_1 និង R_2 កាំកំណោងរបស់ឡង់ទីបង្រួម ($R_1 > 0$ និង $R_2 < 0$)

R_1 និង R_2 កាំកំណោងរបស់ឡង់ទីពង្រីក ($R_1 < 0$ និង $R_2 > 0$)

ទំនាក់ទំនងរវាង ចម្ងាយកំណុំ(f) ចម្ងាយវត្ថុ(d) និងចម្ងាយរូបភាព(d')

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d'}$$

f ចម្ងាយកំណុំ, $f > 0$ ចំពោះឡង់ទីបង្រួម និង $f < 0$ ចំពោះឡង់ទីពង្រីក

d ចម្ងាយវត្ថុ, បើ $d > 0$ វត្ថុពិត និង $d < 0$ វត្ថុមិនពិត

d' ចម្ងាយរូបភាព, បើ $d' > 0$ រូបភាពពិត និង $d' < 0$ រូបភាពមិនពិត

កម្រិតពង្រីកទំហំរូបភាព(M)

$$M = \frac{A'B'}{AB} = -\frac{d'}{d}$$

បើ M > 0 រូបភាព និងវត្ថុមានទិសដៅដូចគ្នា

បើ M < 0 រូបភាព និងវត្ថុមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា

- **សំណង់រូបភាពរបស់វត្ថុឲ្យដោយឡង់ទី**

ដើម្បីសង់រូបភាពនៃវត្ថុដែលឲ្យដោយឡង់ទី គេត្រូវប្រើកាំពិសេសពីរឬបីក្នុងបណ្តាកាំពិសេសបី៖

ក. កាំពិសេសទី១

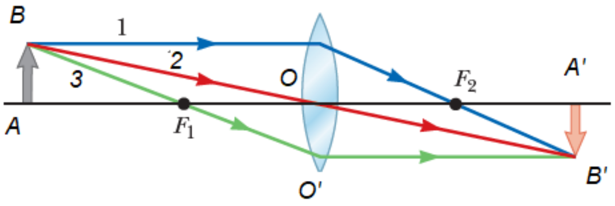
កាំចាំងប៉ះលើឡង់ទីស្របនឹងអ័ក្សមេ ពេលចេញពីឡង់ទីកាត់តាមចំណុចកំណុំ F_2 ដែលនៅពីក្រោយឡង់ទី។

ខ. កាំពិសេសទី២

កាំចាំងប៉ះលើឡង់ទីកាត់តាមកំពូល(O)នៃឡង់ទី ដាលត្រង់គ្មានវងលំងាក។

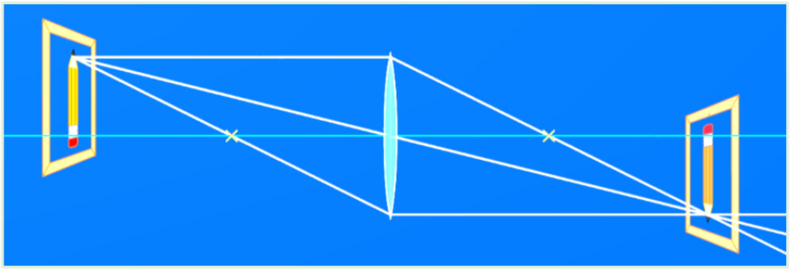
គ. កាំពិសេសទី៣

កាំចាំងប៉ះលើឡង់ទីកាត់តាមចំណុចកំណុំF_1 ដែលនៅពីខាងមុខឡង់ទី ពេលចេញពីឡង់ទី ស្របនឹងអ័ក្សមេ។



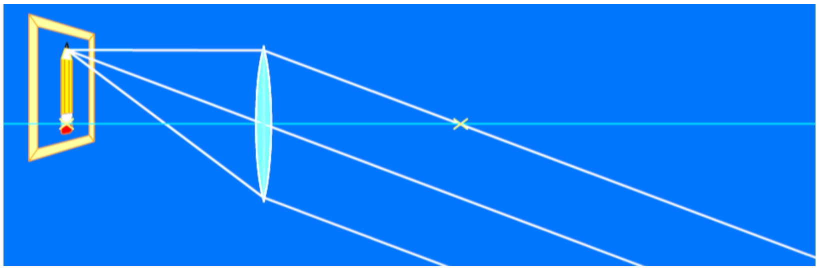
+ បើវត្ថុនៅឯអនន្ត យើងបាន $d = \infty$ នោះ $\frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{d'}$ ដូចនេះ $d' = f$ មានន័យថាចម្ងាយរូបភាពស្មើនឹងចម្ងាយកំណុំ ដែលបញ្ជាក់ថារូបភាពស្ថិតត្រង់ចំណុចកំណុំ(រូបទី១ និងទី២ខាងលើ)។

+ បើវត្ថុស្ថិតនៅចម្ងាយ $d = 2f$ ពីមុខឡង់ទី នោះ $\frac{1}{f} = \frac{1}{2f} + \frac{1}{d'}$ យើងបានរូបភាពដែលស្ថិតនៅខាងក្រោយឡង់ទីក៏ស្ថិតនៅចម្ងាយ $d' = 2f$ ដែរ និងកម្ពស់រូបភាពស្មើនឹងកម្ពស់វត្ថុ(រូបទី៣)។



រូបទី៣

+ បើវត្ថុស្ថិតនៅចម្ងាយ $d = f$ ពីមុខឡង់ទី នោះ $\frac{1}{f} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d'}$ យើងបាន d'
$= \infty$ រូបភាពនៅអនន្ត(រូបទី៤)។



រូបទី៤

- ករណីឡង់ទីពីរដាក់ប៉ះគ្នា(បិទភ្ជាប់គ្នា) ឡង់ទីមួយមានចម្ងាយកំណុំ f_1 និងឡង់ទីមួយទៀតមានចម្ងាយកំណុំ f_2 នោះចម្ងាយកំណុំសមមូល f នៃឡង់ទីថ្មីដែលផ្សំពីឡង់ទីទាំងពីរបិទភ្ជាប់គ្នាឲ្យដោយៈ

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

- ផលសងភាគរយ(%$Diff$)នៃចម្ងាយកំណុំ

$$\%Diff = \left|\frac{f_{theo} - f_{exp}}{\frac{f_{theo} + f_{exp}}{2}}\right| \times 100\%$$

- លំងាកស្តង់ដានៃចម្ងាយកំណុំ

$$\delta_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_i (f_i - \bar{f})^2}$$

- កម្រិតល្អៀងស្តង់ដានៃចម្ងាយកំណុំ

$$\alpha_f = \frac{\delta_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

ក្នុងការធ្វើពិសោធន៍ខាងក្រោម យើងលើកយកតែឡង់ទីបង្រួមមួយប៉ុណ្ណោះមកសិក្សា។

៣. សំណួរមុនចូលទីពិសោធន៍

១. តើឡង់ទីជាអ្វី?

២. តើគេចែកឡង់ទីជាប៉ុន្មានប្រភេទ? អ្វីខ្លះ?

៣. តើឡង់ទីបង្រួមជាអ្វី? និងឡង់ទីពង្រីកជាអ្វី?

៤. ចូរពោលពីវិធីដើម្បីសង់រូបភាពឲ្យដោយឡង់ទីបង្រួម និងឡង់ទីពង្រីក ព្រមទាំងគូររូបបញ្ជាក់។
៥. ចូរសង់រូបភាពនៃវត្ថុមួយដែលស្ថិតនៅឯអនន្តឲ្យដោយឡង់ទីបង្រួម និងឡង់ទីពង្រីក។
៦. សរសេររូបមន្តឡង់ទីដែលបង្ហាញពីទំនាក់ទំនងរវាងចម្ងាយកំណុំ សន្ទស្សន៍របស់ឡង់ទី និងកាំកំណោងរបស់វា។
៧. សរសេររូបមន្តឡង់ទីដែលបង្ហាញពីទំនាក់ទំនងរវាងចម្ងាយកំណុំ ចម្ងាយវត្ថុ និងចម្ងាយរូបភាព។
៨. សរសេររូបមន្តឡង់ទីដែលបង្ហាញពីទំនាក់ទំនងរវាងចម្ងាយកំណុំសមមូល ចម្ងាយកំណុំនៃឡង់ទីទី១ និងចម្ងាយកំណុំនៃឡង់ទីទី២ កាលណាគេបិទឡង់ទីពីរភ្ជាប់គ្នា។
៩. សង់រូបភាពនៃវត្ថុពិត *AB* ឈរត្រង់ដែល *A* ស្ថិតនៅលើអ័ក្សមេ និងស្ថិតពីមុខឡង់ទីបង្រួមមួយ បន្ទាប់មកស្រាយបញ្ជាក់ដើម្បីទាញរូបមន្តឡង់ទីដែលបង្ហាញពីទំនាក់ទំនងរវាងចម្ងាយកំណុំ សន្ទស្សន៍របស់ឡង់ទី និងកាំកំណោងរបស់វា$\left(\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)\right)$។
១០. សង់រូបភាពនៃវត្ថុពិត *AB* ឈរត្រង់ដែល *A* ស្ថិតនៅលើអ័ក្សមេ និងស្ថិតពីមុខឡង់ទីបង្រួមមួយ បន្ទាប់មកស្រាយបញ្ជាក់ដើម្បីទាញរូបមន្តឡង់ទីដែលបង្ហាញពីទំនាក់ទំនងរវាងចម្ងាយកំណុំ ចម្ងាយវត្ថុ និងចម្ងាយរូបភាព $\left(\frac{1}{f}=\frac{1}{d}+\frac{1}{d\prime}\right)$។
១១. ចូរបង្ហាញថា កាលណាគេបិទឡង់ទីពីរភ្ជាប់គ្នា នោះចម្ងាយកំណុំសមមូល(*f*) ឲ្យដោយរូបមន្ត៖
$\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$ ដែល f_1 ជាចម្ងាយកំណុំនៃឡង់ទីទី១ និង f_2ជាចម្ងាយកំណុំនៃឡង់ទីទី២។
១២. វត្ថុពិត *(AB*) មួយមានមានកម្ពស់ 15.0 cm ឈរត្រង់ដែល *A* ស្ថិតលើអ័ក្សមេនៅខាងមុខឡង់ទីចម្ងាយ 30.0 cm។ ចម្ងាយកំណុំរបស់ឡង់ទីស្មើនឹង10.0 cm(សិក្សាទាំងឡង់ទីបង្រួម និងឡង់ទីពង្រីក)។ កំណត់៖

ក. ទីតាំងរូបភាព ខ. ប្រភេទរូបភាព គ. កម្រិតពង្រីកទំហំរូបភាព ឃ. កម្ពស់រូបភាព

១៣. វត្ថុពិត *(AB*) មួយមានមានកម្ពស់ 15.0 cm ឈរត្រង់ដែល*A* ស្ថិតលើអ័ក្សមេនៅពីមុខឡង់ទីបង្រួម ចម្ងាយ 2.58 m ។ ចម្ងាយកំណុំរបស់ឡង់ទីបង្រួម ស្មើនឹង 58.0 cm ។ កំណត់៖

ក. ទីតាំងរូបភាព ខ. ប្រភេទរូបភាព គ. កម្រិតពង្រីកទំហំរូបភាព ឃ. កម្ពស់រូបភាព

ង. កម្រិតល្មៀងរបស់ទីតាំងរូបភាព បើទីតាំងរូបភាពត្រូវបានគេវាស់ឃើញស្មើនឹង 0.75 m ពីក្រោយឡង់ទីបង្រួម។

១៤. វត្ថុពិត *(AB*) មួយមានមានកម្ពស់ 20 cm ឈរត្រង់ដែល*A* ស្ថិតលើអ័ក្សមេនៅពីមុខឡង់ទីបង្រួម ចម្ងាយ 2.04 m ។ ចម្ងាយកំណុំរបស់ឡង់ទីបង្រួម ស្មើនឹង 100 cm ។ កំណត់៖

ក. ទីតាំងរូបភាព ខ. ប្រភេទរូបភាព គ. កម្រិតពង្រីកទំហំរូបភាព ឃ. កម្ពស់រូបភាព

ង. %Diff.នៃចម្ងាយកំណុំ បើកំណុំរូបភាពត្រូវបានគេវាស់ឃើញស្មើនឹង2.00 m ពីក្រោយឡង់ទីបង្រួម។

១៥.គេធ្វើពិសោធន៍ដើម្បីវាស់ចម្ងាយកំណុំនៃឡង់ទីបង្រួមមួយនិងទទួលបានលទ្ធផលដូចក្នុងតារាងខាងក្រោម៖

ចម្ងាយវត្ថុ d (m)	ចម្ងាយរូបភាព d'(m)	ចម្ងាយកំណុំ f_{theo}(m)	$\bar{f}_{theo}$(m)	%Diff
0.50	0.73			
0.80	0.46			
1.1	0.40			
1.4	0.37			
$d = \infty$ (ឆ្ងាយ)	$d' = f_{exp} = $ 30 cm		$\alpha_f =$	

គណនា៖ ក. ចម្ងាយកំណុំរបស់ឡង់ទី ($\bar{f}_{theo}$)

ខ. ផលសងភាគរយនៃចម្ងាយកំណុំ

គ. កម្រិតល្អៀងស្តង់ដានៃចម្ងាយកំណុំ

៤. តម្រូវការសម្ភារឧបទេស

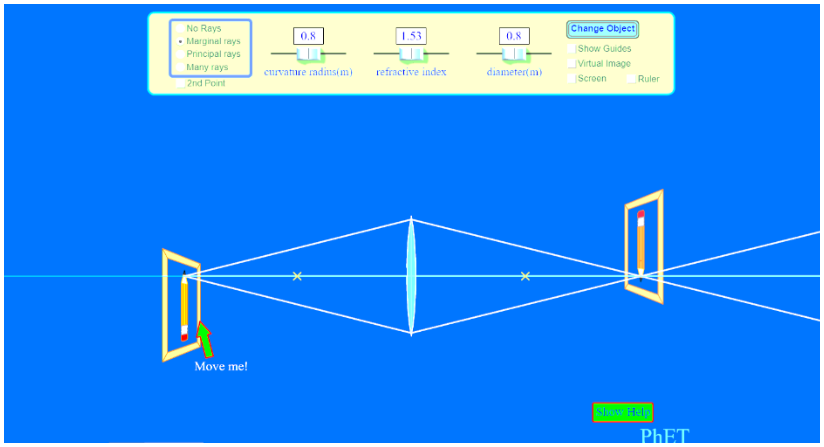
Software PHET Simulation ដែលដំឡើងរួចលើកំព្យូទ័ររបស់អ្នក

៥. ដំណើរការ

(ក) ចុចពីរដងជាប់គ្នាលើ PHET Simulations លើអេក្រង់នៃកំព្យូទ័ររបស់អ្នក ពេលនោះវានឹងលេចចេញផ្ទាំងអក្សរធំមួយនៅខាងឆ្វេងដែលសរសេរថា Play with Simulations ។ ចុចលើ Play with Simulations វានឹងលេចចេញបញ្ជីឈ្មោះពិសោធន៍ដែលរៀបតាមអក្ខរក្រម(Alphabet)ពីA ទៅ Z ។ នៅជួរខាងឆ្វេងមានពាក្យថា Simulations និងខាងក្រោមវាមានពាក្យថា Physics, Chemistry, Biology, Earth Science, Math, ... ដែលបញ្ជាក់ថាអ្នកអាចធ្វើពិសោធន៍បានជាមួយ Physics, Chemistry, Biology, Earth Science, Math ។

(ខ) ចុចលើពាក្យថា Physics (រូបវិទ្យា) វានឹងបង្ហាញបញ្ជីពិសោធន៍យ៉ាងច្រើនដែលអ្នកអាចធ្វើពិសោធន៍បានក្រោមទម្រង់ជារូបភាព។ សូមចងចាំថាពិសោធន៍របស់អ្នកគឺអុបទិចធរណីមាត្រ(ឡង់ទី)។ ដូចនេះត្រូវយក Geometric Optics ដែលមានរូបពិសោធន៍ឡង់ទី ។ ចុចលើពាក្យ Geometric Optics ពេលនោះវានឹងលេចចេញជា File VIDEO ។

(គ) ចុចលើ VIDEO នេះ វានឹងចេញរូបខាងក្រោម។



❖ នៅផ្នែកខាងលើរូបពិសោធន៍ឡង់ទី មានប្រអប់ធំមួយពណ៌លឿងដែលក្នុងប្រអប់ធំនោះមានប្រអប់ តូចៗជាច្រើនដូចជា៖

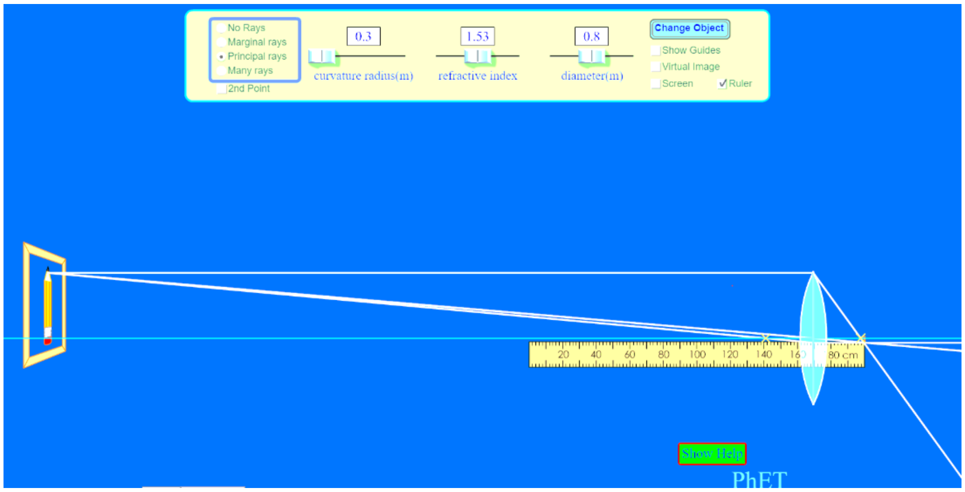
- No ray: គ្មានកាំពន្លឺចាំងប៉ះទេ
- Marginal rays: កាំពន្លឺចាំងប៉ះលើឡង់ទី(តែមិនមែនជាកាំពិសេស)
- Principal rays: កាំពន្លឺចាំងប៉ះមេដែលជាកាំពិសេស(**យើងត្រូវប្រើកាំពន្លឺនេះដើម្បីសង់រូបភាព**)
- Many rays: កាំពន្លឺចាំងប៉ះច្រើន
- 2nd Point: ចំណុចទីពីរ(ជាចំណុចវត្ថុដែរដែលមានកាំពន្លឺចេញពីវា)
    - Curvature radius (m): កាំកំណោងគិតជា(m)
    - Refractive index: សន្ទស្សន៍ចំណាំងបែរជា**សន្ទស្សន៍របស់ឡង់ទី**
    - Diameter (m): អង្កត់ផ្ចិតឡង់ទីគិតជា(m)
- Change objects: ប្តូរវត្ថុ អ្នកអាចប្តូរពីខ្មៅដៃទៅវត្ថុផ្សេងៗទៀតដូចជា ផ្កាយ មុខព្រះចន្ទ ព្រួញឈរ។
- Show guides បង្ហាញការណែនាំ
- Virtual image: រូបភាពមិនពិត
- Screen: អេក្រង់
- Ruler: បន្ទាត់

❖ នៅផ្នែកខាងក្រោមរូបពិសោធន៍ឡង់ទីមាន៖

- Show help: បង្ហាញជំនួយ

(ឃ) ចុចលើប្រអប់ដែលមានពាក្យ Principal rays ដើម្បីប្រើកាំពិសេសសង់រូបភាពឲ្យដោយឡង់ទី។ ទាញគន្លឹះរបស់ Curvature radius (m) មកឆ្វេងបំផុតដើម្បីបានកាំ 0.3 m និងចុចលើប្រអប់ Ruler ដើម្បីយកបន្ទាត់ទុកសម្រាប់វាស់ប្រវែង(ចម្ងាយ)។

(ង) ចុចលើរូបឡង់ទីបង្រួមដើម្បីធ្វើបម្រែបម្រួលទីតាំងឡង់ទីដោយដាក់វានៅខាងស្តាំ និងចុចទាញស៊ុមខ្មៅដៃ(វត្ថុ)ទៅផ្នែកខាងស្តាំបង្ហាញដូចរូបខាងក្រោម។ នេះបង្ហាញថាវត្ថុនៅឯអនន្ត យើងបានរូបភាពផ្តុំគ្នានៅត្រង់ចំណុចកំណុំ។



(ច) វាស់ចម្ងាយពីពាក់កណ្តាលឡង់ទីទៅរូបភាពដែលកុំលើចំណុចកំណុំ។ ករណីនេះចម្ងាយរូបភាពស្មើនឹងចម្ងាយកំណុំ ($d' = f_{exp}$) ។ កត់ត្រាតម្លៃនេះដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យនិងគណនាខាងក្រោម។ តម្លៃនេះជាតម្លៃតាមពិសោធន៍ (f_{exp})

(ឆ) ចុចទាញឡង់ទី និងស៊ុមខ្មៅដៃម្តងមួយៗ មកជិតផ្នែកកណ្តាលនៃអេក្រង់កំព្យូទ័រ រួចដាក់វត្ថុនៅចម្ងាយ 0.50 m, 0.80 m, 1.1 m, 1.4 m និង 1.7 m រៀងគ្នាពីឡង់ទីបង្រួម និង វាស់ចម្ងាយរូបភាពនីមួយដែលត្រូវគ្នានឹងចម្ងាយរបស់វា រួចកត់ត្រាតម្លៃទាំងនេះដាក់ក្នុងតារាងទិន្នន័យខាងក្រោម។

៦. លទ្ធផលពិសោធន៍

តារាងទិន្នន័យ និងគណនា

ចម្ងាយវត្ថុ d (m)	ចម្ងាយរូបភាព d' (m)	ចម្ងាយកំណុំ f_{theo} (m)	$\bar{f}_{theo}$ (m)	%Diff
0.50				
0.80				
1.1				
1.4				
$d = \infty$ (ឆ្ងាយ)	$d' = f_{exp} =$ 30 cm		$\alpha_f =$	

ការគណនាគម្រូ

$$f = \frac{dd'}{d+d'} =$$

$$\bar{f}_{theo} =$$

$$\%Diff = \left|\frac{f_{theo} - f_{exp}}{\frac{f_{theo} + f_{exp}}{2}}\right| \times 100\% =$$

$$\delta_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_i \left(f_i - \bar{f}\right)^2}$$

$$\alpha_f = \frac{\delta_{n-1}}{\sqrt{n}} =$$

៧. សន្និដ្ឋាន

ដោយផ្អែកលើលទ្ធផលពិសោធន៍ខាងលើ៖

- ដើម្បីសង់រូបភាពនៃវត្ថុដែលឲ្យដោយឡង់ទីបង្រួម គេប្រើកាំពិសេសចំនួន……………….ក្នុងចំណោមកាំពិសេសទាំងបី ។
- គេអាចកំណត់ចម្ងាយកំណុំនៃឡង់ទីបង្រួមបានតាមរយៈ៖

  ក. ដាក់វត្ថុពិតឲ្យនៅឆ្ងាយអនន្ត ពេលនោះបាច់ពន្លឺដែលចេញពីវត្ថុជាបាច់ស្របៗគ្នា ចាំងប៉ះលើឡង់ទីបង្រួម ពេលចេញពីឡង់ទី………………………………….។ ចម្ងាយរូបភាព …………និងចម្ងាយកំណុំ។

  ខ. ដោយវាស់ចម្ងាយវត្ថុ និងចម្ងាយរូបភាព យើងអាចគណនាចម្ងាយកំណុំតាមរូបមន្ត………………។
- ផលសងភាគរយនៃចម្ងាយកំណុំ(%Diff.)ឲ្យតាមរូបមន្ត……………………….=……………….%

  និងកម្រិតល្អៀងស្តង់ដា(α_f)…………………………….=…………………. ។

ដូចនេះវត្ថុបំណងត្រូវសម្រេចដោយជោគជ័យ។

៨. ពិភាក្សា

១. តើអ្វីដែលជាការលំបាកដែលអ្នកជួបប្រទះក្នុងពិសោធន៍នេះ?

២. ដើម្បីដោះស្រាយការលំបាកដែលបានលើកឡើងខាងលើ តើអ្នកមានគំនិតច្នៃប្រឌិតដូចម្តេច?

កិច្ចការស្រាវជ្រាវរបស់គរុនិស្សិត

ពិសោធន៍ច្បាប់រក្សាថាមពល

ពិសោធន៍រង្វាស់មេគុណទង្គិច

ពិសោធន៍រវេសូណាង់សូរ

ពិសោធន៍រលកជញ្ជ្រំ

ផ្នែកទីបី

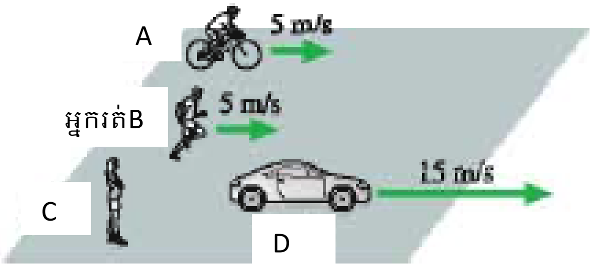
មេរៀនទី១៖ រូបវិទ្យាធៀប

1.1 គោលការណ៍ធៀបហ្គាលីលេ

ចលនាធៀប៖

អ្នករត់ម្នាក់(B) ក្នុងរូប១.១ កំពុងរត់ដោយមានវ៉ិចទ័រល្បឿន $5\ m/s$ ។ សំណួរអាចសួរថាតើវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់អ្នករត់នេះស្មើប៉ុន្មាន? សំនួរនេះមិនមានចម្លើយតែមួយទេ។ ចំពោះ C ដែលឈរស្ងៀមថា វ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់អ្នករត់គឺ $v_x = 5\ \text{m/s}$ ។ តែចំពោះ A ដែលកំពុងជិះកង់ទន្ទឹមនឹងអ្នករត់មើលឃើញថា វ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់អ្នករត់នោះគឺ $v_x = 0\ \text{m/s}$ ។ ចំពោះ D កំពុងបើកឡានដោយមានវ៉ិចទ័រល្បឿន $15\ \text{m/s}$ បានឃើញអ្នករត់ B ឃ្លាតឆ្ងាយពីគាត់ $10\ \text{m}$ រាល់វិនាទីក្នុងទិសដៅផ្ទុយពីគាត់ តាមរយៈកញ្ចក់ចំហៀងរបស់រថយន្ត។ គាត់ថា វ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់អ្នករត់គឺ $v_x = -10\ \text{m/s}$ ។ តើមួយណាជាវ៉ិចទ័រល្បឿនពិតប្រាកដរបស់អ្នករត់?

វ៉ិចទ័រល្បឿនគឺមិនមែនជាបញ្ញាតិដែលអាចថាពិត ឬមិនពិតបានទេ។ វ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់អ្នករត់ B ធៀបនឹង C គឺ $5\ \text{m/s}$ ។ គឺថា វ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់អ្នករត់គឺ $5\ \text{m/s}$ ក្នុងប្រព័ន្ធកូអរដោនេដែលនៅជាប់នឹង C ដែលនៅនឹង។ វ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់អ្នករត់ B ធៀបទៅនឹង A គឺសូន្យ ។ វ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់អ្នករត់ B ធៀបនឹង D គឺ $-10\ \text{m/s}$ ។ ទាំងអស់នេះគឺសុទ្ធតែត្រឹមត្រូវចំពោះការពណ៌នាពីវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់អ្នករត់។

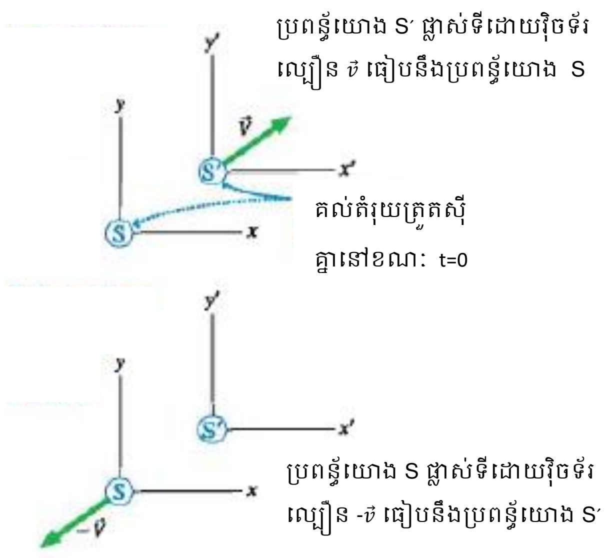


រូបទី១.១៖ A, C និង D ម្នាក់ៗវាស់វ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់អ្នករត់ម្នាក់ B។
វ៉ិចទ័រល្បឿនដែលបានបង្ហាញក្នុងរូបនេះគឺនៅក្នុងប្រព័ន្ធយោង C ។

ទីតាំងធៀប៖

សន្មតថា C និង A ត្រូវបានប្រពន្ធ័កូអរដោនេនៅជាប់នឹងខ្លួនរបស់ពួកគេ។ នៅពេល A ជិះកង់ឆ្លងកាត់ C គាត់បាននាំប្រពន្ធ័កូអរដោនេរបស់គាត់ទៅជាមួយ។ ឧបមាថា C និង A មានអ្នកជួយដែលប្រដាប់ដោយម៉ែត និង ក្រូណូម៉ែត(stopwatch) នៅក្នុងប្រពន្ធ័កូអរដោនេរបស់ពួកគេ។ ជាមួយនឹងអ្នកជួយរបស់ពួកគេ គឺអាចវាស់ ទីតាំងដែលបាតុភូតរូប ឬព្រឹត្តិការណ៍ដែលកើតឡើង និងរយៈពេលដែលវាកើតឡើង។ ប្រពន្ធ័កូអរដោនេដែលអ្នកពិសោធន៍អាចធ្វើការវាស់នូវទីតាំង និងរយៈពេលនៃបាតុភូត ឬព្រឹត្តិការណ៍ ហៅថាប្រពន្ធ័យោង។

ក្នុងរូបទី១.២ ប្រពន្ធ័កូអរដោនេ xy ជាប្រពន្ធ័យោង S និងប្រពន្ធ័កូអរដោនេ $x'y'$ ជាប្រពន្ធ័យោង S′ ។ S′ កំពុងផ្លាស់ទីដោយវ៉ិចទ័រល្បឿន $\vec{V}$ ធៀបនឹង S។ បើអ្នកពិសោធន៍នៅជាប់នឹងប្រពន្ធ័យោង S ពិនិត្យចលនារបស់ S′ ដែលបានឆ្លងកាត់ ឃើញថា S′ មានវ៉ិចទ័រល្បឿន $\vec{V}$ ។ ចំពោះអ្នកពិសោធន៍ដែលនៅជាប់នឹងប្រពន្ធ័យោង S′ វិញពិនិត្យឃើញថា S មានវ៉ិចទ័រល្បឿន $-\vec{V}$ ។ ប្រពន្ធ័យោងដែលផ្លាស់ទីដោយល្បឿនថេរ ហៅថាប្រពន្ធ័យោងនិចល(inertial reference frames) ឬអាចនិយាយថាជាប្រពន្ធ័យោងដែលអនុវត្តត្រឹមត្រូវជាមួយច្បាប់ទីមួយញូតុន។



រូបទី១.២៖ ប្រពន្ធ័យោង S′ ផ្លាស់ទីដោយវ៉ិចទ័រ ល្បឿន $\vec{v}$ ធៀបនឹងប្រពន្ធ័យោង S។

សន្មតថាមានអំពូលភ្លើងមួយបញ្ចេញពន្លឺនៅខណៈ t ។ អ្នកសង្កេតនៅក្នុងប្រពន្ធ័យោងទាំងពីរឃើញ និងកំណត់ទីតាំងរបស់វាថា វ៉ិចទ័រទីតាំងរបស់អំពូលភ្លើងធៀបនឹងប្រពន្ធ័យោង S គឺ $\vec{r}$ ហើយធៀបនឹង S′ គឺ $\vec{r}'$ ។ ទំនាក់ទំនងរវាង $\vec{r}$ និង $\vec{r}'$ តាមរូបទី១.៣អាចសរសេរ

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{R}$$

ដែល $\vec{R}$ ជាវ៉ិចទ័រទីតាំងរបស់ S′ ធៀបនឹង S ។

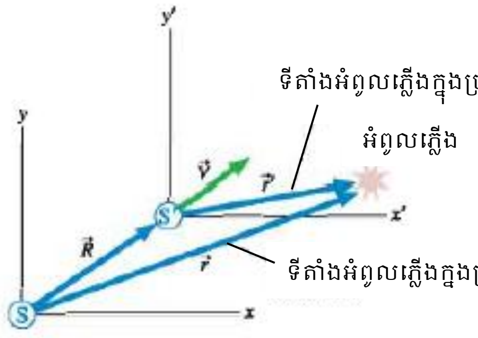
ប្រពន្ធ័យោង S′ កំពុងផ្លាស់ទីដោយវ៉ិចទ័រល្បឿន $\vec{V}$ ធៀបនឹង S ដែលនៅខណៈដើមពេល $t = 0$ S និង S′ ត្រួតស៊ីគ្នា។ នៅខណៈពេល t ប្រពន្ធ័យោង S′ ផ្លាស់ទីទៅដល់ទីតាំង

មួយដែលមានវ៉ិចទ័រតាំង $\vec{R} = t\vec{V}$ ដូច្នេះគេបាន

$$\vec{r} = \vec{r}' + t\vec{V} \text{ ឬ } \vec{r}' = \vec{r} - t\vec{V} \qquad (១.១)$$

សរសេរជាកំប៉ូសង់នៃទីតាំង

$$x = x' + V_x t \qquad \text{or} \qquad x' = x - V_x t \qquad (១.២)$$
$$y = y' + V_y t \qquad\qquad\quad y' = y - V_y t$$



រូបទី១.៣៖ វង្វាស់បានធ្វើឡើងក្នុងប្រពន្ធ័យោង S និង S′ ។

បើគេដឹងពីទីតាំង និងពេលវេលាដែលព្រឹត្តិការណ៍មួយបានកើតឡើងក្នុងប្រពន្ធ័យោងមួយ គេអាចបំលែងទីតាំងនោះទៅក្នុងប្រពន្ធ័យោងដ៏ទៃទៀត ដែលផ្លាស់ទីធៀបនឹងប្រពន្ធ័យោងទីមួយដោយវ៉ិចទ័រល្បឿនថេរ $\vec{V}$ ។

ល្បឿនធៀប៖

ឧបមាថានៅខណៈ $t = 0$ ជាខណៈដែលគល់នៃប្រពន្ធ័យោងទាំងពីរត្រួតស៊ីគ្នា។ ដូច្នេះនៅយណៈពេល t គល់នៃប្រពន្ធ័យោងទាំងពីរឃ្លាតពីគ្នាកំណត់ដោយវ៉ិចទ័រទីតាំង $\vec{R} = \vec{V}t$ ។ ទីតាំងចំនុច P របស់ភាគល្អិតធៀបនឹងអ្នកសង្កេត A កំណត់ដោយវ៉ិចទ័រទីតាំង $\vec{r}$ ហើយធៀបនឹង B កំណត់ដោយ $\vec{r}'$ ។ តាមរូបទី ១.៤ ឃើញថា $\vec{r}$ និង $\vec{r}'$ មានទំនាក់ទំនងគ្នាតាម

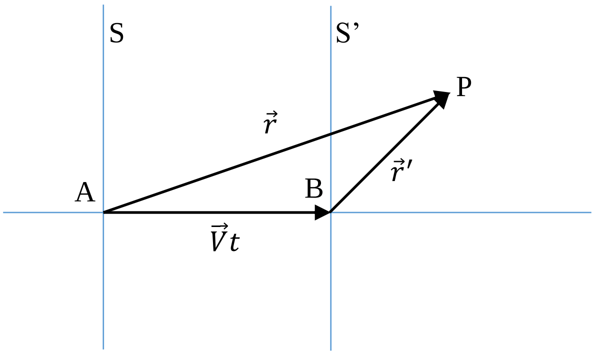
$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{V}t \qquad (១.៣)$$

ធ្វើដេរីវេសមីការ ១.៣ ធៀបនឹងពេល t គេបាន

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}'}{dt} + \vec{V} \quad (\vec{V}\ \text{ថេរ})$$

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{V} \qquad (១.៤)$$

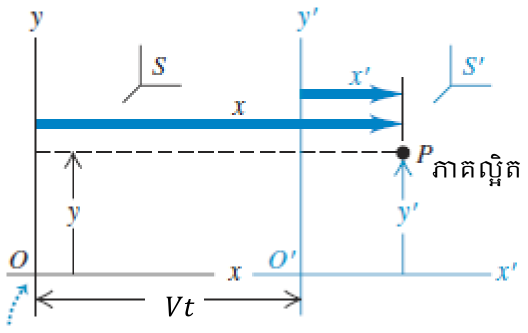
ដែល $\vec{v}$ ជាវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ភាគល្អិតវាស់ដោយអ្នកសង្កេត A ហើយ $\vec{v}'$ ជាវ៉ិចទ័រល្បឿនវាស់ដោយអ្នកសង្កេត B និង $\vec{V}$ ជាវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ B ធៀបនឹង A ។



រូបទី ១.៤៖ ភាគល្អិត P ត្រូវបានពណ៌នាដោយអ្នកសង្កេតពីរ មួយនៅប្រពន្ធ័យោង S (នៅនឹង) និងមួយទៀតនៅក្នុងប្រពន្ធ័យោង S′ ផ្លាស់ទីទៅស្តាំដោយវ៉ិចទ័រល្បឿនថេរ $\vec{V}$ ។

បំលែងហ្គាលីលេ៖

ប្រពន្ធ័យោងពីរ S និង S′ ដែល S′ ផ្លាស់ទីដោយវ៉ិចទ័រល្បឿនថេរ $\vec{V}$ រូបទី ១.៥ ។ ដើម្បីឱ្យងាយស្រួល គេមិនគិតពីអក្ស័ z ទេ។ ប្រពន្ធ័ទាំងពីរមានអក្ស័ x ស្ថិតនៅបន្ទាត់តែមួយ។



គល់តំរុយ O និង O’ ត្រួតស៊ីគ្នានៅខណៈ: $t = 0$

រូបទី ១.៥៖ ទីតាំងភាគល្អិតបង្ហាញដោយកូអរដោនេ xy ក្នុងប្រពន្ធ័យោង S និងកូអរដោនេ $x'y'$ ក្នុងប្រពន្ធ័យោង S′ ។

ទីតាំងភាគល្អិត P ធៀបនឹង S កំណត់ដោយ x ហើយធៀបនឹង S′ គឺ x' ។ តាមរូប១.៥ ទំនាក់ទំនងរវាង x និង x' សរសេរ

$$x = x' + Vt\,,\qquad y = y', z = z' \qquad (១.៥)$$

សមីការ ១.៥ ហៅថាបំលែងទីតាំងរបស់ហ្គាលីលេ។

បើ P ផ្លាស់ទីតាមទិសដៅ x វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ v_x វាស់ដោយអ្នកសង្កេតនៅនឹងក្នុង S គឺ $v_x = dx/dt$ ។ វ៉ិចទ័រល្បឿន v_x' វាស់ដោយអ្នកសង្កេតក្នុង S′ គឺ $v_x' = dx'/dt$ ។ធ្វើដេរីវេសមីការ ១.៥ ធៀបនឹងរយៈពេលគេបាន

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx'}{dt} + V$$

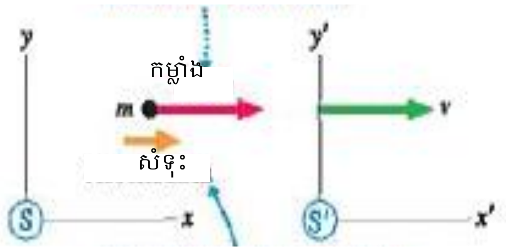
$$v_x = v_x' + V \tag{១.៦}$$

សមីការ ១.៦ ហៅថាបំលែងវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ហ្គាលីឡេ ។

គោលការណ៍ធៀបរបស់ហ្គាលីឡេ៖

អ្នកធ្វើពិសោធន៍ក្នុងប្រពន្ធ័យោង S និង S′ វាស់តម្លៃនៃវ៉ិចទ័រទីតាំង និងតម្លៃវ៉ិចទ័រល្បឿន ទទួលបានខុសគ្នា។ តើការវាស់កម្លាំង និងសំទុះរបស់ភាគល្អិតវិញ ក្នុងរូបទី ១.៦ ដូចម្តេចដែរ?

អ្នកធ្វើពិសោធន៍ក្នុងប្រពន្ធ័យោងទាំងពីរ វាស់កម្លាំងដូចគ្នា



អ្នកធ្វើពិសោធន៍ក្នុងប្រពន្ធ័យោងទាំងពីរ វាស់សំទុះដូចគ្នា

រូបទី ១.៦៖ អ្នកធ្វើពិសោធន៍ក្នុងប្រពន្ធ័យោងទាំងពីរ ធ្វើតេស្តច្បាប់ទីពីរញូតុន ដោយវាស់កម្លាំងដែលមានអំពើលើភាគល្អិត និងសំទុះរបស់វា។

កម្លាំងអាចវាស់បានដោយប្រើឌីណាម៉ូម៉ែត។ អ្នកធ្វើពិសោធន៍ក្នុងប្រពន្ធ័យោងទាំងពីរពិនិត្យ ថាឌីណាម៉ូម៉ែតចង្អុលតម្លៃដូចគ្នា ដូច្នេះពួកគេសន្និដ្ឋានថាកម្លាំងគឺដូចគ្នា។ មានន័យថា $F' = F$ ។ គេអាចបប្រៀបធៀបសំទុះដែលបានវាស់ក្នុងប្រពន្ធ័យោងទាំងពីរដោយធ្វើដេរីវេនៃសមីការបំលែងល្បឿន(សមីការ ១.៦) ។ ដោយវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ប្រពន្ធ័យោងថេរគេបាន $dV/dt = 0$ ដូច្នេះសំទុះរបស់ភាគល្អិតគឺ

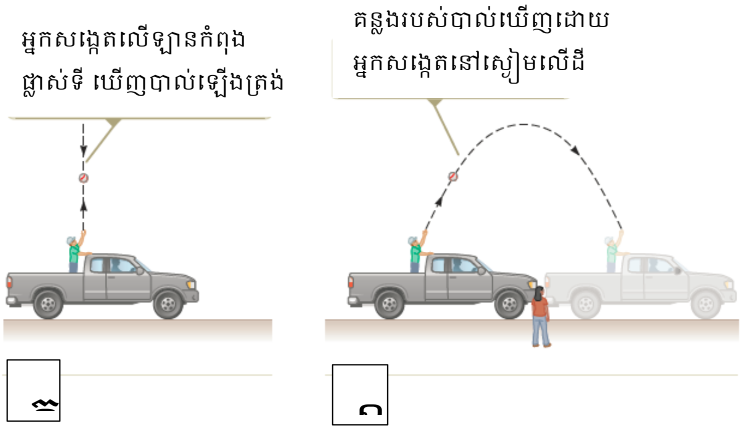
$$a' = \frac{dv'}{dt} = \frac{dv}{dt} = a \tag{១.៧}$$

អ្នកធ្វើពិសោធន៍ក្នុងប្រពន្ធ័យោង S និង S′ ទទួលបានតម្លៃនៃវ៉ិចទ័រល្បឿន និងវ៉ិចទ័រទីតាំងខុសគ្នា ប៉ុន្តែពួកគេទទួលស្គាល់ថាសំទុះដូចគ្នា។

បើ $F = ma$ ក្នុងប្រពន្ធ័យោង S ហើយ $F' = ma'$ ក្នុងប្រពន្ធ័យោង S′ ។ គេអាចនិយាយថា បើច្បាប់ទីពីរញូតុនអនុវត្តបានត្រឹមត្រូវក្នុងប្រពន្ធ័យោងនិចលមួយ នោះវាអាចអនុវត្តបានត្រឹមត្រូវក្នុងគ្រប់ប្រពន្ធ័យោងនិចលទាំងអស់។ ពីព្រោះច្បាប់របស់មេកនិច ដូចជា ច្បាប់រក្សាជាដើម គឺចេញពីពីច្បាប់ទីពីរញូតុន។ ការសន្និដ្ឋាននេះថា ជាគោលការធៀបរបស់ហ្គាលីឡេ។

គោលការណ៍ធៀបរបស់ហ្គាលីឡេពោលថា៖ ច្បាប់មេកានិចទាំងឡាយគឺដូចគ្នានៅក្នុងប្រពន្ធ័យោងនិចលទាំងអស់។

ពិនិត្យលើការសង្កេតមួយដែលពន្យល់ពីភាពសមមូលនៃច្បាប់ចលនាមេកានិចក្នុងប្រពន្ធ័យោងនិចលពីរ។ រថយន្តក្នុងរូបទី ១.៧ ផ្លាស់ទីដោយវ៉ិចទ័រល្បឿនថេរធៀបនឹងដី។ បើអ្នកដំណើរលើរថយន្តបោះបាល់មួយឡើងលើត្រង់ ហើយមិនគិតពីអំពើនៃកំលាំងខ្យល់ អ្នកដំណើរនឹងសង្កេតឃើញថា បាល់ផ្លាស់ទីតាមគន្លងឈរ។ ចលនារបស់បាល់បង្ហាញយ៉ាងច្បាស់ថាដូចគ្នានឹងបាល់ដែលត្រូវបានចោលដោយមនុស្សឈរស្ងៀមលើដីដែរ។



រូបទី ១.៧៖ អ្នកសង្កេតពីរនាក់មើលឃើញគន្លងរបស់បាល់ដែលត្រូវបានចោល ខុសគ្នា។

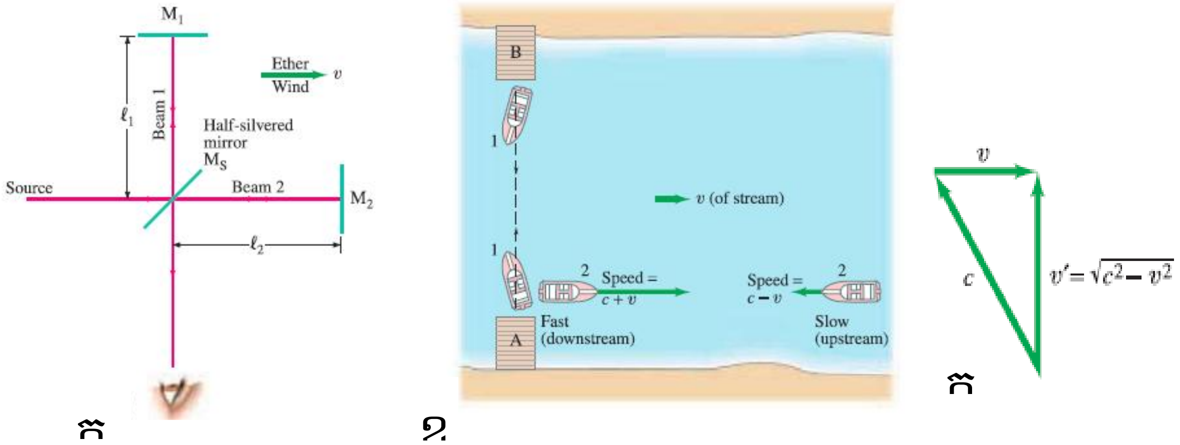
ច្បាប់ទំនាញសាកល និងសមីការចលនាក្រោមសំទុះថេរត្រូវបានគោរពតាម មិនថារថយន្តនៅស្ងៀម ឬមានចលនាស្មើទេ។ អ្នកសង្កេតទាំងពីរទទួលស្គាល់នូវច្បាប់រូបវិទ្យា៖ អ្នកសង្កេតនៅលើឡានចោលបាល់ឡើងលើ ហើយបាល់ក៏ធ្លាក់មកក្នុងដៃគាត់វិញ ដោយយោងទៅតាមចលនារបស់ភាគល្អិតក្រោមសំទុះថេរ។ អ្នកសង្កេតនៅលើដីឃើញគន្លងរបស់បាល់រាងជាប៉ារាបូលដូចរូប ១.៧ខ។ តាមអ្នកសង្កេតនៅលើដី បាល់មានអាប់ស៊ីសវ៉ិចទ័រល្បឿនស្មើនឹងវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់រថយន្ត ហើយចលនាតាមអ័ក្សដេករបស់បាល់

ត្រូវបានពណ៌នាដោយគំរូនៃចលនារបស់ភាគល្អិតដោយល្បឿនថេរ។ ទោះជាអ្នកសង្កេតទាំងពីរមិនយល់ស្របគ្នាលើទិដ្ឋភាព ឬស្ថានភាពដែលបានឃើញ ប៉ុន្តែពួកគេយល់ស្របទៅលើសុពលភាពរបស់ច្បាប់ញូតុន។ ការយល់ព្រមនេះបញ្ជាក់ថា គ្មានពិសោធន៍មេកានិចណាអាចរកឃើញនូវភាពខុសគ្នារវាងប្រពន្ធ័យោងនិចលពីរទេ។ រឿងតែមួយគត់ដែលអាចរកឃើញគឺ ចលនាធៀបរបស់ប្រពន្ធ័យោងមួយធៀបនឹងមយយទៀត។

1.2 ពិសោធន៍ Michelson-Morley

ការពិសោធន៍ដ៏ល្បីមួយបានរៀបចំឡើងដើម្បីរកឱ្យឃើញ បម្រែបម្រួលយ៉ាងតូចរបស់ល្បឿនពន្លឺត្រូវបានបង្កើតឡើងដំបូងក្នុងឆ្នាំ ១៨៨១ ដោយ A. A. Michelson ហើយក្រោយមកទៀតត្រូវបានធ្វើឡើងវិញក្រោមលក្ខខណ្ឌផ្សេងៗដោយ Michelson និង Edward W. Morley នៅឆ្នាំ (១៨៣៨ - ១៩២៣)។

ពិសោធន៍ត្រូវបានរៀបចំឡើងដើម្បីកំណត់វ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ផែនដីធៀបនឹងអាកាស(ether) ។ ពិសោធន៍នេះផ្អែកលើគោលការណ៍ដូចបង្ហាញក្នុងរូបទី ១.៨ ។ ក. គឺជាដ្យាក្រាមនៃ



រូបទី ១.៨៖ ពិសោធន៍ Michelson – Morley ។ ក. Michelson interferometer ។
ខ. ប្រដូចពិសោធន៍ទៅនឹងទូក៖ ទូកទី១ ឆ្លងកាត់ទទឹងទន្លេរួចត្រឡប់មកវិញ
ទូកទី២ចុះតាមបណ្ដោយទឹងហូរ រួចត្រឡប់មកវិញ(ទូកមានល្បឿន c ធៀបនឹងទឹក)។
គ. ការគណនាវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ទូក(បាច់ពន្លឺ) ក្នុងដំណើរកែងនឹងចរន្តទឹក(ខ្យល់អាកាស ឬether wind)។

ឧបករណ៍ឈ្មោះ Michelson interferometer ហើយសន្មតថាខ្យល់អាកាស(ether wind) កំពុងផ្លាស់ទីទៅស្ដាំដោយល្បឿន v (ផ្លាស់គ្នាជាមួយផែនដីដែលត្រូវបានសន្មតថាផ្លាស់ទីទៅឆ្វេងធៀបនឹងអាកាសដោយល្បឿន v)។ បាច់ពន្លឺចេញពីប្រភពពន្លឺត្រូវបានបែកចេញជាពីរដោយសារ កញ្ចក់ប្លង់ពាក់កណ្ដាលផ្លាត M_S ។ បាច់ពន្លឺមួយដាលឆ្ពោះទៅកញ្ចក់ M_1 ហើយបាច់ពន្លឺមួយទៀតដាលឆ្ពោះទៅកញ្ចក់ M_2 ។ បាច់

ពន្លឺដែលផ្លាតពីកញ្ចក់ M_1 និង M_2 ត្រូវបានរួមគ្នាឡើងវិញបន្ទាប់ពីឆ្លងកាត់ M_S ។ តម្រួតនៃបាច់ពន្លឺបង្កើតបានអាំងទែផេរ៉ង់ ហើយជាលទ្ធផលត្រូវបានមើលឃើញដោយភ្នែកអ្នកសង្កេតនូវគំរូអាំងទែផេរ៉ង់។

ទោះជាអាំងទែផេរ៉ង់បែបក៏សាង ឬបំផ្លាញក៏ដោយ កើតមាននៅត្រង់ចំនុចកណ្តាលនៃគំរូអាំងទែផេរ៉ង់ អាស្រ័យនឹងទំនាក់ទំនងផាសរបស់បាច់ពន្លឺទាំងពីរ បន្ទាប់ពីពួកវាបានដាលតាមគន្លងរៀងខ្លួន។ សូមពិនិត្យមើលការប្រដូចនៃដំណើររបស់ទូកឡើង និងចុះព្រមទាំងឆ្លងកាត់ទទឹង ទន្លេមួយដែលចរន្តទឹកហូរមានល្បឿន v ដូចបង្ហាញក្នុងរូប ១.៨ ខ។ ទឹកទន្លេស្ងប់ ទូកផ្លាស់ទីដោយល្បឿន c (មិនមែនជាល្បឿនពន្លឺទេ ករណីនេះ)។

ដំបូងពិនិត្យបាច់ពន្លឺទី២ ក្នុងរូប ១.៨ ក ដែលដាលឆ្ពោះទៅខ្យល់អាកាស(ether wind)។ ក្នុងដំនើររបស់វាពី M_S ទៅ M_2 ពន្លឺត្រូវដាលដោយមានល្បឿន $c+v$ ។ តាមរូបវិទ្យាបូរាណ វាដូចជាដំណើររបស់ទូកស្របនឹងចរន្តទឹក(រូប ១.៨ ខ) គេត្រូវបូកល្បឿនរបស់ទឹកទន្លេជាមួយល្បឿនរស់ទូក(ធៀបនឹងទឹក) ដើម្បីទទួលបានល្បឿនទូកធៀបនឹងច្រាំងទន្លេ។ ដោយបាច់ពន្លឺដាលបានចម្ងាយ l_2 រយៈពេលដែលត្រូវការដើម្បីចេញពី M_S ទៅ M_2 គឺ $t=l_2/(c+v)$ ។ ដើម្បីត្រឡប់មកពី M_2 ទៅ M_S វិញ។ ពន្លឺត្រូវដាលប្រឆាំងនឹងខ្យល់អាកាស(ដូចដំណើររបស់ទូកបញ្ច្រាសចរន្តទឹក) ដូច្នេះល្បឿនធៀបរបស់វាគឺ $c-v$ ។ រយៈពេលដែលត្រូវការក្នុងដំនើរត្រឡប់គឺ $l_2/(c-v)$។ រយៈពេលសរុបសម្រាប់បាច់ពន្លឺទី២ ដាលពី M_S ទៅ M_2 និងត្រឡប់មកដល់ M_S វិញគឺ។

$$t_2=\frac{l_2}{c+v}+\frac{l_2}{c-v}=\frac{2l_2}{c(1-v^2/c^2)}$$

ឥឡូវពិនិត្យបាច់ពន្លឺទី១ ដែលសដាលកាត់ទទឹងខ្យល់អាកាស។ ដូចគ្នានឹងទូកក្នុងរូប១.៨ ខ។ ទូកចេញពីកំពង់ A ទៅកំពង់ B ដោយកាត់ទទឹងចរន្តទឹក។ បើវាទៅមុខដោយកាត់ទទឹងផ្ទាស់តែម្តង ចរន្តទឹកនឹងនាំទូកចុះតាមបណ្តោយទឹក។ ដើម្បីទៅដល់ B ទូកត្រូវតែតម្រង់ក្បាលយ៉ាងណាឱ្យបង្កើតបានមុំមួយជាមួយនឹងលំហូរទឹក។ តម្លៃជាក់លាក់នៃមុំអាស្រ័យនឹងទំហំរបស់ c និង v ។ រូប១.៨គ បង្ហាញពីការគណនាវ៉ិចទ័រល្បឿន v' របស់ទូកធៀបនឹងផែនដីពេលវាឆ្លងកាត់ទទឹងទន្លេ។ ដោយ c,v និង v' បង្កើតបានជាត្រីកោណកែង គេបានល្បឿន $v'=\sqrt{c^2-v^2}$ ។ ពេលត្រឡប់មកវិញទូកមានល្បឿនដូចពេលទៅ។ បើគេអនុវត្តគោលការណ៍នេះជាមួយជាមួយបាច់ពន្លឺទី១ ក្នុងរូប ១.៨ ក គេរំពឹងទុកថាបាច់ពន្លឺដាលដោយល្បឿន $\sqrt{c^2-v^2}$ ក្នុងដំណើរពី M_S ទៅ M_1 និងត្រឡប់មកវិញ។ ចម្ងាយសរុបគឺ $2l_1$ ដូច្នេះរយៈពេលត្រូវការសម្រាប់បាច់ពន្លឺក្នុងចម្ងាយសរុបគឺ $2l_1/\sqrt{c^2-v^2}$ ឬ

$$t_1 = \frac{2l_1}{c\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

បើ $l_1 = l_2 = l$ នោះបាច់ពន្លឺ ២ នឹងយឺតជាងបាច់ពន្លឺ ១ ដោយចំនួន

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2l}{c}\left(\frac{1}{1 - v^2/c^2} - \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}\right)$$

ដោយ $v/c \ll 1$ គេអាចប្រើការបង្រីកពហុធា(binomial expansion)

$$(1 - x)^n \approx 1 - nx \text{ (ចំពោះ } x \ll 1\text{)}$$

ក្នុងករណីនេះ $x = v^2/c^2$ គេបាន

$$\frac{1}{1 - v^2/c^2} \approx 1 + \frac{v^2}{c^2} \quad \text{និង} \quad \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \approx 1 + \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}$$

គេបាន

$$\Delta t = t_2 - t_1 \approx \frac{lv^2}{c^3} \qquad (១.៨)$$

ផលសងរយៈពេលរវាងខណៈពីរដែលបាច់ពន្លឺចាំងផ្លាត ដាលមកដល់តេលេទស្សន៍ (telescope) បណ្តាលឱ្យមានផលសងផាសរវាងបាច់ពន្លឺទាំងពីរ ហើយក៏បង្កើតបានអាំងទែផេរ៉ង់ពេលពួកវាជួបគ្នាត្រង់ទីតាំងនៃតេលេទស្សន៍។ បម្រែបម្រួលនៃអាំងទែផេរ៉ង់នឹងត្រូវបានឃើញពេលដែលឧបករណ៍ interferometer (រូប១.៨ ក) ត្រូវបានបង្វិលឱ្យបានមុំ 90° ក្នុងប្លង់ដេក ដូច្នេះបាច់ពន្លឺទាំងពីរផ្លាស់ប្តូរមុខងារ។ លទ្ធផលនៃការបង្វិលនេះធ្វើឱ្យផលសងរយៈពេលក្នុងសមីការ ១.៨ កើនទ្វេរដង។ ដូចនេះផលសងដំណើរដែលត្រូវនឹងផលសងរយៈពេលក្នុងករណីនេះគឺ

$$\Delta d = c(2\Delta t) = \frac{2lv^2}{c^2}$$

ដោយសារតែបម្រែបម្រួលក្នុងប្រវែងគន្លងនៃជំហានរលកមួយត្រូវនឹងបម្រែបម្រួលនៃប្រង់មួយ ហើយបម្រែបម្រួលប្រង់នេះគឺស្មើនឹង ផលសងដំណើរខាងលើចែកឱ្យជំហានរលករបស់ពន្លឺ

$$\text{បម្រែបម្រួលប្រង់} = \frac{2lv^2}{\lambda c^2} \qquad (១.៩)$$

ក្នុងពិសោធន៍ដែលធ្វើដោយ Michelson និង Morley រាល់បាច់ពន្លឺត្រូវបានបំផ្លាតដោយកញ្ចក់ជាច្រើនដងដើម្បីផ្តល់នូវប្រវែងគន្លងច្បាស់លាស់ស្មើនឹង $11\ \mathrm{m}$ ។ ប្រើតម្លៃនេះ ហើយល្បឿន $v = 3.0 \times 10^4\ \mathrm{m/s}$ (ល្បឿនរបស់ផែនដីវិលជុំវិញព្រះអាទិត្យ) និងប្រើពន្លឺមានជំហានរលក $500\ \mathrm{nm}$ គេទទួលបានបម្រែបម្រួលប្រង់គឺ

$$\text{បម្រែបម្រួលប្រង់} = \frac{2(11\,m)(3.0 \times 10^4\,m/s)^2}{(5.0 \times 10^{-7}\,m)(3.0 \times 10^8\,m/s)^2} = 0.44$$

ឧបករណ៍នេះបានប្រើដោយ Michelson និង Morley អាចចាប់បាននូវបម្រែបម្រួល 0.01 ប៉ុន្តែវាបានរកឃើញនូវភាពមិនប្រែប្រួលអ្វីទាំងអស់ក្នុងគំរូប្រង់!(This instrument used by Michelson and Morley could detect shift as small as 0.01 fringe, but it detected no shift whatsoever in fringe pattern!)។ ពិសោធន៍ត្រូវបានធ្វើឡើងវិញជាច្រើនដង ដោយអ្នកវិទ្យាសាស្ត្រជាច្រើនអ្នក ក្រោមលក្ខខណ្ឌផ្សេងៗ ហើយនៅតែគ្មានបម្រែបម្រួលប្រង់ត្រូវបានរកឃើញ។ ដូច្នេះវាត្រូវបានគេសន្និដ្ឋានថាចលនារបស់ផែនដីធៀបនឹងអាកាស(ether) មិនអាចរកឃើញទេ។

ការខំព្រឹងជាច្រើនត្រូវបានធ្វើឡើងដើម្បីពន្យល់លើលទ្ធផលសូន្យនៃពិសោធន៍របស់ Michelson, Morley និងដើម្បីរក្សាគំនិតប្រព័ន្ធយោងអាកាស ព្រមទាំងសមីការបំលែងល្បឿនរបស់ហ្គាលីលេចំពោះពន្លឺ។ លទ្ធផលដែលចេញពីការខំប្រឹងប្រែងទាំងអស់នេះបានបង្ហាញថាខុស។ ក្នុងប្រវត្តិសាស្ត្ររូបវិទ្យា គ្មានពិសោធន៍ណាបានទទួលនូវការខំប្រឹងពន្យល់ពីលទ្ធផលរំពឹងទុកដែលមិនមាន ដូចធ្វើពិសោធន៍របស់ Michelson, Morley ។ សកម្មភាពបន្ទាប់គឺរៀបចំសម្រាប់អាញស្តាញ (Einstein) អ្នកដោះស្រាយបញ្ហាក្នុងឆ្នាំ ១៩០៥ ជាមួយទ្រឹស្តីធៀបពិសេសរបស់គាត់(special theory of relativity)។

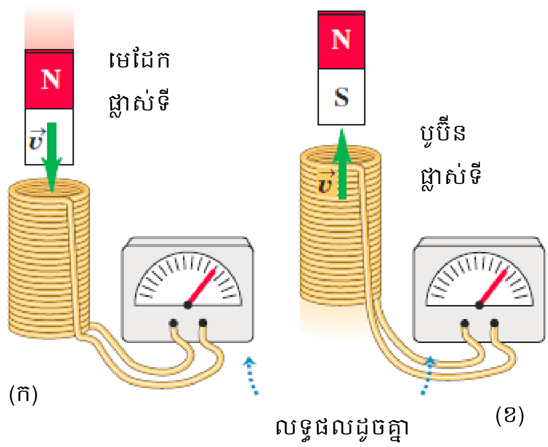
1.3 គោលការណ៍ធៀបរបស់អាញស្តាញ(Einstein’s Principle of Relativity)

បញ្ហាទាំងឡាយដែលមាននៅដើមសតវត្សទី២០ជាមួយនឹងទ្រឹស្តីអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច និងមេកានិចរបស់ញូតុន ត្រូវបានដោះស្រាយដោយទ្រឹស្តីធៀបរបស់អាញស្តាញ(Einstein)ក្នុងឆ្នាំ១៩០៥។ ក្នុងអត្ថបទដ៏ល្បីរបស់គាត់ឆ្នាំ១៩០៥ អាញស្តាញបានស្នើនូវឧបធាពីរ។ ទីមួយគឺពង្រីកនូវគោលការណ៍ធៀបរបស់ហ្គាលីលេដោយរួមបញ្ចូល មិនត្រឹមតែច្បាប់មេកានិចប៉ុណ្ណោះទេ ប៉ុន្តែបានថែមនូវច្បាប់រូបវិទ្យាទាំងឡាយរួមមាន អគ្គិសនី និងម៉ាញេទិច៖

ឧបធាទី១(គោលការណ៍ធៀប)៖ ច្បាប់រូបវិទ្យាទាំងឡាយមានទម្រង់ដូចគ្នាក្នុងប្រព័ន្ធយោងនិចលទាំងអស់។

ឧបធាទីមួយអាចពោលបានម្យ៉ាងទៀតថា៖ គ្មានពិសោធន៍ណាដែលអ្នកអាចធ្វើក្នុងប្រពន្ធ័យោងនិចល មួយដែលប្រាប់អ្នកថាតើអ្នកនៅស្ងៀម ឬកំពុងមានចលនាឯកសណ្ឋានដោយវ៉ិចទ័រល្បឿនថេរទេ។

ពិនិត្យមើលឧទាហរណ៍មួយស្តីអំពីកំលាំងអគ្គិសនីចលករកើតឡើងនៅក្នុងបូប៊ីនមួយនៅជិត មេដែកអចិន្ត្រៃផ្លាស់ទីមួយ។ ក្នុងប្រពន្ធ័យោងជាបូប៊ីនដែលនៅនឹងរូប១.៩ក បំលាស់ទីរបស់មេដែកបណ្តា លឱ្យមានបម្រែបម្រួលភ្លុចឆ្លងកាត់បូប៊ីន ហើយបានបង្កើតនូវកំលាំងអគ្គិសនីចលនា។ ក្នុងប្រពន្ធ័យោង មួយផ្សេងទៀតដែលជាមេដែកនៅនឹង រូប១.៩ខ ចលនារបស់បូប៊ីនឆ្លងកាត់ដែនម៉ាញេទិចបង្កើតបាននូវកំ លាំងអគ្គិសនីចលករ។ ដូចនេះកំលាំងអគ្គិសនីចលករដូចគ្នាត្រូវតែបានបង្កើតឡើងក្នុងករណីទាំងពីរដូច បង្ហាញក្នុងរូប ១.៩ ដែលត្រូវនឹងគោលការណ៍ធៀបក្នុងឧបធាទី១របស់អាញស្តាញ។ ដូច្នេះច្បាប់ផារ៉ាដេគឺ ត្រូវនឹងគោលការណ៍ធៀបរបស់អាញស្តាញ។ តាមពិត គ្រប់ច្បាប់ទាំងអស់នៃអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចគឺដូចគ្នា នៅក្នុងរាល់ប្រពន្ធ័យោងនិចលទាំងអស់។



រូបទី១.៩៖ កំលាំងអគ្គិសនីចលករដូចគ្នាត្រូវបានបង្កើតឡើងមិនថា
(ក) មេដែកផ្លាស់ទីធៀបនឹងបូប៊ីន ឬ (ខ) បូប៊ីនផ្លាស់ទីធៀបនឹងមេដែក។

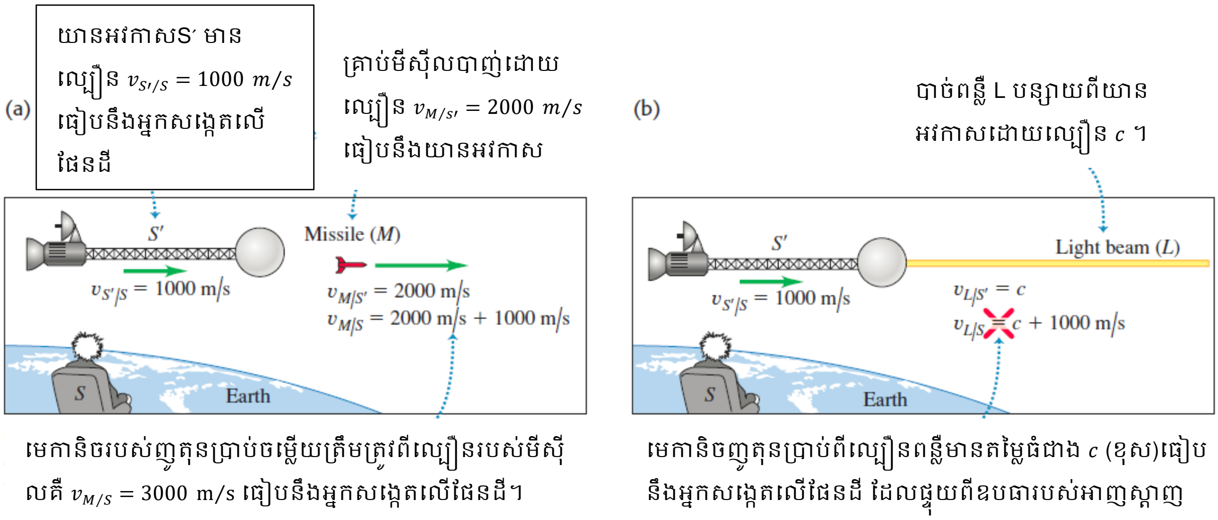
ឧបធាទី២(ភាពថេរនៃល្បឿនពន្លឺ)៖ ពន្លឺដាលឆ្លងកាត់លំហទទេ(សុញ្ញកាស) ដោយល្បឿន កំណត់មួយ c មិនអាស្រ័យនឹងល្បឿនរបស់ប្រភពពន្លឺ ឬអ្នកសង្កេតឡើយ។

ឧបធាទាំងពីរនេះបង្កើតនូវគ្រឹះយ៉ាងរឹងមាំនៃទ្រឹស្តីធៀបពិសេសរបស់អាញស្តាញ។ វាប្រើពាក្យ "ពិសេស" ដើម្បីញែកកុំឱ្យច្រឡំជាមួយទ្រឹស្តីធៀបទូទៅ។

ឧបធាទី២ហាក់ដូចជាពិបាកក្នុងការទទួលយក ព្រោះវាហាក់ដូចជាប្រឆាំងទៅនឹងអ្វីដែលជួប ប្រទះក្នុងជីវភាពប្រចាំថ្ងៃរបស់មនុស្ស។ ល្បឿនពន្លឺដាលក្នុងសុញ្ញកាសគឺដូចគ្នា $3.00 \times 10^8\ m/s$ មិនថា ប្រភពពន្លឺ ឬអ្នកសង្កេតមានល្បឿនក៏ដោយ។ ដូច្នេះ ចំពោះដំណើររបស់មនុស្សម្នាក់ឆ្ពោះទៅ ឬចេញពី

ប្រភពពន្លឺ នឹងវាស់បានល្បឿនពន្លឺដូចគ្នា ហើយក៏ដូចនឹងការវាស់របស់អ្នកនៅនឹងដែលធៀបនឹងប្រភពពន្លឺដែរ។ ទាំងនេះគឺមិនស្របនឹងបទពិសោធន៍ដែលជួបក្នុងជីវភាពប្រចាំថ្ងៃរបស់មនុស្ស ដែលបានរំពឹងទុកថាគួរតែបូកបន្ថែមវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់អ្នកសង្កេត ឬរបស់ប្រភពពន្លឺទៀត។

សន្មតថាអ្នកសង្កេតពីរនាក់វាស់ល្បឿនរបស់ពន្លឺក្នុងសុញ្ញាកាស។ ម្នាក់គឺនៅនឹងធៀបនឹងប្រភពពន្លឺ ហើយម្នាក់ទៀតកំពុងផ្លាស់ទីចេញពីប្រភពពន្លឺ។ ទាំងពីនាក់គឺស្ថិតក្នុងប្រពន្ធ័យោងនិចល។ បើតាមគោលការណ៍ធៀប អ្នកសង្កេតទាំងពីរត្រូវតែទទួលបានលទ្ធផលដូចគ្នា ទោះបីម្នាក់កំពុងផ្លាស់ទីធៀបនឹងម្នាក់ទៀតក៏ដោយ។



រូបទី១.១០៖ (a) មេកានិចរបស់ញូតុន ធ្វើការទស្សទាយបានត្រឹមត្រូវចំពោះចលនាធៀបរបស់វត្ថុមានល្បឿនយឺត។ (b) វាធ្វើការទស្សទាយខុសអំពីការប្រព្រឹត្តនៃពន្លឺ។

ដំណើររបស់យានអវកាសមួយឆ្លងកាត់ផែនដីដោយល្បឿន 1000 m/s បាញ់គ្រាប់មីស៊ីលមួយផ្ដោះទៅមុខត្រង់ដោយល្បឿន 2000 m/s (ធៀបនឹងយានអវកាស) (រូបទី១.១០)។ តើល្បឿនរបស់គ្រប់មីស៊ីលស្មើប៉ុន្មានធៀបនឹងផែនដី? ចម្លើយដែលត្រឹមត្រូវគឺយោងទៅតាមគោលការណ៍ធៀបរបស់ហ្គាលីលេគឺ 3000 m/s ។

ប៉ុន្តែឥឡូវសន្មតថាយានអវកាសបើកភ្លើង ពន្លឺដាលក្នុងទិសដៅដូចទិសដៅរបស់គ្រាប់មីស៊ីលដែលបានបាញ់។ អ្នកសង្កេតនៅលើយានវាស់ល្បឿនរបស់ពន្លឺដែលបានបន្សាយនោះគឺ c ។ តាមឧបធាទី២របស់អាញស្តាញ ចលនារបស់ពន្លឺបន្ទាប់ពីចាកចេញពីប្រភពពន្លឺ មិនអាចអាស្រ័យនឹងចលនារបស់ប្រភពពន្លឺទេ។ ដូច្នេះអ្នកសង្កេតនៅលើផែនដីវាស់ល្បឿនរបស់ពន្លឺនេះទទួលបានតម្លៃដូចគ្នាគឺ c មិនមែន $c +$ 1000 m/s ទេ។

1.4 វិបាកនៃទ្រឹស្តីធៀប

1.4.1 ភាពដំណាលគ្នា និងធៀបភាពនៃរយៈពេល

វិបាកសំខាន់មួយនៃទ្រឹស្តីធៀបគឺ គេមិនអាចចាត់ទុកពេលវេលាជាទំហំដាច់ខាតទេ។ គ្មានអ្នកម្នាក់សង្ស័យថាពេលវេលាទៅមុខរហូតហើយមិនដែលត្រឡប់ក្រោយ។ ប៉ុន្តែរយៈពេលចន្លោះរវាងព្រឹត្តិការណ៍ពីរ មិនថាព្រឹត្តិការណ៍ទាំងពីរនោះកើតឡើងដំណាលគ្នាឬអត់ គឺអាស្រ័យនឹងប្រព័ន្ធយោងនៃអ្នកសង្កេត។

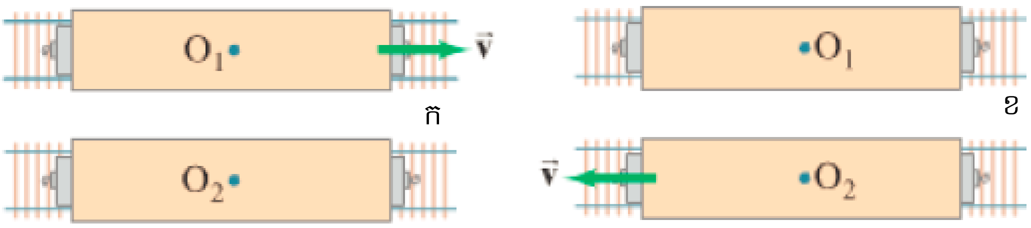
ព្រឹត្តិការណ៍ពីរកើតឡើងដំណាលគ្នា បើពួកវាកើតឡើងក្នុងពេលជាមួយគ្នាយ៉ាងជាក់លាក់។ ប៉ុន្តែគេអាចដឹងបានយ៉ាងដូចម្តេចថាតើ ព្រឹត្តិការណ៍ពីរកើតឡើងនៅពេលជាមួយគ្នាយ៉ាងត្រឹមត្រូវ? ប្រសិនបើពួកវាកើតឡើងនៅទីតាំងដូចគ្នាក្នុងលំហ ដូចជាផ្លែប៉ោមពីរធ្លាក់ត្រូវក្បាលអ្នកក្នុងពេលតែមួយជាដើម បែបនេះគឺវាងាយស្រួលកំណត់ថាកើតឡើងដំណាលគ្នា។ ប៉ុន្តែបើព្រឹត្តិការណ៍ទាំងពីរស្ថិតនៅយ៉ាងឆ្ងាយពីគ្នាវិញ វាមានភាពលំបាកក្នុងការដឹងថាតើ ពួកវាកើតដំណាលគ្នាឬអត់ ព្រោះគេត្រូវគិតពីរយៈពេលដែលពន្លឺដាលពីកន្លែងដែលព្រឹត្តិការណ៍បានកើតឆ្ពោះមកអ្នក។ ឧទាហរណ៍ ព្រឹត្តិការណ៍ពីរត្រូវបានសង្កេតឃើញថាកើតឡើងក្នុងពេលដូចគ្នា ប៉ុន្តែបើព្រឹត្តិការណ៍មួយពិតជាបានកើតឡើងនៅឆ្ងាយពីអ្នកសង្កេតជាងមួយទៀត នោះព្រឹត្តិការណ៍ដែលមានចម្ងាយឆ្ងាយជាងត្រូវតែបានកើតមុន ហើយព្រឹត្តិការណ៍ទាំងពីរគឺមិនកើតដំណាលគ្នាទេ។

ពិនិត្យពិសោធន៍ងាយមួយ។ ដោយសន្មតយកអ្នកសង្កេតម្នាក់ O ស្ថិតនៅចំកណ្តាលរវាងចំនុច A និង B ជាកន្លែងដែលព្រឹត្តិការណ៍បានកើតឡើង រូប ១.១១ ។ សន្មតថាព្រឹត្តិការណ៍ទាំងពីរជាផ្លេកបន្ទោដែលបាញ់នៅត្រង់ចំនុច A និង B ដូចរូប។ ដោយកំណត់ផ្លេកបន្ទោជារលកនៃពន្លឺ នឹងដាលចេញពី A និង B ឆ្ពោះទៅដល់ O ។ អ្នកសង្កេត O ឃើញព្រឹត្តិការណ៍ទាំងពីរពេលរលកនៃពន្លឺដាលមកដល់ចំនុច O ។ បើរលកនៃពន្លឺទាំងពីរមកដល់ O ក្នុងពេលដូចគ្នា នោះព្រឹត្តិការណ៍ទាំងពីរកើតដំណាលគ្នា។ នេះដោយសាររលកពន្លឺទាំងពីរដាលដោយល្បឿនដូចគ្នា(ឧបធាទី២) និងដោយសារចម្ងាយ OA ស្មើនឹង OB នោះរយៈពេលសម្រាប់ពន្លឺដាលពី A ទៅ O និងពី B ទៅ O ត្រូវតែស្មើគ្នា។ អ្នកសង្កេត O អាចថ្លែងយ៉ាងច្បាស់ថា ព្រឹត្តិការណ៍ទាំងពីរបានកើតឡើងដំណាលគ្នា។ ផ្ទុយទៅវិញ បើអ្នកសង្កេត O ឃើញពន្លឺចេញពីព្រឹត្តិការណ៍ណាមួយមុនព្រឹត្តិការណ៍ផ្សេងទៀត មានន័យថាព្រឹត្តិការណ៍នោះបានកើតមុន។

រូបទី១.១១៖ ខណៈមួយបន្ទាប់ពីផ្លេកបន្ទោបានបាញ់នៅចំនុច A និង B ហើយពន្លឺកំពុងដាល ឆ្ពោះទៅអ្នកសង្កេត O ប៉ុន្តែអ្នកសង្កេត O ឃើញផ្លេកបន្ទោតែពេលណាពន្លឺមកដល់ O ។

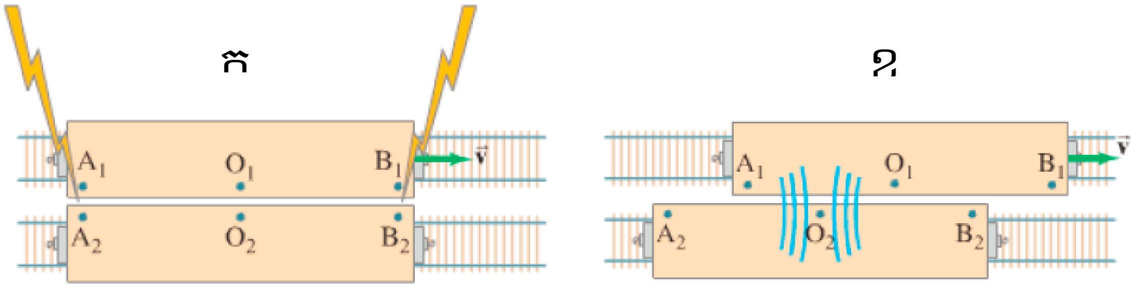
បញ្ហាដែលគេពិតជាចង់ពិនិត្យនោះគឺ បើសិនជាព្រឹត្តិការណ៍ទាំងពីរកើតដំណាលគ្នាចំពោះអ្នកសង្កេតក្នុងប្រពន្ធ័យោងមួយ តើពួកវាកើតដំណាលគ្នាចំពោះអ្នកសង្កេតក្នុងប្រព័ន្ធយោងមួយផ្សេងទៀតដែលផ្លាស់ទីធៀបនឹងប្រព័ន្ធយោងមុន? ឧបមាថាអ្នកសង្កេត O_1 និង O_2 ស្ថិតនៅនឹងក្នុងប្រពន្ធ័យោង ១ និង ២ ដែលផ្លាស់ទីដោយល្បឿន v ធៀបនឹងគ្នា។ សន្មតថាប្រពន្ធ័យោងទាំងពីរជាទូរថភ្លើង (រូប១.១២) ។ O_2 ថា O_1 កំពុងផ្លាស់ទីទៅស្តាំដោយល្បឿន v រូប១.១២ក ហើយ O_1 ថា O_2 កំពុងផ្លាស់ទីទៅឆ្វេងដោយល្បឿន v រូប១.១២ខ ។

ឥឡូវសន្មតថា អ្នកសង្កេត O_1 និង O_2 សង្កេត និងវាស់ផ្លេកបន្ទោទាំងពីរ។ ផ្លេកបន្ទោបានបាញ់ ហើយធ្វើឱ្យមានស្នាមនៅលើទូរថភ្លើងត្រង់ A_1 និង B_1 លើរថភ្លើង O_1 និងនៅត្រង់ A_2 និង B_2 លើរថភ្លើង O_2 រូប១.១៣ក។



រូបទី ១.១២៖ អ្នកសង្កេត O_1 និង O_2 នៅលើរថភ្លើងពីរផ្សេងគ្នា(ប្រព័ន្ធយោងផ្សេងគ្នា) កំពុងផ្លាស់ទីដោយល្បឿន v ធៀបនឹងគ្នា។ (ក) O_2 ថា O_1 កំពុងផ្លាស់ទីទៅស្តាំ (ខ) O_1 ថា O_2 កំពុងផ្លាស់ទីទៅឆ្វេង។ ទស្សនទាំងពីរគឺសុទ្ធតែត្រឹមត្រូវ វាអាស្រ័យនឹងប្រពន្ធ័យោងដែកអ្នកតាំងនៅ។

ដើម្បីងាយស្រួលគេសន្មតថា O_1 ស្ថិតនៅចំកណ្តាលរវាង A_1 និង B_1 និង O_2 ស្ថិតនៅចំកណ្តាលរវាង A_2 និង B_2 ។



រូបទី ១.១៣៖ ពិសោធន៍លើភាពដំណាលគ្នា។ ចំពោះអ្នកសង្កេត O_2 ប្រពន្ធ័យោងនៃ O_1 កំពុងផ្លាស់ទីទៅស្តាំ។ ក្នុង (ក) ផ្លេកបន្ទោរមួយបានបាញ់ទៅលើប្រព័ន្ធយោងពីរត្រង់ A_1 និង A_2 ។ ហើយផ្លេកបន្ទោរទីពីរបានបាញ់ត្រង់ B_1 និង B_2 ។ (ខ) ខណៈក្រោយមក ពន្លឺចេញពីព្រឹត្តិការណ៍ទាំងពីរមកដល់ O_2 នៅខណៈពេលដូចគ្នា ដូច្នេះយោងតាមអ្នកសង្កេត O_2 ផ្លេកបន្ទោរទាំងពីរកើតដំណាលគ្នា។ ប៉ុន្តែក្នុងប្រព័ន្ធយោង O_1 ដោយហេតុថា ពន្លឺពី A_1 មិនទាន់បានមកដល់ O_1 ។ ដូច្នេះក្នុងប្រព័ន្ធយោង O_1 ព្រឹត្តិការណ៍ត្រង់ B_1 ត្រូវតែមានមុនព្រឹត្តិការណ៍ត្រង់ A_1 ។ ភាពដំណាលគ្នានៃរយៈពេលគឺមិនដាច់ខាតទេ។

ដំបូងសន្មតថាយើងស្ថិតនៅក្នុងប្រពន្ធ័យោង O_2 ដូច្នេះយោងសង្កេតឃើញ O_1 ផ្លាស់ទីទៅស្តាំដោយល្បឿន v ។ សន្មតផងដែរថាព្រឹត្តិការណ៍ទាំងពីរកើតឡើងដំណាលគ្នាក្នុងប្រព័ន្ធយោង O_2 ហើយចំខណៈពេលដែល O_1 និង O_2 ចាប់ផ្តើមផ្ទុយគ្នា(រូប ១.១៣ក)។ នៅខណៈពេលយ៉ាងខ្លីក្រោយមក(រូប ១.១៣ខ) ពន្លឺពី A_2 និង B_2 មកដល់ O_2 ក្នុងពេលដូចគ្នា។ ព្រោះ O_2 ដឹងថាចំងាយរវាង O_2A_2 និង O_2B_2 គឺស្មើគ្នា ដូច្នេះព្រឹត្តិការណ៍ទាំងពីរកើតដំណាលគ្នាក្នុងប្រព័ន្ធយោង O_2 ។

ប៉ុន្តែតើអ្នកសង្កេត O_1 វាស់ និងសង្កេតឃើញដូចម្តេច? ពីប្រពន្ធ័យោង O_2 យើងអាចទាយនូវអ្វីដែល O_1 នឹងសង្កេតឃើញ។ យើងឃើញថា O_1 ផ្លាស់ទីទៅស្តាំក្នុងកំឡុងពេលដែលពន្លឺដាលទៅ O_1 ពី A_1 និង B_1 ។ ដូចបង្ហាញក្នុងរូប ១.១៣ខ ពីប្រពន្ធ័យោង O_2 យើងអាចឃើញថាពន្លឺពី B_1 បានឆ្លងកាត់ O_1 រួចទៅហើយ ចំណែកពន្លឺពី A_1 មិនទាន់មកដល់ O_1 នៅឡើយ។ ដូចនេះ O_1 សង្កេតឃើញពន្លឺមកពី B_1 មុនពេលសង្កេតឃើញពន្លឺមកពី A_1 ។ តាមពិសោធន៍នេះដោយឱ្យ (១) ពន្លឺនោះដាលដោយល្បឿនដូចគ្នា c ក្នុងទិសដៅណាមួយ និងក្នុងប្រព័ន្ធយោងណាមួយ (២) ចម្ងាយ O_1A_1 ស្មើ O_1B_1 បន្ទាប់មកអ្នកសង្កេត O_1 គ្រាន់តែអាចសន្និដ្ឋានបានថា ព្រឹត្តិការណ៍នៅត្រង់ B_1 កើតមុនព្រឹត្តិការណ៍ត្រង់ A_1 ។ ព្រឹត្តិការណ៍ទាំងពីរគឺមិនដំណាលគ្នាទេចំពោះ O_1 ទោះជាពួកវាកើតដំណាលគ្នាសម្រាប់ O_2 ក៏ដោយ។

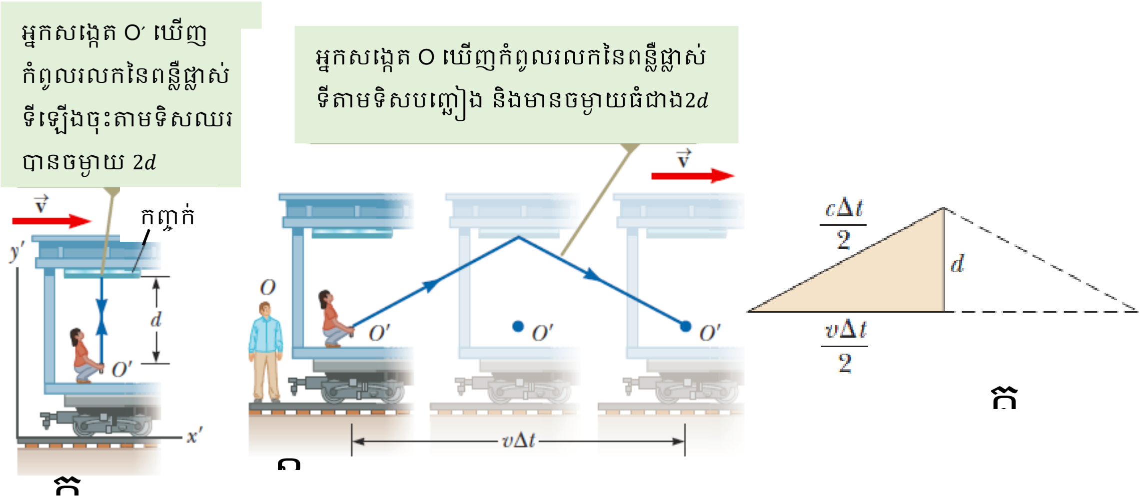
ដូចនេះយើងរកឃើញថាព្រឹត្តិការណ៍ពីរដែលកើតនៅទីតាំងខុសគ្នា ហើយមានភាពដំណាលគ្នាចំពោះអ្នកសង្កេតម្នាក់ គឺពិតជាមិនមានភាពដំណាលគ្នាចំពោះអ្នកសង្កេតទីពីរដែលផ្លាស់ទីធៀបនឹងទីមួយ។

អាចមានសំណួរសួរថា៖ "តើអ្នកសង្កេតមួយណាត្រឹមត្រូវ O_1 ឬ O_2 ?" ចម្លើយ យោងទៅតាមធៀបភាព គឺថាពួកគេទាំងពីរសុទ្ធតែត្រូវ។ មិនមានប្រពន្ធ័យោងល្អឥតខ្ចោះណាដែលយើងអាចជ្រើសរើសយកមកកំណត់ថាអ្នកសង្កេតមួយណាត្រូវទេ។ ប្រព័ន្ធយោងទាំងពីរគឺល្អដូចគ្នា។ យើងគ្រាន់តែអាចសន្និដ្ឋានថា ភាពដំណាលគ្នាគឺមិនមែនជាគោលការណ៍ដាច់ខាតទេ ប៉ុន្តែគឺធៀបភាព។

1.4.2 ការរីកនៃពេល៖

ដើម្បីបង្ហាញឱ្យកាន់តែច្បាស់ថា អ្នកសង្កេតក្នុងប្រពន្ធ័យោងនិចលខុសគ្នាអាចវាស់រយៈពេលរវាងព្រឹត្តិការណ៍ពីខុសគ្នាដែរ ពិនិត្យការផ្លាស់ទីរបស់យានជំនិះមួយទៅស្តាំដោយល្បឿន v ដូចបង្ហាញក្នុងរូប ១.១៤ក ។ កញ្ចក់ប្លង់មួយបានបិទភ្ជាប់នឹងពិដាន(ដំបូល)របស់យានជំនិះនោះ ហើយអ្នកសង្កេត O′ នៅនឹងក្នុងប្រពន្ធ័យោងជាប់នឹងយានជំនិះកាន់ពិល(ប្រភពពន្លឺ)មួយនៅចម្ងាយ d ខាងក្រោមកញ្ចក់។ នៅខណៈយ៉ាងខ្លី ពិលបានបន្សាយនូវកំពូលរលកមួយរបស់ពន្លឺឆ្ពោះទៅកញ្ចក់ប្លង់(ព្រឹត្តិការណ៍១) ហើយខណៈពេលក្រោយមកបន្ទាប់ពីផ្លាតពីកញ្ចក់ កំពូលរលកនៃពន្លឺនោះបានត្រឡប់មកដល់ពិលវិញ (ព្រឹត្តិការណ៍២) ។ អ្នកសង្កេត O′ កាន់នាឡិកាមួយ ហើយប្រើវាសម្រាប់វាស់ចន្លោះពេល Δt_p រវាងព្រឹត្តិការណ៍ទាំងពីរ។ (p តាងឱ្យ proper=ពិត) ។ គេចាត់ទុកកំពូលរលកនៃពន្លឺជាចំនុចរូបធាតុមានល្បឿនថេរ។ ព្រោះកំពូលរលកនៃពន្លឺមានល្បឿន c ។ រយៈពេលដែលត្រូវការសម្រាប់កំពូលរលកនៃពន្លឺដាលពី O′ ទៅកញ្ចក់ និងត្រឡប់មកវិញគឺ

$$\Delta t_p = \frac{\text{ចម្ងាយចរ}}{\text{ល្បឿន}} = \frac{2d}{c} \qquad (១.១០)$$



រូបទី១.១៤៖ (ក) កញ្ចក់ប្លង់ត្រូវបានភ្ជាប់ទៅនឹងដំបូលយានជំនិះ ហើយរលកពន្លឺបានបញ្ជូនចេញពីអ្នកសង្កេត O′ ដែលនៅសៀមលើយាន។ (ខ) ធៀបនឹងអ្នកសង្កេតដែលឈរសៀម O ក្រៅយាន កញ្ចក់ និង O′ ផ្លាស់ទីដោយល្បឿន v ។ (គ) ត្រីកោណកែងសម្រាប់គណនាទំនាក់ទំនង Δt និង Δt_p ។

តាមអ្នកសង្កេត O កញ្ចក់ និងប្រភពពន្លឺ(ពិល)កំពុងផ្លាស់ទីទៅស្តាំដោយល្បឿន v ។ ជាលទ្ធផលគាត់សង្កេតឃើញថា នៅរយៈពេលយ៉ាងខ្លីដែលពន្លឺដាលពីប្រភពទៅប៉ះនឹងកញ្ចក់ កញ្ចក់បានផ្លាស់ទីទៅស្តាំបានចម្ងាយ $v\Delta t/2$ ។ ដែល Δt ជារយៈពេលដែលពន្លឺត្រូវការដើម្បីដាលពី O′ ទៅកញ្ចក់ និងត្រឡប់មក O′ វិញ វាស់ដោយ O ។ អ្នកសង្កេត O សន្និដ្ឋានថា ដោយសារចលនានៃយាន បើពន្លឺទៅប៉ះកញ្ចក់ វាត្រូវតែចេញពីប្រភពពន្លឺទៅដោយបង្កើតបានមុំមួយជាមួយនឹងទិសឈរ។ ប្រៀបធៀបរូប១.១៤ក និង១.១៤ខ យើងឃើញថាពន្លឺត្រូវដាលកក្នុងផ្នែក(ខ)ឆ្ងាយជាងក្នុងផ្នែក(ក) ។

យោងតាមឧបធាទី២នៃទ្រឹស្តីធៀប អ្នកសង្កេតទាំងអស់ត្រូវតែវាស់បានល្បឿនរបស់ពន្លឺគឺ c ។ ដោយពន្លឺដាលឆ្ងាយជាងយោងតាមអ្នកសង្កេត O រយៈពេល Δt វាស់ដោយ O គឺវែងជាងរយៈពេល Δt_p វាស់ដោយ O′ ។ ដើម្បីទទួលបានទំនាក់ទំនងរវាងរយៈពេលទាំងពីរនេះ គេត្រូវប្រើត្រីកោណកែងដូចបង្ហាញក្នុងរូប ១.១៤គ។ តាមទ្រឹស្តីពីតាគ័រ

$$\left(\frac{c\Delta t}{2}\right)^2 = \left(\frac{v\Delta t}{2}\right)^2 + d^2$$

នាំឱ្យ

$$\Delta t = \frac{2d}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2d}{c\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (១.១១)$$

ដោយ $\Delta t_p = 2d/c$ គេអាចសរសេរ

$$\Delta t = \frac{\Delta t_p}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma \Delta t_p \qquad (១.១២)$$

ដែល

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (១.១៣)$$

ព្រោះ γ តែងតែធំជាងមួយ នោះសមីការ ១.១៣ បង្ហាញថា រយៈពេល Δt វាស់ដោយអ្នកសង្កេតផ្លាស់ទីធៀបនឹងនាឡិកាមួយ គឺយូជាងរយៈពេល Δt_p វាស់ដោយអ្នកសង្កេតនៅស្ងៀមធៀបនឹងនាឡិកា។ ឥទ្ធិពលនេះហៅថា ការរីកនៃពេល។ (នាឡិកាដែលកំពុងផ្លាស់ទីដើរយឺតជាងនាឡិកាដែលគេដាក់នៅនឹងដោយកត្តា γ)។

ឧទាហរណ៍៖ ខួបរបស់ប៉ោលទោលមួយត្រូវបានវាស់ក្នុងប្រព័ន្ធយោងនៃប៉ោលទោលគឺ 3.00 s ។ តើខួបរបស់ប៉ោលទោលនេះវាស់ដោយអ្នកសង្កេតកំពុងផ្លាស់ទីដោយល្បឿន $0.960\,c$ ធៀបនឹងប៉ោលទោលមានតម្លៃប៉ុន្មាន?

ដំណោះស្រាយ៖

ជំនួសពីការដែលអ្នកសង្កេតផ្លាស់ទី ដោយឱ្យប៉ោលទោលផ្លាស់ទីវិញ។ អាចនិយាយម្យ៉ាងទៀតថា ប៉ោលទោលកំពុងផ្លាស់ទីដោយល្បឿន $0.96\,c$ ឆ្លងកាត់អ្នកសង្កេតដែលនៅស្ងៀម។ ដូច្នេះប៉ោលគឺជាឧទាហរណ៍មួយរបស់នាឡិកាកំពុងផ្លាស់ទីដោយល្បឿនយ៉ាងធំធៀបនឹងអ្នកសង្កេត។

រយៈពេលពិត វាស់ក្នុងប្រព័ន្ធយោងនៅនឹងនៃប៉ោលទោលគឺ $\Delta t_p = 3.00$ s ។

ប្រើសមីការ ១.១២ ដើម្បីរកការរីកនៃរយៈពេល

$$\Delta t = \gamma \Delta t_p = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{(0.960\,c)^2}{c^2}}}\Delta t_p = \frac{1}{\sqrt{1-0.9216}}\Delta t_p = 3.57(3.00) = 10.7\text{ s}$$

1.4.3 ភាពរួញនៃប្រវែង៖

ការវាស់ចំងាយរវាងចំនុចពីរក្នុងលំហក៏ផ្អែកលើប្រព័ន្ធយោងនៃអ្នកសង្កេតដែរ។ ប្រវែងពិត L_p នៃវត្ថុមួយគឺជាប្រវែងវាស់ដោយអ្នកសង្កេតម្នាក់នៅនឹងធៀបនឹងវត្ថុ។ ប្រវែងរបស់វត្ថុមួយវាស់ដោយអ្នកណាម្នាក់ក្នុងប្រព័ន្ធយោងមួយដែលកំពុងផ្លាស់ទីធៀបនឹងវត្ថុ គឺតែងតែខ្លីជាងប្រវែងពិត។

ដើម្បីយល់នូវភាពរួញនៃប្រវែង សូមពិនិត្យការធ្វើដំណើររបស់យានអវកាសមួយមានល្បឿន v ពីផ្កាយមួយទៅផ្កាយមួយទៀត។ អ្នកសង្កេតនៅស្ងៀមលើផែនដីវាស់ចម្ងាយរវាងផ្កាយទាំងពីរ គឺជាចម្ងាយពិត L_p ។ បើតាមអ្នកសង្កេតនេះ រយៈពេលដែលត្រូវការសម្រាប់យានអវកាសដើម្បីបញ្ចប់ការធ្វើដំណើររបស់វាគឺ $\Delta t = L_p/v$ ។ ហើយរយៈពេលដែលអ្នកសង្កេតនៅក្នុងយានវាស់គឺជារយៈពេលពិត Δt_p ។ ដោយសារមានការរីកនៃពេល រយៈពេលពិតមានទំនាក់ទំនងជាមួយនឹងរយៈពេលដែលវាស់ដោយអ្នកសង្កេតលើផែនដីតាម $\Delta t_p = \Delta t/\gamma$ ។ ព្រោះអ្នកដំណើរក្នុងយានទៅដល់ផ្កាយទីពីរក្នុងរយៈពេល Δt_p នោះអ្នកដំណើរសន្និដ្ឋានថា ចម្ងាយរវាងផ្កាយទាំងពីរគឺ

$$L = v\Delta t_p = v\frac{\Delta t}{\gamma}$$

ដោយប្រវែងពិតគឺ $L_p = v\Delta t$ គេបាន

$$L = \frac{L_p}{\gamma} = L_p\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad (១.១៤)$$

ដែល $\sqrt{1-v^2/c^2}$ គឺជាកត្តាដែលមានតម្លៃតូចជា *1* ។ វត្ថុមួយមានប្រវែងពិត L_p ពេលវាត្រូវបានវាស់ដោយអ្នកសង្កេតនៅនឹងធៀបជាមួយវត្ថុនោះ ហើយប្រវែងរបស់វា L ពេលវាផ្លាស់ទីដោយល្បឿន v ក្នុងទិសដៅស្របនឹងប្រវែងរបស់វា ត្រូវបានវាស់ឃើញថាខ្លីជាង តាមសមីការ ១.១៤ ។

ឧទាហរណ៍៖ តើបន្ទាត់មួយដែលមានប្រវែង *1 m* ត្រូវផ្លាស់ទីដោយល្បឿនប៉ុន្មានដើម្បីឱ្យអ្នកសង្កេតមើលឃើញប្រវែងរបស់វាខ្លីជាងមុន *10% (90 cm)* ?

ដំណោះស្រាយ៖ តាមសមីការ ១.១៤

$$L = \frac{L_p}{\gamma} = L_p\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$1-\frac{v^2}{c^2} = \left(\frac{L}{L_p}\right)^2$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1-\left(\frac{L}{L_p}\right)^2 = 1-\left(\frac{0.9\ \mathrm{m}}{1\ \mathrm{m}}\right)^2 = 0.19$$

$$v = 0.43\ c$$

1.5 បំលែងរបស់ឡូរ៉ង់ (The Lorentz Transformations)

1.5.1 បំលែងកូអរដោនេរបស់ឡូរ៉ង់៖

ដើម្បីបកស្រាយការបំលែងកូអរដោនេ ពិនិត្យមើលរូបទី ១.១៥។ ដំបូងសន្មតថាគល់នៃប្រព័ន្ធកូអរដោនេត្រួតស៊ីគ្នានៅខណៈដើមពេល $t = 0 = t'$ ។ នៅខណៈពេល $t \neq 0$បន្ទាប់មកចម្ងាយពី *O*ទៅ *O′* គឺ vt ។ អាប់ស៊ីស x' គឺជាប្រវែងពិតក្នុង *S′* ។ ដូច្នេះក្នុង *S*វាត្រូវបានបង្រួមដោយ $1/\gamma = \sqrt{1-v^2/c^2}$ ដូចក្នុងសមីការ ១.១៤ (ព្រោះ *S′* ផ្លាស់ទីធៀបនឹង *S*)។ ដូច្នេះចម្ងាយ x គឺពី *O* ទៅ *P* ដូចឃើញក្នុង *S* គឺមិនងាយស្រួលដូច $x = vt + x'$ ក្នុងបំលែងកូអរដោនេរបស់ហ្គាលីលេឡើយ ប៉ុន្តែគឺ

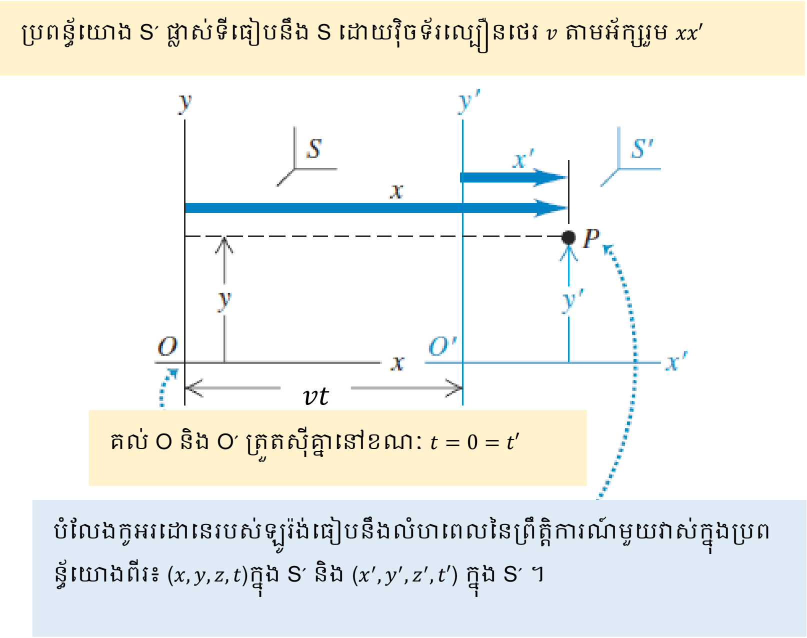
$$x = vt + x'\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad (១.១៥)$$

ដោះស្រាយសមីការនេះគេបាន x' គឺ

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (១.១៦)$$

សមីការ ១.១៦ គឺជាផ្នែកមួយនៃបំលែងកូអរដោនេរបស់ឡូរ៉ង់។ ផ្នែកផ្សេងទៀតគឺជាសមីការដែលឱ្យដោយរយៈពេល t' ជាអនុគមន៍នៃ x និង t ។ ដើម្បីទទួលបានបែបនេះ គេគត់សម្គាល់

ថាគោលការណ៍ធៀបតម្រូវឱ្យទម្រង់នៃបំលែងពី S ទៅ S′ គឺដូចគ្នានឹងពី S′ ទៅ S។ ការខុសគ្នាតែមួយគត់គឺ ការផ្លាស់ប្តូរសញ្ញារបស់កូអរដោនេវិចទ័រល្បឿនធៀប v ។ ដូច្នេះពីសមីការ ១.១៥ វាត្រូវតែពិតចំពោះថា



រូបទី ១.១៥៖ វាស់ក្នុងប្រព័ន្ធយោង S ចម្ងាយ x' ត្រូវបង្រួមនៅត្រឹម x'/γ
ដូចនេះ៖ $x = vt + x'/\gamma$ និង $x' = \gamma(x - vt)$ ។

$$x' = -vt' + x\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad (១.១៧)$$

តាមសមីការ ១.១៦ និង ១.១៧ គេអាចបំបាត់ x' ។ ពីនេះគេនឹងទទួលបានសមីការសម្រាប់ t' ជាអនុគមន៍នៃ x និង t ។ ដំណោះស្រាយដូចខាងក្រោម

$$\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = -vt' + x\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$vt' = x\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

គុណអង្គទាំងសងខាងជាមួយ $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ គេបាន

$$vt'\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = x - \frac{v^2 x}{c^2} - x + vt$$

$$t'\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = t - \frac{vx}{c^2}$$

$$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \qquad (១.១៨)$$

ប្រវែងដែលកែងនឹងទិសដៅនៃចលនាធៀបគឺមិនរងនូវឥទ្ធិពលអ្វីទេ ដូច្នេះ $y' = y$ និង $z' = z$ ។ ប្រមូលយកសមីការបំលែងទាំងអស់មកដោះស្រាយគេបាន

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \gamma(x - vt)$$

$$y' = y$$

$$z' = z \qquad (១.១៩)$$

$$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \gamma(t - vx/c^2)$$

សមីការ ១.១៩ ខាងលើហៅ បំលែងកូអរដោនេរបស់ឡូរ៉ង់ពី S ទៅ S' ។ ធៀបភាពទូទៅនៃបំលែងកូអរដោនេរបស់ហ្គាលីលេ។ បើសិនជាគេចង់បំលែងពី S' ទៅ S វិញ វាជាការងាយដោយគ្រាន់តែជំនួស v

ដោយ $-v$ ហើយផ្លាស់ប្ដូរសញ្ញាព្រីម(′) ក្នុងសមីការ ១.១៩ (ពោលគឺកន្លែង x' ជំនួសដោយ x ហើយកន្លែង x ជំនួសដោយ x' វិញ។ រយៈពេលក៏ដូចគ្នា)។

$$x = \gamma(x' + vt')$$

$$y = y'$$

$$z = z' \qquad (១.១៩ក)$$

$$t = \gamma(t' + vx'/c^2)$$

1.5.2 បំលែងនៃវិចទ័រល្បឿនរបស់ឡូរ៉ង់៖

សន្មតថាអ្នកសង្កេតពីរនាក់ស្ថិតក្នុងចលនាធៀបដែលធៀបគ្នាទៅវិញទៅមក ហើយពួកគេសង្កេតចលនារបស់វត្ថុមួយ។ កន្លងមកបំលែងល្បឿនរបស់ហ្គាលីលេអនុវត្តបានតែក្នុងករណីដែលលចនារបស់វត្ថុមានវិចទ័រល្បឿនតូច។ បើសិនជាល្បឿនរបស់វត្ថុមួយ ឬល្បឿនធៀបនៃអ្នកសង្កេតមានតម្លៃខិតទៅរកល្បឿនពន្លឺ តើការវាស់វិចទ័រល្បឿននៃវត្ថុនោះរបស់អ្នកសង្កេតទាំងពីរយ៉ាងដូចម្ដេច? ជាថ្មីម្ដងទៀត ប្រពន្ធ័យោង S' ផ្លាស់ទីដោយល្បឿន v ធៀបនឹង S។ សន្មតថាវត្ថុមានកូអរដោនេនៃវិចទ័រល្បឿនតាមអក្ស័ x គឺ u'_x វាស់ក្នុង S'។ តាមនិយមន័យនសវិចទ័រល្បឿនគឺ

$$u'_x = \frac{dx'}{dt} \qquad (១.២០)$$

តាមសមីការ ១.១៩ គេបាន

$$dx' = \gamma(dx - vdt)$$

$$dt' = \gamma\left(dt - \frac{v}{c^2}dx\right)$$

ជំនួសតម្លៃនេះក្នុងសមីការ ១.២០ គេបាន

$$u'_x = \frac{dx - vdt}{dt - \frac{v}{c^2}dx} = \frac{\frac{dx}{dt} - v}{1 - \frac{v}{c^2}\frac{dx}{dt}}$$

$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{u_x v}{c^2}} \qquad (១.២១)$$

បើសិនជាវត្ថុមានកូអរដោនេនៃវិចទ័រល្បឿតាម y និង z វិចទ័រល្បឿនទាំងនេះវាស់ដោយអ្នកសង្កេតក្នុង S' គឺ

$$u'_y = \frac{u_y}{\gamma\left(1 - \frac{u_x v}{c^2}\right)} \quad \text{និង} \quad u'_z = \frac{u_z}{\gamma\left(1 - \frac{u_x v}{c^2}\right)} \tag{១.២២}$$

សម្គាល់ u'_y និង u'_z មិនមាន v នៅក្នុងភាគយកទេ ព្រោះវ៉ិចទ័រល្បឿនធៀបគឺតាមអក្ស័ x ។

ពេល v មានតម្លៃតូចខ្លាំងធៀបនឹង c (nonrelativistic case) ភាគបែងនៃសមីការ ១.២១ ខិតទៅរក 1 ដូច្នេះ $u'_x \approx u_x - v$ ដែលជាបំលែងនៃវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ហ្គាលីលេ។ ប៉ុន្តែបើ $u_x = c$ សមីការ ១.២១ ក្លាយជា

$$u'_x = \frac{c - v}{1 - \frac{cv}{c^2}} = \frac{c\left(1 - \frac{v}{c}\right)}{1 - \frac{v}{c}} = c$$

លទ្ធផលនេះបង្ហាញថា ល្បឿនបានវាស់ស្មើនឹង c ដោយអ្នកសង្កេតម្នាក់ក្នុងប្រពន្ធ័យោង S គឺដូចគ្នានឹងល្បឿនដែលបានវាស់ដោយអ្នកសង្កេតក្នុងប្រព័ន្ធយោង S' ដែរ។ សេចក្តីសន្និដ្ឋាននេះគឺស្របនឹងឧបធាទី ២ របស់អាញស្តាញដែលពោលថា៖ ល្បឿនរបស់ពន្លឺត្រូវតែដូចគ្នា c ធៀបនឹងប្រព័ន្ធយោងនិចលទាំងអស់។ ម្យ៉ាងទៀតគេរកឃើញថាល្បឿនរបស់វត្ថុមួយមិនដែលត្រូវបានវាស់ឃើញថាធំជាងល្បឿនពន្លឺ c ទេ។

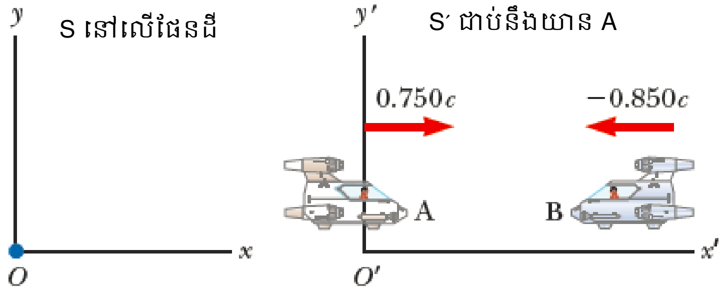
ដើម្បីទទួលបាន u_x ជាអនុគមន៍នៃ u'_x គឺ (តាមនិយមន័យល្បឿន)

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

ដោយប្រើសមីការ ១.១៩ក គេអាចទទួលបានតម្លៃ dx និង dt បន្ទាប់មកគេបាន u_x ដូចសមីការខាងក្រោម

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{u'_x v}{c^2}} \tag{១.២៣}$$

ឧទាហរណ៍៖ យានអវកាសពីរ A និង B កំពុងផ្លាស់ទីក្នុងទិសដៅផ្ទុយគ្នាដូចបង្ហាញក្នុងរូប១.១៦ ។ យាន A មានល្បឿន $0.750c$ និងយាន B មានល្បឿន $0.850c$ ធៀបនឹងអ្នកសង្កេតម្នាក់នៅលើផែនដី។ រកវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់យាន B សង្កេតដោយអវកាសយានិកក្នុង A ។



រូបទី ១.១៦៖ យានអវកាសពីរ A និង B ផ្លាស់ទីក្នុងទិសដៅផ្ទុយគ្នា។

ដំណោះស្រាយ៖ មានអ្នកសង្កេតពីរ ម្នាក់នៅ(O)លើផែនដីហើយម្នាក់ទៀត(O')នៅក្នុងយាន A ។ ព្រឹត្តិការណ៍គឺជាចចលនារបស់យាន B។

ប្រព័ន្ធយោង S'ដែលនៅជាប់នឹងយាន A ផ្លាស់ទីដោយល្បឿន $v = 0.750c$ ធៀបនឹងអ្នកសង្កេតនៅនឹងលើផែនដី(ប្រព័ន្ធយោង S)។ យាន Bមានល្បឿនធៀបនឹងអ្នកសង្កេតនៅនឹងលើផែនដី(ប្រព័ន្ធយោង S) គឺ $u_x = -0.850c$ (ល្បឿនមានទិសដៅតាម x អវិជ្ជមាន)។ ល្បឿនរបស់យាន Bធៀបនឹង A គឺ u'_x ដែលត្រូវរក។ តាមគោលការណ៍បំលែងល្បឿនរបស់ឡូរ៉ង់

$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{u_x v}{c^2}} = \frac{-0.850c - 0.750c}{1 - \frac{(-0.850c)(0.750c)}{c^2}} = -0.977c$$

1.6 បរិមាណចលនាធៀបៈ

ច្បាប់ចលនារបស់ញូតុនគឺមានទម្រង់ដូចគ្នាក្នុងប្រព័ន្ធយោងនិចលទាំងអស់។ នៅពេលគេធ្វើការបំលែងដើម្បីប្តូរពីប្រព័ន្ធយោងនិចលមួយទៅមួយផ្សេងទៀត ច្បាប់ទាំងនោះគួរតែមិនត្រូវបានប្រែប្រួលទេ។ ប៉ុន្តែក្នុងសៀវភៅនេះទើបតែបានបង្ហាញថា គោលការណ៍ធៀបបង្ខំឱ្យយើងជំនួសនូវ ការបំលែងរបស់ហ្គាលីលេដោយការបំលែងរបស់ឡូរ៉ង់ដែលមានភាពទូទៅជាង។

គោលការណ៍រក្សាបរិមាណចលនាពោលថា ពេលអង្គធាតុពីរមានអំពើលើគ្នា បរិមាណចលនាសសរុបមានតម្លៃថេរ វាបានបង្ហាញថា កំលាំងក្នុងសរុបដែលមានអំពើលើអង្គធាតុក្នុងប្រព័ន្ធយោងនិចលមួយគឺស្មើសូន្យ(ក្នុងប្រព័ន្ធត្រមោច)។ បើសិនគោលការណ៍រក្សាបរិមាណចលនាគឺជាច្បាប់ដែលមានភាពត្រឹមត្រូវយកជាការបាន វាត្រូវតែជាច្បាប់ដែលយកជាការបានក្នុងប្រពន្ធ័យោងនិចលទាំងអស់។

ប្រសិនបើគេនៅតែបន្តកំណត់ន័យរបស់បរិមាណចលនា $\vec{P}$ នៃរូបធាតុមួយគឺ $m\vec{v}$ ផលគុណរវាងម៉ាស និងវ៉ិចទ័រល្បឿន នោះបរិមាណចលនាសរុបមិនត្រូវបានរក្សាទេចំពោះអ្នកសង្កេតក្នុងប្រព័ន្ធយោងខុសគ្នា។ គេមានជំរើសពីរ៖ (១) បោះបង់ចោលនូវច្បាប់រក្សាបរិមាណចលនា (២) ធ្វើឱ្យប្រសើឡើងនូវនិយមន័យរបស់បរិមាណចលនាតាមវិធីថ្មីទៀត ដែលច្បាប់រក្សាបរិមាណចលនានៅតែអនុវត្តបានត្រឹមត្រូវ។ ចំរើសដែលត្រឹមត្រូវគឺជំរើសទីពីរ។

ពិនិត្យចលនាភាគល្អិតមួយមានល្បឿនថេរ v ក្នុងទិសដៅ x វិជ្ជមាន។ តាមទ្រឹស្តីបុរាណ បរិមាណចលនារបស់វាគឺ

$$P = mv = m\frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (១.២៤)$$

ដែល Δx គឺជាចម្ងាយដែលវាធ្វើបានក្នុងរយៈពេល Δt ។ ដើម្បីរកកន្សោមបរិមាណចលនាធៀប គេចាប់ផ្តើមពី

$$P = m\frac{\Delta x}{\Delta t_0}$$

ដូចខាងលើដែរ Δx គឺជាចម្ងាយចររបស់ភាគល្អិតដែលឃើញដោយអ្នកសង្កេតម្នាក់កំពុងមើលភាគល្អិតនោះ។ Δt_0 គឺជារយៈពេលដែលត្រូវការដើម្បីចរបានចំងាយខាងលើ ដែលមិនមែនវាស់ដោយអ្នកសង្កេតដែលកំពុងមើលភាគល្អិតទេ តែជារយៈពេលវាស់ដោយអ្នកសង្កេតដែលកំបុងផ្លាស់ជាមួយភាគល្អិត។ ភាគល្អិតនៅនឹងធៀបជាមួយអ្នកសង្កេតទីពីរនេះ ដូច្នេះវាជារយៈពេលពិត(*proper time*) ហើយម៉ាសរបស់ភាគល្អិតក៏សន្មតថាជាម៉ាសនៅនឹងដែរ។ ដោយប្រើសមីការរបស់ភាពរីកនៃពេល $\Delta t = \gamma \Delta t_p$ ($\Delta t_p = \Delta t_0$) (សមីការ ១.១២)

$$P = m\frac{\Delta x}{\Delta t_0} = m\frac{\Delta x}{\Delta t}\frac{\Delta t}{\Delta t_0} = m\frac{\Delta x}{\Delta t}\gamma$$

ដោយផលធៀប $\Delta x/\Delta t$ គឺជាវ៉ិចទ័រល្បឿន v គេបាន

$$P = \gamma m v$$

$$P = \frac{mv}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad (១.២៥)$$

$$\vec{P} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \tag{១.២៦}$$

ពេលល្បឿនរបស់ភាគល្អិត v តូចខ្លាំងធៀបនឹងល្បឿនពន្លឺ c គេបានបរិមាណចលនាដូចគ្នានឹងបរិមាណចលនាក្នុងមេកានិចរបស់ញូតុនដែរ $\vec{P} = m\vec{v}$ ។ វាខុសពីនិយមន័យក្នុងទ្រឹស្តីបុរាណដោយកត្តាឡូរ៉ង់ γ ហើយម្យ៉ាងទៀតកាលណាល្បឿនរបស់ភាគល្អិតខិតទៅរកល្បឿនពន្លឺ c បរិមាណចលនាខិតទៅរកអនន្ត។

1.6.1 ធៀបភាព ច្បាប់ទី២ញូតុន៖

ក្នុងមេការនិចញូតុន កន្សោមទូទៅនៃច្បាប់ទី២ញូតុនគឺ

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} \tag{១.២៧}$$

កំលាំងសរុប $\vec{F}$ ដែលមានអំពើលើភាគល្អិតស្មើនឹងបម្រែបម្រួលបរិមាណចលនាធៀបនឹងរយៈពេល។ តាមពិសោធន៍បានបង្ហាញថាលទ្ធផលនេះគឺនៅតែត្រឹមត្រូវក្នុងមេកានិចធៀប ហើយប្រើបរិមាណចលនាធៀបក្នុងសមីការ ១.២៦ ដើម្បីធ្វើឱ្យច្បាប់ទី២ញូតុនកាន់តែមានភាពទូទៅ

$$\vec{F} = \frac{d}{dt}\frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \tag{១.២៨}$$

ព្រោះបរិមាណចលនាមិនសមាមាត្រនឹងវ៉ិចទ័រល្បឿនដោយផ្ទាល់ នោះបម្រែបម្រួលបរិមាណចលនាក៏មិនសមាមាត្រនឹងសំទុះដោយផ្ទាល់ទៀតដែរ។ ជាលទ្ធផល កម្លាំងថេរមិនបង្កើតឱ្យមានសំទុះថេរទេ។ ឧទាហរណ៍ ពេលកំលាំងសរុប និងវ៉ិចទ័រល្បឿនមានទិសដៅតាមអ័ក្ស x តាមសមីការ ១.២៨ គេបាន

$$F = \frac{m}{(1 - v^2/c^2)^{3/2}}a \tag{១.២៩}$$

ដែល a ជាសំទុះមានទិសដៅតាមអ័ក្ស x ដោះស្រាយសមីការ ១.២៩ គេទទួលបានសំទុះ

$$a = \frac{F}{m}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}$$

គេសង្កេតឃើញថាល្បឿបរបស់ភាគល្អិតកើន សំទុះដែលកើតពីកំលាំងបន្តថយចុះ។ កាលណាល្បឿនកើនដល់ c សំទុះថយដល់សូន្យ មិនថាមានកំលាំងមានអំពើលើភាគល្អិតខ្លាំងប៉ុណ្ណាក៏ដោយ។ ដូច្នេះវាគឺមិនអាចកើតឡើងបានទេដែលថាល្បឿនរបស់ភាគល្អិតមួយអាចបង្កើនរហូតដល់ស្មើ ឬធំជាងល្បឿនពន្លឺនោះ។ ល្បឿនរបស់ពន្លឺជាល្បឿនដែលលឿនបំផុត។

1.6.2 ថាមពលស៊ីនេទិចធៀបៈ

គេប្រើទ្រឹស្តីកម្មន្តថាមពល ចាប់ផ្តើមពីនិយមន័យរបស់កម្មន្ត។ ពេលកំលាំងសរុប និងបំលាស់ទីមានទិសដៅដូចគ្នា កម្មន្តដែលធ្វើដោយកំលាំងនោះគឺ $W = \int F dx$ ។ គេជំនួសតម្លៃរបស់ F តាមសមីការ ១.២៩ ។ កម្មន្តដែលបានបំពេញពីទីតាំង x_1 ទៅទីតាំង x_2 គឺ

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F dx = \int_{x_1}^{x_2} \frac{madx}{(1 - v^2/c^2)^{3/2}} \qquad (១.៣០)$$

ដើម្បីរកកន្សោមថាមពលស៊ីនេទិច K ជាអនុគមន៍នៃល្បឿន គេគួរតែបំលែងកន្សោមនេះទៅជាអាំងតេក្រាលនៃល្បឿន។ ដើម្បីធ្វើបាន ដំបូងត្រូវចងចាំថា ថាមពលស៊ីនេទិចនៃភាគល្អិតមួយគឺស្មើនឹងកម្មន្តដែលបានបំពេញក្នុងចលនារបស់វាពីភាពនៅនឹងទៅរហូតដល់ល្បឿន v $(K = W)$។ មានន័យថាល្បឿនស្មើសូន្យត្រង់ទីតាំង x_1 និង v ត្រង់ទីតាំង x_2 ។ ដោយចលនាតាមអក្ស x ល្បឿន v ជំនួសដោយ v_x ដែលជាវ៉ិចទ័រល្បឿនចុងរបស់ភាគល្អិត កាលណាកំលាំងធ្វើឱ្យវាមានចលនាស្ទុះពីភាពនៅនឹងទៅ។ នៅក្នុងខណៈដ៏ខ្លី dt ភាគល្អិតធ្វើបានចំងាយយ៉ាងខ្លី dx និងល្បឿន dv_x ។ ដោយ $v_x = dx/dt$ និង $a = dv_x/dt$ ដូច្នេះគេអាចសរសេរ adx ដូចខាងក្រោម

$$adx = \frac{dv_x}{dt} dx = dx \frac{dv_x}{dt} = \frac{dx}{dt} dv_x = v_x dv_x$$

ជំនួសតម្លៃនេះក្នុងសមីការ ១.៣០ គេបាន

$$K = W = \int_0^v \frac{mv_x dv_x}{(1 - v_x^2/c^2)^{3/2}} \qquad (១.៣១)$$

ដោះស្រាយអាំងតេក្រាល

$$K = W = \int_0^v m(1 - v_x^2/c^2)^{-3/2}\, v_x dv_x$$

តាង $y = 1 - v_x^2/c^2$ បើ $v_x = 0, y = 1$ ហើយបើ $v_x = v,\ y = 1 - v^2/c^2$ ។ នាំឱ្យ

$$dy = -\frac{2}{c^2} v_x dv_x$$

$$K = W = -\frac{mc^2}{2} \int_1^{1-v^2/c^2} y^{-\frac{3}{2}} dy$$

$$K = W = -\frac{mc^2}{2}\left(\frac{y^{-1/2}}{-\frac{1}{2}}\right)_1^{1-v^2/c^2}$$

$$K = W = mc^2\left(\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} - 1\right)$$

$$K = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - mc^2 = (\gamma - 1)mc^2 \qquad (១.៣២)$$

សមីការ ១.៣២ ជាថាមពលស៊ីនេទិចធៀប។ កាលណា v ខិតទៅរក c ថាមពលស៊ីនេទិចខិតទៅរកអនន្ត។ បើសមីការ ១.៣២ ត្រឹមត្រូវ វាត្រូវតែខិតទៅរកកន្សោមថាមពលស៊ីនេទិចរបស់ញូតុន $K = mv^2/2$ កាលណា v មានតម្លៃតូចណាស់ធៀបនឹង c ។ បើ $v \ll c$ នោះ $v^2/c^2 \ll 1$ តាមទំនាក់ទំនងតម្លៃប្រហែលក្នុងគណិតវិទ្យា $(1-x)^n \approx 1 - nx$ ដែលត្រឹមត្រូវចំពោះ $|x| \ll 1$ គេបាន

$$\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \approx 1 + \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}$$

តាមសមីការ ១.៣២ គេបាន

$$K = W = mc^2\left(1 + \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}\right) - mc^2 = \frac{1}{2}mv^2$$

សមីការ ១.៣២ អាចសរសេរក្រោមទម្រង់

$$E = K + mc^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \gamma mc^2 \qquad (១.៣៣)$$

សមីការ ១.៣៣ ជាថាមពលសរុបរបស់ភាគល្អិត។ ចំពោះភាគល្អិតនៅនឹង $(K = 0)$ គេឃើញថាថាមពល $E = mc^2$ ។ ថាមពល mc^2 នេះហៅថា ថាមពលនៅនឹង(*rest energy*) តាងដោយ E_0 ។ សមីការ ១.៣៣ អាចសរសេរ

$$E = K + E_0 \qquad (១.៣៤)$$

ដែល

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \gamma mc^2 \qquad (១.៣៥)$$

$$E_0 = mc^2 \quad (១.៣៦)$$

គេអាចសរសេរទំនាក់ទំនងរវាងថាមពលសរុប និងបរិមាណចលនាធៀបបានតាមរយៈសមីការ ១.២៥ និងសមីការ ១.៣៥។ ពីសមីការ១.២៥ គេបាន

$$P = \frac{mc\frac{v}{c}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\left(\frac{P}{mc}\right)^2 = \frac{v^2/c^2}{1-v^2/c^2}$$

ពីសមីការ ១.៣៥ គេអាចសរសេរ

$$\left(\frac{E}{mc^2}\right)^2 = \frac{1}{1-v^2/c^2}$$

យក

$$\left(\frac{E}{mc^2}\right)^2 - \left(\frac{P}{mc}\right)^2 = \frac{1}{1-v^2/c^2} - \frac{v^2/c^2}{1-v^2/c^2}$$

$$\left(\frac{E}{mc^2}\right)^2 - \left(\frac{P}{mc}\right)^2 = 1$$

$$E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2 \quad (១.៣៧)$$

សមីការ ១.៣៧ គឺជាទំនាក់ទំនងរវាង ថាមពលសរុប ថាមពលនៅស្ងៀម និងបរិមាណចលនា។ ជាថ្មីម្តងទៀត គេសង្កេតឃើញថា ចំពោះភាគល្អិតនៅស្ងៀម ($P = 0$) នោះ $E = mc^2$ ។

សមីការ ១.៣៧ ក៏បានបង្ហាញដែរថា ភាគល្អិតអាចមានថាមពល និងបរិមាណចលនាដែរ ទោះជាពេលវាមិនមានម៉ាសនៅស្ងៀម។ ក្នុងករណី $m = 0$ គេបាន

$$E = Pc \quad (១.៣៨)$$

តាមពិតភាគល្អិតគ្មានម៉ាសពិតជាមាន។ ដូចជាភាគល្អិតដែលមានចលនាដោយល្បឿនស្មើល្បឿនពន្លឺដាលក្នុងសុញ្ញកាស។ ឧទាហរណ៍ ផូតុង ការបញ្ចេញរស្មីអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចនៃកង់ទិច។ ផូតុងត្រូវបានបន្សាយ ឬស្រូបក្នុងពេលបម្រែបម្រួលភាពនៃអាតូម ឬប្រព័ន្ធនុយក្លេអ៊ែ ពេលដែលថាមពល និងបរិមាណចលនានៃប្រព័ន្ធផ្លាស់ប្តូរ។

1.6.3 អេឡិចត្រុងវ៉ុល(eV)៖

ក្នុងរូបវិទ្យាអាតូម ជាធម្មតាខ្នាតរបស់ថាមពលគិតជា អេឡិចត្រុងវ៉ុល(eV) ដែល 1eV គឺជាថាមពលដែលអេឡិចត្រុងមួយមានចលនាស្ទុះដោយតង់ស្យុង *1* វ៉ុល។

$$1\text{ eV} = (1.602 \times 10^{-19}\text{C})(1.000\ V) = 1.602 \times 10^{-19}\text{J}$$

មានទំហំពីរដែលជាធម្មតាគិតជាអេឡិចត្រុងវ៉ុលគឺ ថាមពលអ៊ីយ៉ុងនៃអាតូមមួយ(កម្មន្តដែលត្រូវការដើម្បីទាញយកអេឡិចត្រុងមួយក្នុងចំនោមអេឡិចត្រុងទាំងអស់) និងថាមពលសម្ពន្ធ័នៃម៉ូលេគុល (ថាមពលដែលត្រូវកាដើម្បីផ្តាច់អាតូមចេញពីគ្នា)។ ថាមពលអ៊ីយ៉ុងរបស់នីត្រូសែនគឺ 14.5 eV ។

$$1\text{ keV} = 10^3\text{ eV}, \qquad 1\text{ MeV} = 10^6\text{ eV}, \qquad 1\text{ GeV} = 10^9\ eV$$

ថាមពលនៅស្ទៀមរបស់ភាគល្អិតដំបូងជាញឹកញាប់គិតជា MeV និង GeV ហើយដែលត្រូវនឹងម៉ាសនៅស្ទៀមត្រូវគិតជា

$$\text{MeV}/c^2 \quad \text{និង} \quad \text{GeV}/c^2$$

ឧទាហរណ៍៖ អេឡិចត្រុងមួយ($m = 0.511\text{ MeV}/c^2$) និងផូតុង($m = 0$) ទាំងពីរមានបរិមាណចលនា $2.000\ MeV/c$ ។ រកថាមពលសរុបរបស់ភាគល្អិតនីមួយៗ?

ដំនោះស្រាយ៖ ថាមពលសរុបរបស់អេឡិចត្រុងគឺ

$$E = \sqrt{m^2c^4 + P^2c^2} = \sqrt{(0.511\text{ MeV}/c^2)^2c^4 + (2.000\text{ MeV}/c)^2c^2}$$

$$E = \sqrt{(0.511\text{ MeV})^2 + (2.000\text{ MeV})^2} = 2.064\text{ MeV}$$

ថាមពលសរុបរបស់ផូតុងគឺ តាមសមីការ ១.៣៨

$$E = Pc = (2.000\text{ MeV}/c)c = 2.000\text{ MeV}$$

លំហាត់

១. រថយន្តពីរកំពុងមានចលនាដោយល្បឿនថេរលើផ្លូវក្នុងទិសដៅស្របគ្នា។ រថយន្តទីមួយមានល្បឿន 60 km/h ហើយរថយន្តទីពីរមានល្បឿន 40 km/h ។ល្បឿនរបស់រថយន្តទាំងពីរវាស់ធៀបនឹងអ្នកសង្កេតនៅស្ទៀមលើដី។ រកល្បឿនរបស់រថយន្តទីមួយធៀបនឹងទីពីរ?(20km/h)

២. យានអវកាសមួយហោះដោយល្បឿន $0.850c$ អ្នកសង្កេតឃើញថាប្រវែងរបស់យាននោះស្មើនឹង $38.2\ m$ ។ បើយាននោះនៅនឹងវិញ តើវាមានប្រវែងប៉ុន្មាន ? ចំលើយ៖ *72.5 m* ។(*Gian*)

៣. តើនៅល្បឿនប៉ុន្មានដែលរូបមន្តក្នុងធៀបភាពចំពោះ (ក)ប្រវែង (ខ)រយៈពេល ខុសពីតម្លៃក្នុងទ្រឹស្តីបុរាណចំនួន *1%* ។ ចំលើយ៖ *0.141c* ។(*Gian*)

ឯកសារយោង

1. Hugh D. Young & Roger A. Freedman, University Physics with Modern Physics, 13ed.
2. Raymond A. Serway & John W. Jewett, Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 9ed.
3. Randall D. Knight, Physics for Scientists and Engineers, 2ed.
4. Halliday & Resnick, Fundamentals of Physics, 9ed.
5. Douglas C. Giancoli, Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 4ed

មេរៀនទី២៖ សេចក្តីផ្តើមនៃរូបវិទ្យាកង់ទិច

នៅសតវត្សរ៍ទី២០ ពិសោធន៍ជាច្រើន និងទ្រឹស្តី បញ្ហាជាច្រើនត្រូវបានដោះស្រាយដោយទ្រឹស្តីធៀបពិសេស។ តែចំពោះបញ្ហាជាច្រើនផ្សេងទៀត ទ្រឹស្តីធៀប ឬរូបវិទ្យាបុរាណគឺមិនអាចផ្តល់ចម្លើយបានទេ។ ការព្យាយាមអនុវត្តច្បាប់ក្នុងរូបវិទ្យាបុរាណដើម្បីពន្យល់ពីការប្រព្រឹត្តទៅនៃរូបធាតុក្នុងកម្រិតអាតូមគឺមិនទទួលបានជោគជ័យទេ។ ឧទាហរណ៍ ការបន្សាយនៃជំហានរលកក្នុងទម្រង់ដាច់ ឬដាកញ្ចប់របស់ពន្លឺពីអាតូមក្នុងឧស្ម័នដែលមានសីតុណ្ហភាពខ្ពស់ មិនអាចត្រូវបានពន្យល់ដោយប្រើហេតុផលរបស់រូបវិទ្យាបុរាណឡើយ។

អ្នករូបវិទ្យាបានរកឃើញវិធីថ្មីដើម្បីដោះស្រាយបញ្ហាទាំងនេះ បដិវត្តន៍មួយផ្សេងទៀតបានកើតឡើងក្នុងរូបវិទ្យានៅចន្លោះពីឆ្នាំ ១៩០០ ទៅឆ្នាំ ១៩៣០។ ទ្រឹស្តីថ្មីមួយហៅថា មេកានិចកង់ទិច គឺទទួលបានជោគជ័យខ្ពស់ក្នុងការពន្យល់ពីការប្រព្រឹត្តទៅនៃភាគល្អិតក្នុងទំហំមីក្រូ(microscopic size)។

ការពន្យល់បាតុភូតដំបូងបង្អស់ដោយប្រើទ្រឹស្តីកង់ទិចគឺលោក Max Planck ។ ហើយការអភិវឌ្ឍន៍ក្នុងវិបាកគណិតវិទ្យាជាច្រើន និងការបកស្រាយបញ្ជាក់ជាច្រើន ត្រូវបានធ្វើឡើងដោយអ្នករូបវិទ្យាផ្សេងៗជាច្រើនរួមមាន លោក អាញស្តាញ លោក បរ (Bohr) លោក de Broglie លោក Schrodinger និងលោក Heisenberg។ ដោយសារសៀវភៅនេះមិនមែនជាសៀវភៅមេកានិចកង់ទិច ដូច្នេះមិនមានការបកស្រាយ ឬពន្យល់ស៊ីជម្រៅទេ គឺគ្រាន់តែបង្ហាញពីសេចក្តីផ្តើម និងគោលការណ៍មួយចំនួន។

2.1 បន្សាយរស្មីនៃអង្គធាតុខ្មៅ និងសម្មតិកម្មប្លង់៖

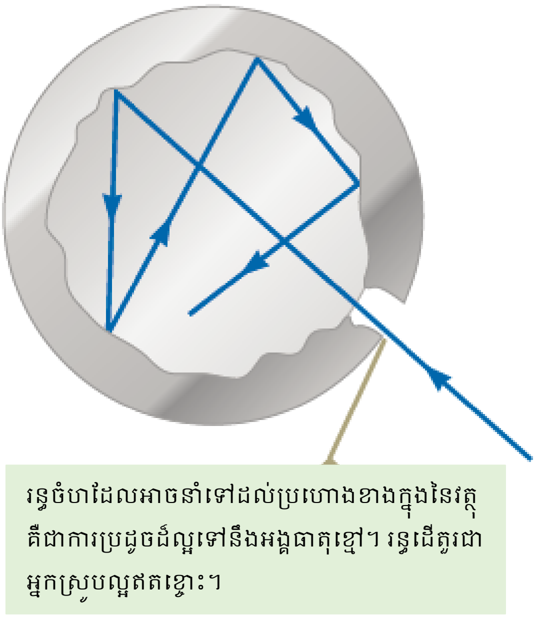
2.1.1 បន្សាយរស្មីនៃអង្គធាតុខ្មៅ៖

អង្គធាតុមួយនៅសីតុណ្ហភាពណាមួយបន្សាយរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចក្នុងទម្រង់នៃការបញ្ចេញរស្មីពីផ្ទៃរបស់វា។ លក្ខណៈនៃការបញ្ចេញរស្មីនេះផ្អែកលើសីតុណ្ហភាព និងលក្ខណៈនៃផ្ទៃរបស់អង្គធាតុ។ បើអង្គធាតុមួយស្ថិតនៅសីតុណ្ហភាពបន្ទប់ ជំហានរលកនៃការបញ្ចេញរស្មីគឺស្ថិតនៅក្នុងតំបន់ពន្លឺអាំងប្រា ដែលមិនត្រូវបានមើលឃើញដោយភ្នែករបស់មនុស្សទេ។ កាលណាសីតុណ្ហភាពលើផ្ទៃរបស់អង្គធាតុកើនឡើង អង្គធាតុចាប់ផ្តើមបញ្ចេញបន្តិចៗម្តងនូវពន្លឺមើលឃើញពណ៌ក្រហម ដូចជាបូប៊ីននៅក្នុងឧបករណ៍សម្រាប់អាំង ឬ

ឧបករណ៍កម្តៅ។ នៅសីតុណ្ហភាពខ្ពស់គ្រប់គ្រាន់ ពន្លឺចេញពីអង្គធាតុឡើងទៅជាស ដូចជាសសៃតង់ស្តែននៅក្នុងអំពូលវង្គុំ(អំពូលពងមាន់)។

ពីទស្សនបុរាណ ការបញ្ចេញរស្មីគឺចេញពីការពន្លឿនរបស់ភាគល្អិតមានបន្ទុកអគ្គិសនីក្នុងអាតូមក្បែរផ្ទៃនៃអង្គធាតុ។ រញ្ជួយរបស់ភាគល្អិតដោយកម្តៅអាចមានរបាយនៃថាមពលមួយ ដែលពន្យល់ពីភាពជាប់នៃស្ប៉ិចរបស់រស្មីបានបន្សាយដោយអង្គធាតុនោះ។ នៅចុងសតវត្សរ៍ទី១៩ វាត្រូវបានគេមើលឃើញថា ទ្រឹស្តីបុរាណនៃការបញ្ចេញរស្មីគឺមិនគ្រប់គ្រាន់។ បញ្ហាចំបងគឺ ស្ថិតក្នុងភាពមិនយល់ពីការសង្កេតរបាយជំហានរលកក្នុងរស្មីបានបន្សាយដោយអង្គធាតុខ្មៅ។ អង្គធាតុខ្មៅគឺសំដៅទៅលើអង្គធាតុណាដែលស្រូបនូវរស្មីចាំងប៉ះលើវាទាំងអស់។ ដោយហេតុថាគ្មានពន្លឺណាមួយត្រូវបានផ្លាត ឬបញ្ជូន វត្ថុប្រែជាខ្មៅពេលវាចុះត្រជាក់។ ការបញ្ចេញរស្មីអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចបានបន្សាយដោយអង្គធាតុខ្មៅពេលវាឡើងកម្តៅហៅថា ការបញ្ចេញរស្មីនៃអង្គធាតុខ្មៅ។

ការប្រដូចនឹងអង្គធាតុខ្មៅដ៏ល្អមួយគឺជាវត្ថុមានរន្ធតូចមួយដែលអាចនាំទៅដល់ប្រហោងផ្នែកខាងក្នុងរបស់វត្ថុនោះដូចបង្ហាញក្នុងរូប ២.១។ រស្មីពន្លឺពីខាងក្រៅចាំងប៉ះលើរន្ធបានចូលទៅក្នុងអង្គធាតុទាំងអស់ និងផ្លាតជាច្រើនដងលើជញ្ជាំងផ្នែកខាងក្នុងនៃប្រហោង ហើយរន្ធមាននាទីជាអ្នកស្រូបយកឥតខ្ចោះ។



រូបទី២.១៖ ការធ្វើគំរូតាងឱ្យអង្គធាតុខ្មៅ។

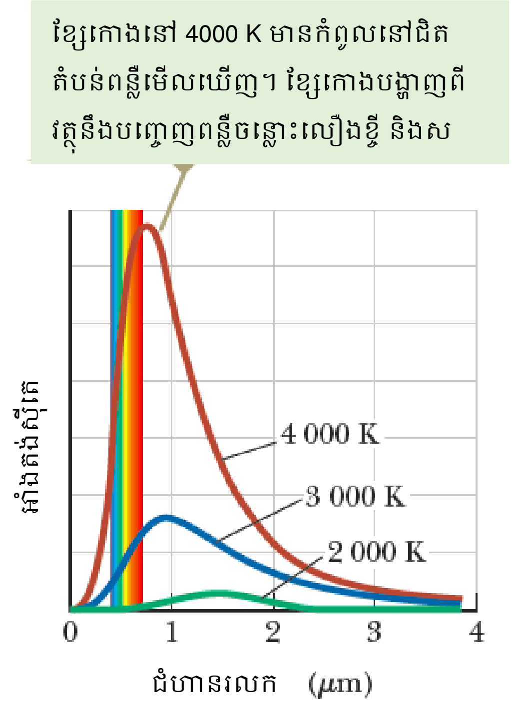
ធម្មជាតិនៃការបញ្ចេញរស្មីពីប្រហោងនៃវត្ថុតាមរន្ធ គឺផ្អែកលើតែសីតុណ្ហភាពនៃជញ្ជាំងរបស់ប្រហោង ហើយមិនអាស្រ័យនឹងរូបធាតុដែលយកមកបង្កើតជាជញ្ជាំងទេ។

របាយជំហានរលកនៃការបញ្ចេញរស្មីពីប្រហោងត្រូវបានសិក្សានៅចុងសតវត្សទី១៩។ រូបទី២.២ បង្ហាញពីអាំតង់ស៊ីតេនៃការបញ្ចេញរស្មីរបស់អង្គធាតុខ្មៅប្រែប្រួលជាមួយសីតុណ្ហភាព និងជំហានរលក។ ការពិសោធន៍រកឃើញស្របគ្នាពីរមានលក្ខណពិសេសគួរឱ្យគត់សម្គាល់ដូចខាងក្រោម៖

១. អានុភាពសរុបនៃការបញ្ចេញរស្មីកើនឡើងជាមួយសីតុណ្ហភាព។ កំណត់ដោយច្បាប់ Stefan (ស្តេហ្វេន)

$$P = \sigma A e T^4 \qquad (២.១)$$

ដែល P ជាអានុភាពគិតជាវ៉ាត់បន្សាយដោយមានគ្រប់ជំហានរលកពីផ្ទៃនៃអង្គធាតុ។ $\sigma = 5.670 \times 10^{-8}\ Wm^{-2}K^4$ គឺជាថេរ ស្តេហ្វេន ប៊ុលហ្សាមេន (Stefan-Boltzmann)។ A ជាក្រលាផ្ទៃរបស់វត្ថុ។ e តាងអេមីសស៊ីវីធី (emissivity)របស់ផ្ទៃ ចំពោះអង្គធាតុខ្មៅវាមានតម្លៃស្មើ 1 ។ T ជាសីតុណ្ហភាពគិតជាកែលវិន K ។



រូបទី២.២៖ អាំងតង់ស៊ីតេនៃការបញ្ចេញរស្មីរបស់អង្គធាតុខ្មៅ និងជំហានរលកនៅសីតុណ្ហភាពបីផ្សេងគ្នា។ ជំហាននៃពន្លឺមើលឃើញនៅចន្លោះ 0.4 μm និង 0.7 μm ។

ម្យ៉ាងទៀតច្បាប់ស្តេហ្វេនអាចសរសេរក្រោមទម្រង់អាំងតង់ស៊ីតេនៃការបញ្ចេញរស្មីក៏បានគឺ អាំងតង់ស៊ីតេសរុប (ថាមពលនៃការបញ្ចេញរស្មីក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃ ឬអនុភាពក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃ) បានបន្សាយពីផ្ទៃរបស់អង្គធាតុខ្មៅគឺសមាមាត្រនឹងសីតុណ្ហភាពស្វ័យគុណ៤។

$$I = \sigma T^4$$

២. កំពូលនៃរបាយជំហានរលកប្រែប្រួលខិតទៅខាងជំហានរលកខ្លីជាង ពេលសីតុណ្ហភាពកើនឡើង។ កំណត់ដោយច្បាប់បំលាស់ទីវៀន (Wien's displacement law)

$$\lambda_{max} T = 2.898 \times 10^{-3}\ \mathrm{mK} \qquad (២.២)$$

ដែល λ_{max} ជាជំហានរលកនៅត្រង់កំពូលខ្សែកោង។ T ជាសីតុណ្ហភាពដាច់ខាតរបស់ផ្ទៃនៃវត្ថុដែលបន្សាយរស្មី។ ជំហានរលកនៅត្រង់កំពូលខ្សែកោងគឺប្រាសសមាមាត្រនឹងសីតុណ្ហភាពដាច់ខាត។ កាលណាសីតុណ្ហភាពកើន កំពូលខ្សែកោងផ្លាស់ទៅរកទីតាំងមានជំហានរលកខ្លីជាង។

ឧទាហរណ៍៖ សីតុណ្ហភាពលើផ្ទៃព្រះអាទិត្យ។ ការប៉ាន់ស្មានសីតុណ្ហភាពរបស់ផ្ទៃនៃព្រះអាទិត្យ ដោយដឹងថាព្រះអាទិត្យបញ្ចេញពន្លឺដែលមានកំពូលរបស់អាំងតង់ស៊ីតេក្នុងតំបន់ពន្លឺមើលឃើញដែលមានជំហានរលកប្រហែល 500 nm ។

ដំណោះស្រាយ៖ សម្មតថាព្រះអាទិត្យជាអង្គធាតុខ្មៅមួយ ហើយកំពូលនៃជំហានរលកនៅក្នុងច្បាប់វៀនគឺ $\lambda = 500\ \mathrm{nm}$ ។ តាមច្បាប់វៀន

$$\lambda T = 2.898 \times 10^{-3}\ \mathrm{mK}$$

$$T = \frac{2.898 \times 10^{-3}\ \mathrm{mK}}{\lambda} = \frac{2.898 \times 10^{-3}\ \mathrm{mK}}{500 \times 10^{-9}\mathrm{m}} = 5.796 \times 10^{3}\mathrm{K}$$

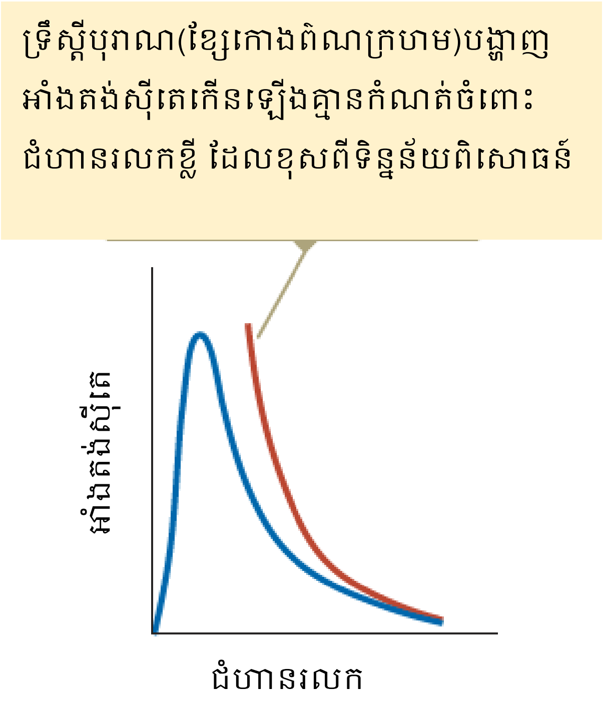
ទ្រឹស្តីដែលជោគជ័យចំពោះការបញ្ចេញរស្មីនៃអង្គធាតុខ្មៅគឺត្រូវតែព្យាករថាទម្រង់នៃខ្សែកោងគឺដូចក្នុងរូបទី ២.២ ហើយភាពអាស្រ័យនឹងសីតុណ្ហភាពគឺបានបញ្ជាក់ដោយច្បាប់ស្តេហ្វេន និងបម្រែបម្រួលកំពូលនៃជំហានរលកជាមួយនឹងសីតុណ្ហភាពត្រូវបានព៌ណនាដោយច្បាប់បំលាស់ទីវៀន។ មានការព្យាយាមពន្យល់ជាច្រើនពីទម្រង់នៃខ្សែកោងដូចក្នុងរូប២.២ដោយប្រើទ្រឹស្តីបុរាណតែបរាជ័យ។ ឥឡូវពិនិត្យការពន្យល់មួយ

ដោយប្រើទ្រឹស្តីបុរាណ ដើម្បីព៌ណនាពីរបាយថាមពលចេញពីអង្គធាតុខ្មៅ។ លទ្ធផលនៃការគណនាគឺផ្អែកលើ ច្បាប់ *Rayleigh-Jeans*

$$I(\lambda,T)=\frac{2\pi c k_B T}{\lambda^4} \qquad (២.៣)$$

ដែល k_B ជាថេរប៊ុលស្មាន់(*Boltzmann*) ។ អង្គធាតុខ្មៅត្រូវបានប្រដូចទៅនឹងរន្ធមួយដែលអាចនាំទៅដល់ប្រហោងខាងក្នុងដូចរូប២.១ ហើយលទ្ធផលនៃលំយោលរបស់ដែនអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចបណ្តាលឱ្យមានសំទុះនៃបន្ទុកអគ្គិសនីក្នុងជញ្ជាំងរបស់ប្រហោង និងបន្សាយរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចគ្រប់ជំហានរលក។

ក្រាបនៃពិសោធន៍មួយនៃការបញ្ចេញរស្មីរបស់អង្គធាតុខ្មៅ និងការព្យាកររបស់ Rayleigh-Jean គឺត្រូវបានបង្ហាញក្នុងរូប ២.៣។



រូបទី ២.៣៖ ការប្រៀបធៀបលទ្ធផលពិសោធន៍ និងខ្សែកោងដែលបានគិតទុកដោយច្បាប់ Rayleigh-Jean ចំពោះរបាយនៃការបញ្ចេញរស្មីរបស់អង្គធាតុខ្មៅ។

ករណីជំហានរលកវែង ច្បាប់ Rayleigh-Jean គឺត្រូវជាមួយនឹងពិសោធន៍ តែករណីជំហានរលកខ្លីច្បាប់នេះគឺមិនគាំទ្រដោយពិសោធន៍ទេ។ កាលណាជំហានរលកខិតទៅរកសូន្យ អាំងតង់ស៊ីតេក្នុងសមីការ ២.៣ ខិតទៅរកតម្លៃមិនកំណត់។ ដូច្នេះបើតាមទ្រឹស្តីបុរាណ ជំហានរលកខ្លីដែលមានក្នុងការបញ្ចេញរស្មីនៃអង្គធាតុខ្មៅខិត

ទៅរកសូន្យ នោះថាមពលដែលបានបន្សាយដោយអង្គធាតុខ្មៅនឹងខិតទៅរកតម្លៃមិនកណត់។ ប៉ុន្តែផ្ទុយទៅវិញ ក្រាបដែលបានមកពីទិន្នន័យពិសោធន៍គឺមានទម្រង់ដូចរូប២.៣ (ខ្សែកោងព៍ណខៀវ) បង្ហាញថា ខណៈដែលជំហានរលកខិតទៅរកសូន្យ អាំងតង់ស៊ីតេក៏ខិតទៅរកសូន្យដែរ។ ភាពមិនស្របគ្នារវាងទ្រឹស្ដី និងពិសោធន៍បានក្លាយជាកង្វល់ដែលអ្នកវិទ្យាសាស្ត្រហៅថា Ultraviolet catastrophe មហន្តរាយនៃកាំរស្មី UV (មហន្តរាយ គឺថាមពលមានតម្លៃអនន្ត ដែលកើតឡើងពេលជំហានរលកខិតទៅរកសូន្យ ពាក្យ Ultraviolet គឺកាំរស្មីមានជំហានរលកខ្លី)។

2.1.2 សម្មតិកម្មប្លង់៖

ក្នុងឆ្នាំ ១៩០០ លោក Max Planck បានអភិវឌ្ឍន៍ទ្រឹស្ដីមួយនៃការបញ្ចេញរស្មីរបស់អង្គធាតុខ្មៅដែលនាំទៅដល់សមីការមួយចំពោះ $I(\lambda,T)$ ដែលគាំទ្រទាំងស្រុងដោយលទ្ធផលពិសោធន៍ចំពោះគ្រប់ជំហានរលក។ ហើយដែលមកទល់ពេលនេះគេនិយមហៅរូបមន្តនោះថា រូបមន្តនៃការបញ្ចេញរស្មីរបស់អង្គធាតុខ្មៅ របស់ Max Planck ។

$$I(\lambda,T)=\frac{2\pi hc^2}{\lambda^5(e^{hc/\lambda k_BT}-1)} \qquad (២.៤)$$

ដែល h ជាប៉ារ៉ាម៉ែតមួយដែលប្លង់ប្រើដើម្បីកែសម្រួលខ្សែកោងឱ្យត្រូវជាមួយនឹងទិន្នន័យពិសោធន៍ចំពោះគ្រប់ជំហានរលក ក្រោយមកត្រូវគេហៅថាជាថេរប្លង់ $h=6.626\times10^{-34}$ js។ ដោយប្រើរូបមន្ត Power series: $e^x=1+x+\frac{x^2}{2!}+\frac{x^3}{3!}+\cdots$ ចំពោះ x មានតម្លៃតូចគេបាន

$e^x\approx1+x$ កាលណាជំហានរលកវែងនោះ $hc/\lambda k_BT$ មានតម្លៃតូចគេបាន

$e^{hc/\lambda k_BT}\approx1+\frac{hc}{\lambda k_BT}$ សមីការ ២.៤ក្លាយជា $I(\lambda,T)=\frac{2\pi ck_BT}{\lambda^4}$ រូបមន្តរបស់ Rayleigh-Jean ។ ហើយចំពោះជំហានរលកខ្លី $I(\lambda,T)$ ថយចុះដែលស៊ីគ្នាជាមួយនឹងលទ្ធផលពិសោធន៍។

លោក ប្លង់ បានសន្និដ្ឋានថា ការបញ្ចេញរស្មីនៃប្រហោងក្នុងរូប២.១ គឺមកពីលំយោលនៃអាតូមនៅក្នុងជញ្ជាំងរបស់ប្រហោងនៃអង្គធាតុនោះ។

ក. ថាមពលនៃលំយោលករអាចមានតែក្នុងកញ្ចប់ដាច់នៃតម្លៃពិតប្រាកដណាមួយ E_n

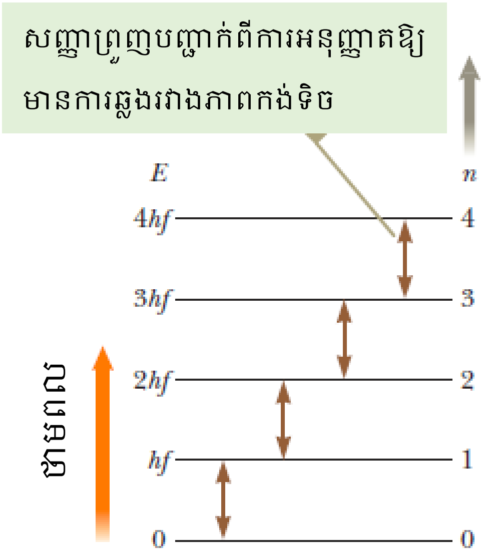
$$E_n=nhf \qquad (២.៥)$$

ដែល n ជាចំនួនថេរវិជ្ជមានហៅថា ចំនួនកង់ទិច ហើយ f ជាប្រេកង់នៃលំយោលករ និង h គឺជាប៉ារ៉ាម៉ែតមួយដែលលោកប្លង់បានលើកឡើង ឥឡូវត្រូវបានគេហៅថា ថេរប្លង់។ ដោយសារតែថាមពលនៃលំយោលករនីមួយៗអាចមានតែតាមតម្លៃដាច់ៗតាមសមីការ២.៥ គេអាចនិយាយថាថាមពលគឺមានតម្លៃដាកញ្ចប់ដាច់ៗ (The energy is quantized)។ តម្លៃដាច់ៗនៃថាមពលនីមួយៗគឺត្រូវជាមួយនឹងតម្លៃកង់ទិចខុសៗគ្នា។ ពេលលំយោលករស្ថិតក្នុងភាពកង់ទិច $n = 1$ ថាមពលរបស់វាគឺ hf នៅពេលវាស្ថិតក្នុងភាពកង់ទិច $n = 2$ ថាមពលរបស់វាគឺ $2hf$ ហើយនិងបន្តបន្ទាប់ទៀត។

ខ. លំយោលករបញ្ចេញ ឬស្រូបថាមពលពេលមានការផ្លាស់ប្តូរភាពកង់ទិចមួយទៅភាពកង់ទិចមួយផ្សេងទៀត។ ក្នុងពេលមានការផ្លាស់ប្តូររវាងភាពដើមនិងភាពស្រេច ឬផ្ទុយមកវិញ ថាមពលត្រូវបានបន្សាយ ឬស្រូបស្មើកង់ទិចទោលមួយ។ បើឆ្លងពីភាពមួយទៅភាពមួយទៀតដែលទាបជាងនៅជាប់គ្នា ឧទាហរណ៍ពីភាព $n = 3$ ទៅ $n = 2$ សមីការ ២.៥ បង្ហាញថាចំនួនថាមពលបានបន្សាយដោយលំយោលករ និងដោយការបញ្ចេញស្មើកង់ទិចគឺ

$$E = hf \qquad (២.៦)$$

សរុបក្នុងចំនុច(ខ)គឺថា លំយោលករមួយបន្សាយ ឬស្រូបថាមពលតែក្នុងពេលវាផ្លាស់ភាពកង់ទិច។ បើវាស្ថិតនៅតែក្នុងភាពកង់ទិចមួយ នោះមិនមានថាមពលត្រូវបានស្រូប ឬបញ្ចេញឡើយ។ ក្នុងរូប ២.៤ គឺជាដ្យាក្រាមនៃនីវ៉ូថាមពលបង្ហាញពីភាពដាច់នៃនីវ៉ូថាមពល និងការឆ្លងទៅមករវាងនីវ៉ូដែលអាចកើតមាន ដែលបានស្នើឡើងដោយលោក ប្លង់។ ការបង្ហាញក្រាហ្វិចសំខាន់នេះគឺត្រូវបានជាញឹកញាប់ក្នុងរូបវិទ្យាកង់ទិច។



រូបទី២.៨៖ នីវ៉ូថាមពលចំពោះលំយោលករមួយមានប្រេកង់ f ។

ចំនុចគន្លឹះនៃទ្រឹស្តីរបស់ប្លង់គឺ ការសន្មតយ៉ាងសំខាន់នៃថាមពលក្នុងភាពកង់ទិច។

ឧទាហរណ៍៖ ដុំមួយមានម៉ាស 2.00 kg ត្រូវបានភ្ជាប់ទៅនឹងរ៉ឺស័រមួយមិនគិតម៉ាសហើយមានថេរកំរាញ k = 25.0 N/m ។ គេធ្វើឱ្យរ៉ឺស័រយឺតបានប្រវែង 0.400 m ពីទីតាំងលំនឹងរួចលែងវិញដោយគ្មានល្បឿនដើម។

ក. រកថាមពលសរុបនៃប្រព័ន្ធ និងប្រេកង់នៃលំយោល តាមទ្រឹស្តីបុរាណ?

ខ. សម្មតថា ថាមពលនៃលំយោលគឺជាថាមពលកង់ទិច(ទម្រង់ដាច់) ចូររកចំនួនកង់ទិច n ចំពោះប្រព័ន្ធយោលជាមួយអំព្លីទុតនេះ?

ដំណោះស្រាយ៖ ក. ថាមពលសរុបនៃប្រព័ន្ធ

តាមរូបមន្ត៖ $E = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}(25.0\ N/m)(0.400\ m)^2 = 2.00\ \text{J}$

ប្រេកង់នៃលំយោលគឺ $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{25.0 N/m}{2.00\ \text{kg}}} = 0.563\ \text{Hz}$

ខ. ចំនួនកង់ទិច : តាមរូបមន្ត

$$E_n = nhf \quad \text{ឬ} \quad n = \frac{E_n}{hf} = \frac{2.00\ \text{J}}{(6.626\times10^{-34}\text{Js})(0.563\ \text{Hz})} = 5.36\times10^{33}$$

ចំនួនកង់ទិចស្មើនឹង 5.36×10^{33} គឺមានតម្លៃធំណាស់ដែលត្រូវនឹងប្រព័ន្ធម៉ាក្រូ។

សន្មតថា លំយោលករផ្លាស់ប្តូរភាពកង់ទិចពី $n = 5.36\times10^{33}$ ទៅភាពកង់ទិច $n = 5.36\times10^{33} - 1$ ។ តើថាមពលមានតម្លៃប៉ុន្មានក្នុងបម្រែបម្រួលភាពមួយកង់ទិចនេះ។ ពីសមីការ២.៦ ថាមពលនៃលំយោលករក្នុងបម្រែបម្រួលភាពមួយកង់ទិចគឺ

$$E = hf = (6.626\times10^{-34}\ \text{Js})(0.563\ \text{Hz}) = 3.73\times10^{-34}\ J$$

ដែលមានតម្លៃយ៉ាងតូចក្រៃលែង ដូច្នេះបើទោះជាប្រព័ន្ធម៉ាក្រូនៃលំយោលគឺមានលក្ខណៈកង់ទិច(ទម្រង់ដាច់នៃថាមពល) ហើយថយចុះនូវតម្លៃយ៉ាងតូចនៃនីវ៉ូថាមពលកង់ទិចពិតមែន តែការដឹងដោយវិញ្ញាណរបស់

យើងគិតថាវាមានលក្ខណៈជាប់។ ដូចនេះផលកង់ទិចក្លាយទៅជាសំខាន់តែសម្រាប់ប្រព័ន្ធមីក្រូក្នុងកម្រិតអាតូម ឬម៉ូលេគុលទេ។

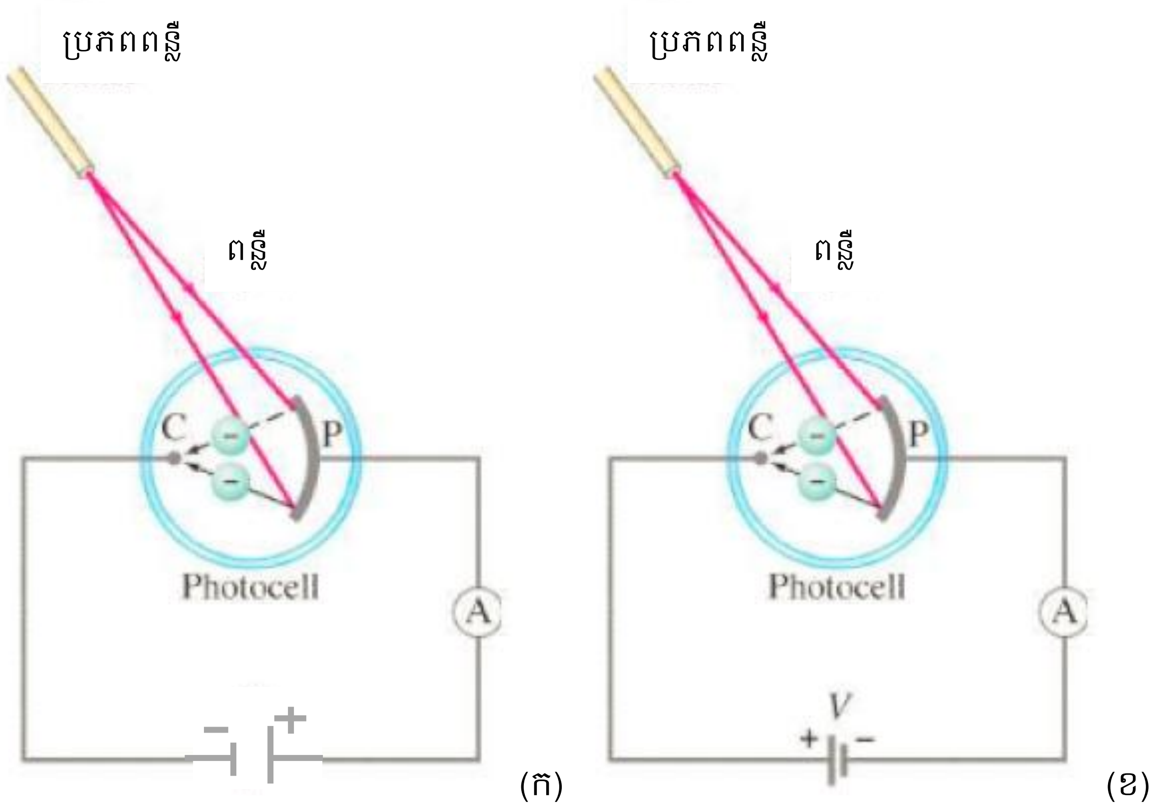
2.2 ផលផូតូអគ្គិសនី៖

ក្នុងឆ្នាំ ១៩០៥ ដដែលទន្ទឹមនឹងការបង្ហាញពីទ្រឹស្តីធៀបពិសេស លោកអាញស្តាញបានពង្រីកនូវគំនិតស្តីពីកង់ទិចដោយស្នើឡើងនូវទ្រឹស្តីថ្មីមួយអំពីពន្លឺ។ កិច្ចការរបស់លោកប្លង់បានស្នើឡើងថា ថាមពលនៃលំយោលរបស់ម៉ូលេគុលក្នុងអង្គធាតុបញ្ចេញរស្មីគឺមានលក្ខណៈកង់ទិច(លក្ខណៈជាកញ្ចប់ដាច់ៗនៃថាមពល)ជាមួយថាមពល $E_n = nhf$ ដែល n ជាចំនួនថេរហើយ f ជាប្រេកង់នៃលមយោលរបស់ម៉ូលេគុល។ លោកអាញស្តាញបានអះអាងពីទ្រឹស្តីរបស់គាត់ថា ពេលពន្លឺត្រូវបានបន្សាយដោយលំយោលករម៉ូលេគុល ថាមពលរបស់ម៉ូលេគុលមានលំយោលដែលស្មើ nhf ត្រូវថយអស់ចំនួន hf (ឬ $2hf$ ។ល។) ទៅជាតម្លៃថាមពលមួយផ្សេងទៀតដែលស្មើនឹងចំនួនថេរគុណនឹង hf ដូចជា $(n-1)hf$ ។ ដើម្បីរក្សាថាមពលពន្លឺគួរតែត្រូវបានបន្សាយក្នុងទម្រង់ជាកញ្ចប់ ឬកង់ទិច ឬហៅថាផូតុង ដែលមានថាមពល

$$E = hf \qquad (២.៧)$$

ដែល f ជាប្រេកង់របស់ពន្លឺដែលបានបន្សាយ។ ហើយ h ជាថេរប្លង់។

ពេលពន្លឺចាំងទៅលើផ្ទៃរបស់លោហៈមួយ អេឡិចត្រុងត្រូវបានខ្ទាតចេញពីផ្ទៃលោហៈនោះ។ បាតុភូតនេះហៅថា ផលផូតូអគ្គិសនី ហើយអេឡិចត្រុងដែលខ្ទាតចេញហៅថា ផូតូអេឡិចត្រុង វាកើតឡើងកចំពោះអង្គធាតុជាច្រើន ប៉ុន្តែងាយស្រួលសង្កេតជាងគេគឺចំពោះលោហៈ។ រូប ២.៥(ខ) ជាឧបករណ៍សម្រាប់សង្កេតពីផលផូតូអគ្គសនី។ បន្ទះលោហៈមួយ P និងអេឡិចត្រូតផ្ទាមួយ C ត្រូវបានដាក់ក្នុងបំពង់កែងសុញ្ញកាសមួយហៅថាកោសិការផូតូ(Photocell) ។ មានអេឡិចត្រូតពីរភ្ជាប់ទៅអំពែម៉ែត និងជនិតា។ ពេលកោសិការផូតូស្ថិតក្នុងទីងងឹត អំពែម៉ែតចង្អុលសូន្យ។ ប៉ុន្តែពេលពន្លឺមានប្រេកង់ខ្ពស់គ្រប់គ្រាន់ចាំងទៅលើបន្ទះលោហៈ អំពែម៉ែតបង្ហាញថាមានចរន្តតក្នុងសៀគ្វី។ នេះគឺព្រោះតែអេឡិចត្រុងដែលខ្ទាតចេញមកដោយសាការទង្គិចរបស់ពន្លឺ ហោះឆ្លងកាត់បំពង់ពីបន្ទះ P ទៅអេឡិចត្រូត(collector) C ដូចក្នុងរូប ២.៥(ខ)។



រូបទី ២.៥៖ ផលផូតូអគ្គិសនី។

ដើម្បីវាស់ថាមពលស៊ីនេទិចរបស់អេឡិចត្រុង គេត្រូវត្រឡប់ប៉ូលរបស់ជនិតាមានន័យថាអេឡិចត្រូត C គឺអវិជ្ជមាន និងអេឡិចត្រូត P គឺវិជ្ជមាន រូប២.៥(ក)។ អេឡិចត្រុងដែលបន្សាយចេញពី P នឹងត្រូវរុញច្រានដោយអេឡិចត្រូតអវិជ្ជមាន ប៉ុន្តែបើតង់ស្យុងនេះមានតម្លៃតូចល្មម អេឡិចត្រុងដែលមានល្បឿនលឿន ឬថាមពលស៊ីនេតិចខ្លាំង នឹងទៅដល់ C ដែលធ្វើឱ្យមានចរន្តក្នុងសៀគ្វី។ គេអាចកំណត់ថាមពលស៊ីនេទិចអតិបរមារបស់អេឡិចត្រុងបាន ដោយបង្កើនតង់ស្យុង VCP រហូតដល់តម្លៃណាមួយដែលធ្វើឱ្យចរន្តក្នុងសៀគ្វីស្មើសូន្យ មានន័យថាអេឡិចត្រុងមិនមានថាមពលស៊ីនេទិចគ្រប់គ្រាន់ដើម្បីហោះទៅដល់ C ទេ។ តម្លៃតង់ស្យុងនោះហៅថាតង់ស្យុងបញ្ឈប់(Stopping potential or stopping voltage) តាងដោយ V_0 ។ ដោយ VCP អវិជ្ជមានគេបាន VCP = $-V_0$។ ពេលអេឡិចត្រុងមួយផ្លាស់ទីពី P ទៅ C កម្មន្តនៃដែនអគ្គិសនីធ្វើទៅលើអេឡិចត្រុងមានតម្លៃ $W = \vec{F}.\vec{d} = |q|E.d.\cos 180° = -|q|V_{PC} = -eV_0$ ព្រោះ $q = -e$(បន្ទុកអេឡិចត្រុង) $|q| = e$ ហើយ $V_{PC} = -V_{CP}$ ។ អេឡិចត្រុងផ្លាស់ទីចេញពី P មានថាមពលស៊ីនេទិច $K_{max} = \frac{1}{2}mv_{max}^2$ ហើយថាមពលនេះស្មើសូន្យពេលទៅជិតដល់ C ។ ដោយប្រើទ្រឹស្តីថាមពលនិងកម្មន្ត គេបាន

$$W = \Delta K = 0 - K_{max}$$

$$-eV_0 = -K_{max}$$

$$K_{max} = \frac{1}{2}mv_{max}^2 = eV_0 \qquad (២.៨)$$

ដែល $e = 1.60 \times 10^{-19} C$ ។

ឥឡូវពិនិត្យនូវផលផូតូអគ្គិសនីដែលបកស្រាយតាមទស្សនៈនៃទ្រឹស្តីរលកទល់នឹងទ្រឹស្តីភាគល្អិតរបស់អាញស្តាញ។ ដំបូងទ្រឹស្តីរលក ដោយសន្មតថាពន្លឺជាពន្លឺម៉ូណូក្រូម៉ាទិច។ លក្ខណៈសំខាន់របស់ពន្លឺគឺ អាំតង់ស៊ីតេ និងប្រេកង់ ឬជំហានរលករបស់វា។ ពេលទំហំទាំងពីរនេះប្រែប្រួល ទ្រឹស្តីនៃរលកធ្វើការព្យាករដូចខាងក្រោម៖

១. បើអាំងតង់ស៊ីតេនៃពន្លឺកើនឡើង ចំនួនអេឡិចត្រុងដែលបានខ្ចាតចេញ និងថាមពលស៊ីនេទិចអតិបរិមារបស់ពួកវាគួរតែកើនឡើង ព្រោះការកើននៃអាំងតង់ស៊ីតេមានន័យថាអំព្លីទុតនៃដែនអគ្គិសនីកាន់តែធំ ហើយបើដែនអគ្គិសនីកាន់តែធំវាគួរតែផ្តាច់អេឡិចត្រុងចេញដោយមានល្បឿនកាន់តែធំ។

២. ប្រេកង់នៃពន្លឺមិនគួមានឥទ្ធិពលលើថាមពលស៊ីនេទិចអតិបរិមារបស់ផូតូអេឡិចត្រុងទេ។ មានតែអាំងតង់ស៊ីតេទេទើបមានឥទ្ធិពលលើថាមពលស៊ីនេទិចអតិបរិមា។

ទ្រឹស្តីផូតុងគឺខុសគ្នាទាំងស្រុងពីការព្យាករខាងលើ។ ទីមួយ គេគត់សម្គាល់ថាក្នុងបាច់នឺម៉ូណូក្រូម៉ាទិចគ្រប់ផូតុងមានថាមពលដូចគ្នា(hf)។ ការបង្កើនអាំងតង់ស៊ីតេនៃបាច់ពន្លឺមានន័យថាបង្កើនចំនួនផូតុងក្នុងបាច់ពន្លឺ ប៉ុន្តែមិនមានឥទ្ធិពលអ្វីលើថាមពលរបស់ផូតុងនីមួយៗទេ បើប្រេកង់មិនប្រែប្រួល។ តាមទ្រឹស្តីរបស់អាញស្តាញ អេឡិចត្រុងមួយត្រូវបានផ្តាច់ចេញពីផ្ទៃលោហៈ គឺដោយសាការទង្គិចជាមួយផូតុងទោលមួយ។ ក្នុងដំណើរការនេះ ថាមពលនៃផូតុងទាំងអស់ត្រូវបានផ្ទេរទៅឱ្យអេឡិចត្រុង ហើយផូតុងក៏បាត់លែងមាន។ អេឡិចត្រុងនីមួយៗដែលនៅក្នុងផ្ទៃលោហៈគឺដោយសាកំលាំងទំនាញ ដើម្បីផ្តាច់អេឡិចត្រុងចេញពីផ្ទៃលោហៈគឺត្រូវការថាមពលអប្បរមា W_0 ហៅថាកម្មន្តទំនាញយក ដែលមានតម្លៃប្រហែលពីរឬបីអេឡិចត្រុងវ៉ុលចំពោះលោហៈភាគច្រើន។ បើប្រេកង់នៃពន្លឺចាំងប៉ះ មានតម្លៃតូច គឺថា hf តូចជាង W_0 នោះផូតុងនឹងមិនមានថាមពលគ្រប់គ្រាន់ដើម្បីផ្តាច់អេឡិចត្រុងបានទេ។ បើសិនជា $hf > W_0$ នោះអេឡិចត្រុងត្រូវបានផ្តាច់ចេញ ហើយថាមពលត្រូវបានរក្សាក្នុងប្រត្តិបតិការនេះ។ គឺថា ថាមពលដែលបានផ្តល់ឱ្យ hf នឹងស្មើថាមពលស៊ីនេទិចអតិបរមារបស់អេឡិចត្រុងបូកថាមពលដែលត្រូវការសម្រាប់ផ្តាច់អេឡិចត្រុងចេញពីផ្ទៃលោហៈ W_0 ។

$$hf = K_{max} + W_0 \quad (២.៩)$$

ចេញពីការពិនិត្យខាងលើ ទ្រឹស្តីផូតុងធ្វើការព្យាករដូចខាងក្រោម

១. ការកើនឡើងនៃអាំងតង់ស៊ីតេរបស់បាច់ពន្លឺមានន័យថាមានផូតុងកាន់តែច្រើនប៉ះនឹងបន្ទះលោហៈ ដូច្នេះអេឡិចត្រុងកាន់តែច្រើនត្រូវបានផ្តាច់ចេញ ប៉ុន្តែដោយសាថាមពលរបស់ផូតុងនីមួយៗមិនបានប្រែប្រួល ថាមពលស៊ីនេទិចអតិបរមារបស់អេឡិចត្រុងក៏មិនប្រែប្រួលដោយសាការកើនឡើងនៃអាំងតង់ស៊ីតដែរ។

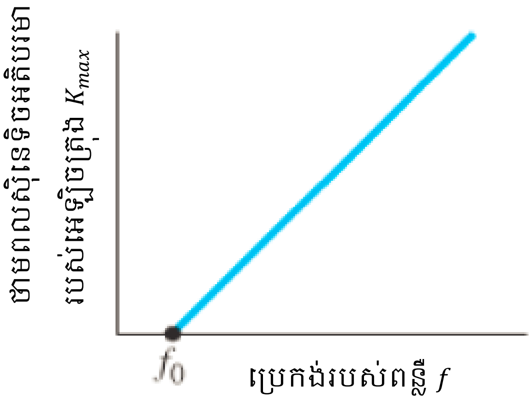
២. បើសិនជាប្រេកង់នៃពន្លឺកើនឡើង ថាមពលស៊ីនេទិចអតិបរមារបស់អេឡិចត្រុងកើនឡើងជាលីនេអ៊ែរ តាមសមីការ ២.១០ ដែលពីសមីការ ២.៩ គេបាន

$$K_{max} = hf - W_0 \quad (២.១០)$$

ទំនាក់ទំនងក្នុងសមីការ ២.១០ គឺត្រូវបានបង្ហាញដោយក្រាបក្នុងរូបទី ២.៦

៣. ប្រេកង់មានតម្លៃតូចជាងតម្លៃក្រិត (cutoff frequency) f_0 ដែល $hf_0 = W_0$ គឺមិនមានអេឡិចត្រុងត្រូវបានផ្តាច់ចេញទេ មិនថាអាំងតង់ស៊ីតេពន្លឺធំយ៉ាងណាក៏ដោយ។

ការព្យាកររបស់ទ្រឹស្តីផូតុង គឺខុសគ្នាពីការព្យាកររបស់ទ្រឹស្តីរលក។



រូបទី ២.៦៖ ផលផូតូអគ្គិសនី: ថាមពលស៊ីនេទិចអតិបរមារបស់អេឡិចត្រុងកើនឡើងជាលីនេអ៊ែរជាមួយប្រេកង់នៃពន្លឺចាំងប៉ះ។ មិនមានអេឡិចត្រុងខ្ទាតចេញទេបើ $f < f_0$ ។

ឧទាហរណ៍៖ គណនាថាមពលរបស់ផូតុងនៃពន្លឺព័ណខៀវ មានជំហានរលក $\lambda = 450$ nm ក្នុងខ្យល់។

ដំណោះស្រាយ៖ ថាមពលរបស់ពន្លឺព៌ណខៀវគឺ

$$E = hf \quad \text{តែ} \quad f = c/\lambda$$

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.63 \times 10^{-34}\ \text{Js})(3.0 \times 10^{8}\ \text{m/s})}{(4.5 \times 10^{7}\ \text{m})} = 4.4 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

$$E = \frac{4.4 \times 10^{-19}\ \text{J}}{1.6 \times 10^{-19}\ \text{J}/eV} = 2.8\ \text{eV}$$

ឧទាហរណ៍៖ ផ្ទៃរបស់សូដ្យូមមួយត្រូវបានបញ្ចាំងពន្លឺដែលមានជំហានរលក 300 nm ។ កម្មន្តទំនាញយករបស់សូដ្យូមគឺ 2.46 eV ។

ក. គណនាថាមពលស៊ីនេទិចអតិបរមារបស់ផូតូអេឡិចត្រុង ?

ខ. រកតម្លៃកម្រិតនៃជំហានរលក (cutoff wavelength) λ_0 ?

ដំណោះស្រាយ៖ ក. ថាមពលស៊ីនេទិចអតិបរមា

ថាមពលរបស់ផូតុងនីមួយៗគឺ $E = hf = hc/\lambda$

ថាមពលស៊ីនេទិចអតិបរមាគឺ

$$K_{max} = \frac{hc}{\lambda} - W_0 = \frac{6.626 \times 10^{-34}\ \text{Js} \times 3 \times 10^{8}\text{ms}^{-1}}{300\ \text{nm}} - 2.46\ \text{eV}$$

$$K_{max} = 6.626 \times 10^{-19} J - 2.46\ \text{eV} = 4.14\ \text{eV} - 2.46\ \text{eV} = 1.68\ \text{eV}$$

ខ. តម្លៃកម្រិតនៃជំហានរលក

$$hf_0 = W_0 \quad \text{ឬ} \quad \frac{hc}{\lambda_0} = W_0$$

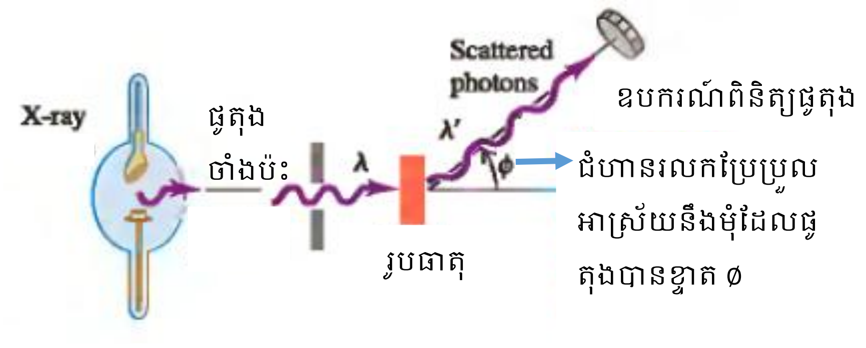
$$\lambda_0 = \frac{hc}{W_0} = \frac{6.626 \times 10^{-34}\ \text{Js} \times 3 \times 10^{8}\ \text{ms}^{-1}}{2.46\ \text{eV}} = \frac{12.4237 \times 10^{-7}\ \text{eVm}}{2.46\ \text{eV}} = 5.05 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

2.3 ផលកំតុង (Compton Effect)៖

ឆ្នាំ១៩១៩ លោកអាញស្តាញបានសន្និដ្ឋានថា ផូតុងមានថាមពល E ផ្លាស់ទីក្នុងទិសដៅតែមួយ ហើយមានបរិមាណចលនាស្មើនឹង $P = E/c$ ។ មុនឆ្នាំ១៩២២ លោកកំតុង និងសហការីរបស់គាត់បាន

ប្រមូលភស្តុតាងជាច្រើនមកបង្ហាញថា ទ្រឹស្តីរលកនៃពន្លឺគឺមិនអាចពន្យល់ពីការទង្គិចខ្ចាយរបស់កាំរស្មី X ពីអេឡិចត្រុង(scattering X rays from electron)។

ពេលកាំរស្មី X ទៅទង្គិចជាមួយនឹងរូបធាតុ កាំរស្មីខ្លះត្រូវខ្ចាតខ្ចាយ(scattered)។ លោកកំតុងបានរកឃើញថាកាំរស្មីដែលបានខ្ចាតខ្ចាយមានប្រេកង់តូចជាង(ជំហានរលកធំ) កាំរស្មីចាំងប៉ះ ហើយបម្រែបម្រួលជំហានរលកគឺអាស្រ័យនឹងមុំដែលកាំរស្មីបានខ្ចាតចេញ។ ជាពិសេស បើកាំរស្មីដែលខ្ចាតចេញបង្កើតបានមុំ $\emptyset$ ធៀបនឹងទិសដៅនៃកាំរស្មីចាំងប៉ះ(រូប២.៧) ហើយបើ λ និង λ' គឺជាជំហានរលករបស់កាំរស្មីចាំងប៉ះ និងកាំរស្មីខ្ចាត គេបាន



រូបទី ២.៧៖ ការពិសោធន៍ពីផលកំតុង។

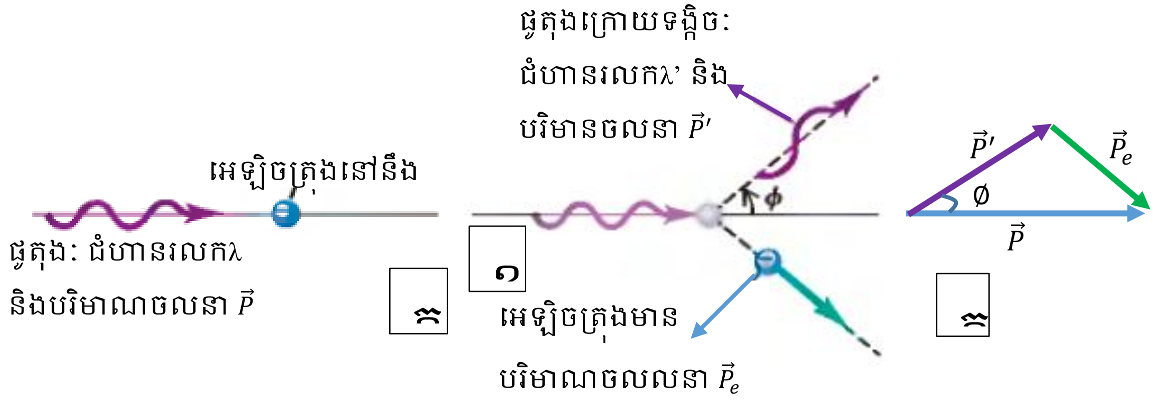
$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\emptyset) \qquad (២.១១)$$

ដែល m ជាម៉ាសរបស់អេឡិចត្រុងនៅនឹង។ ទំហំ h/mc ដែលមាននៅក្នុងសមីការ ២.១១ មានខ្នាតជាខ្នាតប្រវែង ហៅថាជំហានរលកកំតុង λ_C (C=Compton) ហើយតម្លៃរបស់វាគឺ

$$\frac{h}{mc} = \frac{6.626 \times 10^{-34}\ \mathrm{J.s}}{(9.109 \times 10^{-31}\ \mathrm{kg})(2.998 \times 10^{8}\ \mathrm{m/s})} = 2.426 \times 10^{-12}\ \mathrm{m}$$

គេមិនអាចពន្យល់ភាពរាយប៉ាយ ឬការទង្គិចខ្ចាយរបស់កំតុង(ផលកំតុង)ដោយប្រើទ្រឹស្តីបុរាណនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចបានទេ ដែលទ្រឹស្តីនេះបានគិតថាចំហានរលករបស់កាំរស្មីចាំងប៉ះ និងជំហានរលករបស់កាំរស្មីខ្ចាតចេញក្រោយទង្គិចស្មើគ្នា។ ម្យ៉ាងទៀត ទ្រឹស្តីកង់ទិចបានផ្តល់នូវការពន្យល់យ៉ាងច្បាស់មួយ។ គេសន្មត

ថាដំណើការនៃទង្គិចខ្ចាយ(scattering process)ខាងលើគឺត្រូវប្រដូចទៅនឹងទង្គិចរវាងភាគល្អិតពីរ គឺផូតុងផ្លាស់ទី និងអេឡិចត្រុងនៅស្ងៀម រូប២.៨ ក។ ផូតុងដែលផ្លាស់ទីទៅទង្គិចនឹងអេឡិចត្រុង បានផ្តល់ថាមពល និងបរិមាណចលនារបស់វាមួយចំនួនទៅឱ្យអេឡិចត្រុង ជាលទ្ធផលនៃទង្គិច ថាមពល និងបរិមាណចលនារបស់ផូតុងថយចុះ។ ដូច្នេះបើថាមពលថយចុះ នោះប្រេកង់ក៏ថយចុះ ហើយជំហានរលកកើនឡើងធំជាងផូតុងមុនទង្គិច រូប ២.៨ ខ។



រូបទី ២.៨៖ ដ្យាក្រាមផលកំតុង (ក)មុនទង្គិច (ខ) ក្រោយទង្គិចផូតុងផ្លាស់ទីក្នុងទិសដៅបង្វើតបាន មុំ $\emptyset$ ធៀបនឹងទិសដៅដើម (គ) ដ្យាក្រាមបង្ហាញពីការរក្សាបរិមាណចលនាក្នុងទង្គិច។

គេអាចបកស្រាយសមីការ២.១១ ចេញពីគោលការណ៍រក្សាថាមពល និងបរិមាណចលនា។ ថាមពលទង្គិចរបស់អេឡិចត្រុងអាចស្ថិតក្នុងចង្កោមនៃទ្រឹស្តីធៀប ដូច្នេះគេប្រើទំនាក់ទំនងថាមពល បរិមាណចលនាក្នុងទ្រឹស្តីធៀប។ ផូតុងចាំងប៉ះមានបរិមាណចលនា P និងថាមពល $E = Pc$ ។ ក្រោយទង្គិចផូតុងមានបរិមាណចលនា P' និងថាមពល $E' = P'c$ ។អេឡិចត្រុងមុនទង្គិចនៅនឹងមានថាមពល mc^2 ។ ក្រោយទង្គិចអេឡិចត្រុងមានថាមពល

$$E_e^2 = (mc^2)^2 + (P_e c)^2$$

ច្បាប់រក្សាថាមពល

$$Pc + mc^2 = P'c + E_e$$

$$Pc - P'c + mc^2 = E_e$$

$$(Pc - P'c + mc^2)^2 = E_e^2 = (mc^2)^2 + (P_e c)^2 \qquad (២.១២)$$

តាមច្បាប់រក្សាបរិមាណចលនា រូប ២.៨ គ

$$\vec{P} = \vec{P'} + \vec{P_e}$$

(២.១៣)

$$\vec{P_e} = \vec{P} - \vec{P'}$$

ធ្វើផលគុណស្កាលែនៃវ៉ិចទ័រទៅលើអង្គទាំងសងខាងនៃសមីការ ២.១៣ គេបាន

$$\vec{P_e}.\vec{P_e} = (\vec{P} - \vec{P'}).\vec{P_e} = (\vec{P} - \vec{P'}).(\vec{P} - \vec{P'})$$

$$\vec{P_e}.\vec{P_e} = \vec{P}.\vec{P} - \vec{P'}.\vec{P} - \vec{P'}.\vec{P} + \vec{P'}.\vec{P'}$$

$$P_e^2 \cos 0° = P^2 \cos 0° - P'P \cos \emptyset - P'P \cos \emptyset + {P'}^2 \cos 0°$$

$$P_e^2 = P^2 + {P'}^2 - 2P'P \cos \emptyset \qquad (២.១៤)$$

ជំនួសសមីការ ២.១៤ចូលក្នុងសមីការ ២.១២

$$(Pc - P'c + mc^2)^2 = (mc^2)^2 + c^2\left(P^2 + {P'}^2 - 2P'P \cos \emptyset\right)$$

$$(Pc - P'c + mc^2)(Pc - P'c + mc^2) = m^2c^4 + c^2P^2 + c^2{P'}^2 - 2c^2P'P \cos \emptyset$$

$$c^2P^2 - PP'c^2 + Pmc^3 - PP'c^2 + c^2{P'}^2 - P'mc^3 + Pmc^3 - P'mc^3 + m^2c^4$$
$$= m^2c^4 + c^2P^2 + c^2{P'}^2 - 2c^2P'P \cos \emptyset$$

$$-2PP'c^2 + 2Pmc^3 - 2P'mc^3 = -2c^2P'P \cos \emptyset$$

$$-PP' + Pmc - P'mc = -P'P \cos \emptyset$$

ចែកអង្គទាំងសងខាងនឹង PP'

$$-1 + \frac{mc}{P'} - \frac{mc}{P} = -\cos \emptyset \qquad (២.១៥)$$

ដោយ $E = hf = hc/\lambda$ និង $P = E/c$ គេបាន $P = h/\lambda$ តាមសមីការ ២.១៥ គេអាចសរសេរ

$$\frac{mc\lambda'}{h} - \frac{mc\lambda}{h} = 1 - \cos\emptyset$$

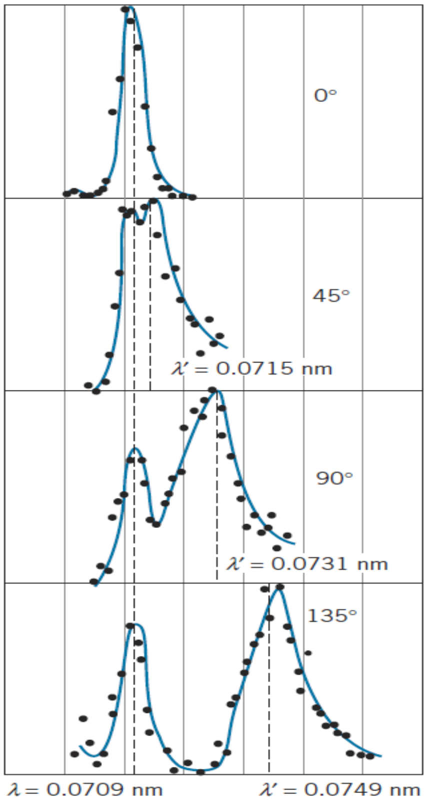
$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\emptyset) \qquad (២.១៦)$$

ដោយ $E = hf = hc/\lambda$ សមីការ ២.១៦ អាចសរសេរ

$$\frac{1}{E'} - \frac{1}{E} = \frac{1}{mc^2}(1 - \cos\emptyset) \qquad (២.១៧)$$

ដែល λ ជាជំហានរលករបស់ផូតុងមុនទង្គិច λ' ជាជំហានរលករបស់ផូតុងក្រោយទង្គិច។ សមីការ ២.១៦ និង ២.១៧ បង្ហាញពីបម្រែបម្រួលជំហានរលក និងបម្រែបម្រួលថាមពលរបស់ផូតុងជាអនុគមន៍នៃមុំខ្ចាត $\emptyset$ (Scattering angle)។ ដោយសារតែផ្នែកខាងស្ដាំនៃសមីការមិនអាចអវិជ្ជមាននោះ E' តែងតែតូចជាង E ឬក៏ λ' តែងតែធំជាង λ ដូច្នេះផូតុងក្រោយទង្គិចមានថាមពលតូចជាងមុនទង្គិច។ ផលសងថាមពល $E - E'$ គឺជាថាមពលស៊ីនេទិចដែលផ្តល់ឱ្យអេឡិចត្រុង។ ដូចគ្នាដែរ λ' តែងតែធំជាង λ មានន័យថាផូតុងខ្ចាតចេញក្រោយទង្គិចវែងជាងជំហានរលករបស់ផូតុងមុនទង្គិច។ បម្រែបម្រួលជំហានរលកគឺស្ថិតក្នុងចន្លោះពី សូន្យកាលណាមុំ $\emptyset = 0°$ ទៅពីរកាលណាមុំ $\emptyset = 180°$ ។

លទ្ធផលនៃពិសោធន៍របស់លោក កំតុង បានបង្ហាញដូចរូបទី ២.៩ ។ នៅតម្លៃរបស់មុំនីមួយៗ កំពូលនៃខ្សែកោងពីរបានលេចឡើង ដែលឆ្លើយតបនឹងការខ្ចាតចេញរបស់ផូតុងនៃកាំរស្មី X ត្រូវនឹងភាពខុសគ្នាពីរនៃថាមពល ឬជំហានរលក។ ខ្សែកោងនៃជំហានរលកមានកំពូលមិនប្រែប្រួលទេនៅខណៈដែលមុំប្រែប្រួល កំពូលនេះត្រូវនឹងការខ្ចាតដែលទាក់ទងនឹងអេឡិចត្រុងស្ថិតនៅស្រទាប់ក្នុងនៃអាតូម ដែលចងសម្ព័ន្ធយ៉ាងរឹងមាំក្នុងអាតូម ដូច្នេះផូតុងអាចខ្ចាតដោយគ្មានបាត់បង់ថាមពល។ កំពូលខ្សែងកោងនៃជំហានរលកផ្សេងទៀត ប្រែប្រួលខ្លាំងជាមួយមុំ។



រូបទី ២.៩៖ ក្រាបនៃអាំងតង់ស៊ីតេ និងជំហានរលក ចំពោះផលកំតុងត្រូវនឹងតម្លៃមុំមួយចំនួន។ កំពូលខាងឆ្វេងក្នុងករណីនីមួយៗ គឺជាលទ្ធផលនៃផូតុងដែលខ្ចាតដោយសារអេឡិចត្រុងមានសម្ព័នយ៉ាងរឹងមាំក្នុងអាតូម។

ដោយប្រើថាមពលសរុបរបស់អេឡិចត្រុងតាមរូបមន្តក្នុងទ្រឹស្តីធៀប $E_e = K + mc^2$ ដែល K ជាថាមពលស៊ីនេទិចរបស់អេឡិចត្រុង។ ច្បាប់រក្សាថាមពលគេបាន ថាមពលសរុបមុនទង្គិច $(E + mc^2)$និងថាមពលសរុបក្រោយទង្គិច$(E' + E_e)$ស្មើគ្នា គេបាន

$$E + mc^2 = E' + E_e$$

$$E + mc^2 = E' + K + mc^2$$

$$K = E - E' \qquad (២.១៨)$$

សមីការ ២.១៨ ជាថាមពលស៊ីនេទិចដែលអេឡិចត្រុងទទួលបាន។

ទិសដៅដែលអេឡិចត្រុងបានចេញខ្ចាតដូចរូប ២.១០ គេបាន

តាមច្បាប់រក្សាបរិមាណចលនា

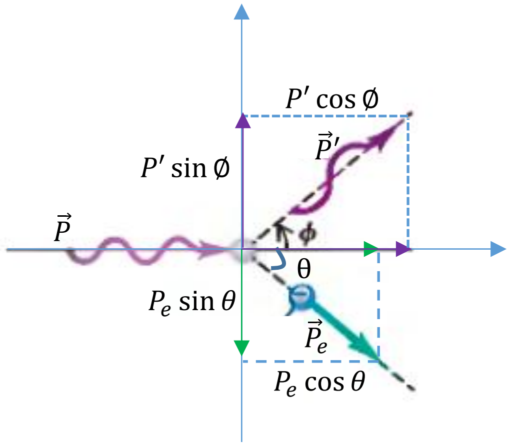
ចំពោះអ័ក្សដេក៖ $P = P' \cos\emptyset + P_e \cos\theta$ នាំឱ្យ $P_e \cos\theta = P - P' \cos\emptyset$

ចំពោះអ័ក្សឈរ៖ $0 = P' \sin\emptyset - P_e \sin\theta$ ឬ $P_e \sin\theta = P' \sin\emptyset$

ទិសដៅដែលអេឡិចត្រុងខ្ទាតគឺ

$$\tan\theta = \frac{P_e \sin\theta}{P_e \cos\theta} = \frac{P' \sin\emptyset}{P - P' \cos\emptyset} = \frac{E' \sin\emptyset}{E - E' \cos\emptyset} \qquad (២.១៩)$$

ព្រោះ $E = Pc, E' = P'c$



រូបទី ២.១០៖ ដ្យាក្រាមតាងឱ្យកូអរដោនេនៃវ៉ិចទ័របរិមាណចលនារបស់ផូតុង និងអេឡិចត្រុង។

ឧទាហរណ៍៖ កាំរស្មី X មានជំហានរលក 0.2400 nm រងនូវផលកំតុង ហើយកាំរស្មីដែលខ្ទាតចេញបង្កើតបានមុំ 60.0° ជាមួយទិសដៅរបស់កាំរស្មីចាំងប៉ះ។ ក. រកជំហានរលកកាំរស្មីដែលបានខ្ទាតចេញ? ខ. រកថាមពលរបស់ផូតុងនៃកាំរស្មី X ដែលខ្ទាតនោះ? គ. រកថាមពលស៊ីនេទិចរបស់អេឡិចត្រុងដែលបានខ្ទាតចេញ? ឃ. រកទិសដៅដែលអេឡិចត្រុងបានខ្ទាតទៅ?

ដំណោះស្រាយ៖ ក. ជំហានរលកនៃកាំរស្មីដែលបានខ្ទាតនោះ

តាមរូបមន្តផលកំតុង

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\emptyset)$$

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{mc}(1 - \cos\emptyset) = 0.2400\ \text{nm} + 0.00243\ \text{nm}(1 - \cos 60.0°) = 0.2412\ \text{nm}$$

ខ. ថាមពលផូតុងដែលខ្ចាតនោះ E'

តាមរូបមន្ត

$$E' = \frac{hc}{\lambda'} = \frac{6.626\ \times 10^{-34}\ \text{Js} \times 3 \times 10^{8}\ \text{m/s}}{0.2412\ \text{nm}}$$

$$E' = \frac{(6.626 \times 10^{-34}/1.6 \times 10^{-19})eV \times 3 \times 10^{17}\ \text{nm}}{0.2412\ \text{nm}} = \frac{12.423 \times 10^{2}\ \text{eV.nm}}{0.2412\ \text{nm}} = 5150\ \text{eV}$$

គ. ថាមពលស៊ីនេទិចរបស់អេឡិចត្រុង K

ថាមពលកាំរស្មីជាំងប៉ះ $E = hc/\lambda = (6.626\ \times 10^{-34}\ \text{Js} \times 3 \times 10^{8}\ \text{m/s})/0.2400\ \text{nm}$

$$E = 5176\ \text{eV}$$

ថាមពលស៊ីនេទិចរបស់អេឡិចត្រុងគឺ $K = E - E' = 5176\ \text{eV} - 5150\ \text{eV} = 26\ \text{eV}$

ឃ. ទិសដៅដែលអេឡិចត្រុងខ្ចាតចេញទៅ

តាមរូបមន្ត៖

$$\tan\theta = \frac{E'\sin\emptyset}{E - E'\cos\emptyset} = \frac{(5150\ \text{eV})\sin 60°}{5176\ \text{eV} - (5150\ \text{eV})\cos 60°} = 1.714$$

$$\theta = \tan^{-1} 1.714 = 59.7°$$

2.4 ធម្មជាតិនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច៖

បាតុភូតផលផូតូអគ្គិសនី និងផលកំតុងបានផ្តល់ភស្តុតាងយ៉ាងច្បាស់លាស់ថា ពេលពន្លឺ(ឬទំរង់ផ្សេងៗនៃការបញ្ចេញរស្មីលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច) និងរូបធាតុមានអន្តរកម្មជាមួយគ្នា ពន្លឺដែលដាលទៅគឺជាលំហូរនៃភាគល្អិតមានថាមពល hf និងបរិមាណចលនា h/λ ។ ដូចនេះពន្លឺជាភាគល្អិត ឬហៅថាផូតុង តែពេលខ្លះពន្លឺមានអាំងទែផេរ៉ង់ និងឌីប្រាក់ស្យុង ដែលបាតុភូតទាំងនេះកើតឡើងចំពោះតែរលក។ ដូចនេះពេលនេះពន្លឺគឺជារលក។ តើមួយណាត្រឹមត្រូវ? តើពន្លឺជារលក ឬជាភាគល្អិត? ចម្លើយគឺថា វាអាស្រ័យនឹងបាតុភូតដែលត្រូវសង្កេត។ ពិសោធន៍ខ្លះត្រូវបានពន្យល់ដោយលក្ខណៈជាភាគល្អិត ឬផូតុង ហើយខ្លះទៀតត្រូវបានពន្យល់ដោយលក្ខណៈជារលក។ គេត្រូវតែទទួលយកលក្ខណៈទាំងពីររបស់ពន្លឺ ហើយព្រមទទួលថាការពិតនៃធម្មជាតិរបស់ពន្លឺគឺមិនអាចព៌ណនាក្នុងទំរង់(ភាគល្អិត ឬរលក)តែមួយបានទេ។ បាច់ពន្លឺដូចគ្នាតែមួយ ដែល

អាចផ្តាច់ផូតូអេឡិចត្រុងពីផ្ទៃលោហៈ (មានន័យថាបាច់ពន្លឺមានផូតុង) ហើយក៏អាចមានឌីប្រាក់ស្យុងបានដែរ(មានន័យថាបាច់ពន្លឺជារលក)។

2.5 លក្ខណៈរលករបស់ភាគល្អិតៈ

ក្នុងមជ្ឈដ្ឋានជុំវិញយើង ដែលជួបប្រទះរាល់ថ្ងៃ គឺបានចាត់ទុក និងទទួលស្គាល់ថាបឃ្លីគឺជាភាគល្អិតយ៉ាងពិតប្រាកដ ហើយរលកសូរគឺជាទំរង់នៃចលនារលកយ៉ាងច្បាស់លាស់។ ចំពោះការសង្កេតវត្ថុមានទំហំធំគឺអាចត្រូវបានបកស្រាយដោយការប្រើលក្ខណៈជារលកមកពន្យល់ ឬលក្ខណៈជាភាគល្អិតមកពន្យល់ ប៉ុន្តែក្នុងពិភពផូតុង និងអេឡិចត្រុង គឺមិនអាចញែកឱ្យដាច់ពីគ្នាច្បាស់លាស់ទេ។

កាន់តែរំជើបរំជួលថែមទៀតនោះគឺថា ក្នុងលក្ខខណ្ឌជាក់លាក់ណាមួយ វត្ថុដែលយើងបានកំណត់ន័យយ៉ាងច្បាស់លាស់ថាភាគល្អិត បានបង្ហាញឱ្យឃើញនូវលក្ខណៈរលក។ ក្នុងឆ្នាំ ១៩២៣ និក្ខេបទបញ្ចប់ថ្នាក់បណ្ឌិត លោក Louis de Broglie បានដាក់នូវសម្មតិកម្មថា ព្រោះផូតុងមានទាំងពីរលក្ខណៈ ជារលកនិងភាគល្អិត ដូច្នេះប្រហែលជាគ្រប់ទម្រង់នៃរូបធាតុមានលក្ខណៈទាំងពីរនេះ។ នេះគឺជាការបដិវត្តគំនិតយ៉ាងខ្ពស់មួយដែលមិនទាន់មានពិសោធន៍ដើម្បីបញ្ជាក់នៅក្នុងពេលនោះ។

ផូតុងមានថាមពលកំណត់តាមរូបមន្តអាញស្តាញគឺ $E = Pc$ និង $E = hf$ ហើយប្រេកង់ $f = c/\lambda$ គេបានបរិមាណចលនាគឺ

$$P = \frac{h}{\lambda}$$

សមីការនេះបង្ហាញថាជំហានរលករបស់ផូតុងអាចត្រូវបានបង្ហាញយ៉ាងច្បាស់ដោយបរិមាណចលនា $\lambda = h/P$ ។ Louis de Broglie បានស្នើឡើងថា បរិមាណចលនា P របស់ភាគល្អិតនៃសារធាតុ មានលក្ខណៈនៃជំហានរលកដែលឱ្យដោយកន្សោមដូចគ្នា។ ដោយសារម៉ូឌុលនៃបរិមាណចលនារបស់ភាគល្អិតមានម៉ាស m និងល្បឿន u គឺ $P = mu$ គេបានជំហានរលក Louis de Broglie របស់ភាគល្អិតគឺ

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mu} \qquad (២.២០)$$

ម្យ៉ាងវិញទៀត ស្រដៀងនឹងផូតុង លោក Louis de Broglie បានដាក់សម្មតិកម្មថា ភាគល្អិតទាំងឡាយគោរពតាមទំនាក់ទំនងរបស់អាញស្តាញ $E = hf$ ដែល E ជាថាមពលសរុបរបស់ភាគល្អិត។ ប្រេកង់របស់ភាគល្អិតគឺ

$$f = \frac{E}{h} \qquad (២.២១)$$

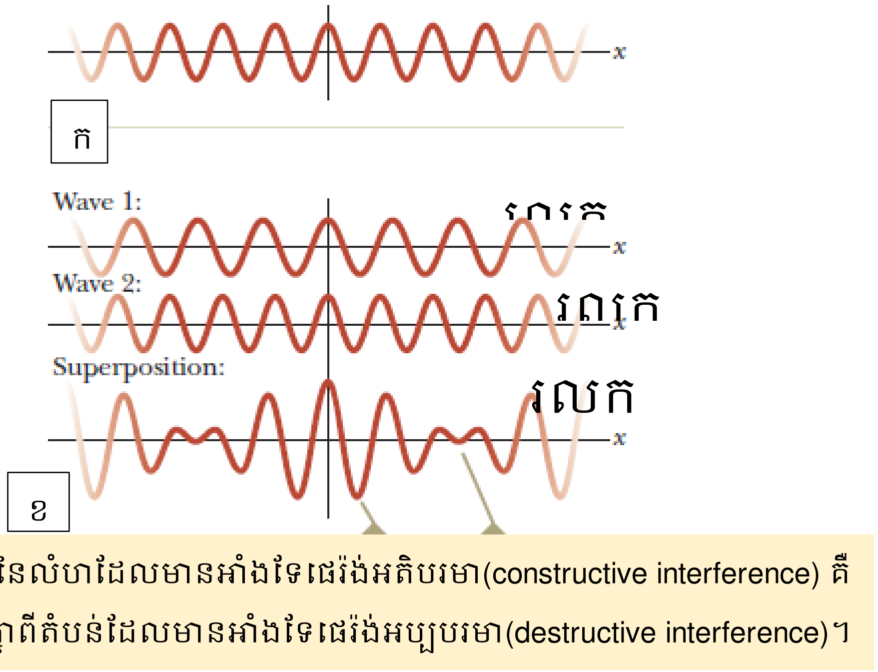
លក្ខណៈទ្វេរភាពនៃរូបធាតុគឺបានបង្ហាញក្នុងសមីការ ២.២០ និង ២.២១ ព្រោះសមីការទាំងពីរមានទំហំដែលសម្គាល់ថាជាភាគល្អិត(P និង E) និងទំហំដែលសម្គាល់ថាជារលក(λ និង f)។

2.6 ភាគល្អិតកង់ទិច

ក្នុងចំនុចមុន គេបានពិនិត្យឃើញថាមានភាពខុសគ្នារវាងគំរូភាគល្អិត និងគំរូរលក ហើយការវែកញែកបានក្លាយជាកង្វល់មួយ។ ទស្សនៈដែលថាទាំងពន្លឺទាំងភាគល្អិតនៃរូបធាតុមានលក្ខណៈជាភាគល្អិតផង និងលក្ខណៈជារលកផងគឺមិនសមស្របជាមួយនឹងភាពខុសគ្នានេះទេ។ ការព្រមទទួលយកនៃលក្ខណៈទ្វេរភាពរបស់ធម្មជាតិ(លក្ខណៈជារលកផង និងជាភាគល្អិតផង) នាំទៅដល់គំរូថ្មីមួយ ហៅថា ភាគល្អិតកង់ទិច ដែលជាបន្សំរវាងគំរូភាគល្អិត និងគំរូរលក។

ក្នុងចំនុចនេះ គេនឹងរកឱ្យឃើញថាគំរូថ្មីនេះអាចធ្វើឱ្យអ្នកកាន់តែមានភាពងាយស្រួលយល់ពីទស្សនៈដែលថាទាំងពន្លឺទាំងភាគល្អិតនៃរូបធាតុមានលក្ខណៈជាភាគល្អិតផង និងលក្ខណៈជារលកផង ដោយការបកស្រាយដោយឡែកមួយពីលក្ខណៈរបស់ភាគល្អិតមួយអាចត្រូវបានផ្សំពីរលកជាច្រើន។

ដំបូងសូមចាំពីលក្ខណៈនៃរលក និងភាគល្អិត។ លក្ខណៈពិសេសរបស់ភាគល្អិតគឺថា វាស្ថិតក្នុងទីតាំងឬតំបន់មួយច្បាស់លាស់ ក្នុងលំហ(it is localized in space) ។ ហើយរលកមានប្រេកង់ និងមានប្រវែងមិនអាចកំណត់បានដូចក្នុងរូបទី ២.១១ ក។ ដូច្នេះរលកគឺមិនអាចមានទីតាំង ឬកំណត់កន្លែងច្បាស់លាស់ទេក្នុងលំហ(it is unlocalized in space)។ ការកំណត់កន្លែង ឬទីតាំងដោយឡែកមួយអាចត្រូវបានបង្កើតឡើងពីរលកយ៉ាងវែងមិនកំណត់ដូចខាងក្រោម។ ឧបមាថា គេគូបានទម្រង់នៃរលកមួយតាមអក្ស x ដោយខ្នងនៃរលកត្រង់ទីតាំង $x = 0$ ដូចបង្ហាញក្នុងរូបទី២.១១ខ ផ្នែកខាងលើ។ បន្ទាប់មកគូសរលកទីពីរ មានអំព្លីទុតដូចគ្នា និងខ្នងរលកលត្រង់ទីតាំង $x = 0$ តែប្រេកង់ខុសគ្នា។ ជាលទ្ធផលនៃតម្រួតរលក គឺមានប៊ីត(beat) កើតឡើងខណៈដែលរលកទាំងពីរឆ្លាស់គ្នារវាងស្របផាស និងផ្ទុយផាស។



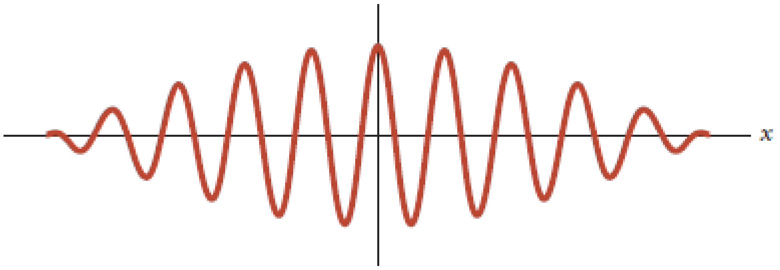
រូបទី ២.១១៖ ក. រលកមួយមានប្រេកង់ទោល គឺដូចគ្នាក្នុងលំហាទាំងមូល និងគ្រប់ពេល។ ខ. បើរលកពីរមានប្រេកង់ខុសគ្នាបន្តិចបន្តួច ត្រូវបានបញ្ចូលគ្នា នោះលទ្ធផលគឺមានប៊ីត(beat)កើតឡើង។

រូបខាងក្រោមនៃរូបទី២.១១ ខ គឺជាលទ្ធផលនៃតម្រួតរលក។

គត់សម្គាល់ឃើញថារូបទី២.១១ខ បានបង្ហាញនូវការកំណត់តំបន់ខ្លះដោយតម្រួតនៃរលកពីរ។ រលកទោលអំព្លីទុតដូចគ្នាគ្រប់កន្លែងក្នុងលំហ គឺមិនមានជាចំនុចក្នុងលំហទេ។ ដោយបន្ថែមនូវរលកទីពីរ ឃើញថាមានភាពខុសគ្នាអំពីចំនុចដែលរលកទាំងពីរស្រផាស និងចំនុចដែលរលកទាំងពីផ្ទុយផាសគ្នា។

ឥឡូវឧបមាថា បន្ថែមរលកកាន់តែច្រើនទៅលើរលកទាំងពីរខាងដើម ដែលរលកថ្មីនីមួយៗមានប្រេកង់ថ្មីមួយ។ រលកថ្មីនីមួយៗដែលត្រូវបានបន្ថែមមានខ្នងរលកត្រង់ $x = 0$ ជាលទ្ធផលគឺមានអាំងទែផេរ៉ង់អតិបរមាត្រង់ $x = 0$ ។ ពេលគេបន្ថែមរលកយ៉ាងច្រើន ប្រូបាប៊ីលីតេនៃតម្លៃវិជ្ជមានរបស់អនុគមន៍រលកនៅទីតាំងណាមួយ $x \neq 0$ គឺស្មើនឹងប្រូបាប៊ីលីតេនៃតម្លៃអវិជ្ជមានរបស់អនុគមន៍រលក ហើយមានអាំងទែផេរ៉ង់បំផ្លាញ (destructive interference)គ្រប់កន្លែងលើកលែងត្រង់ $x = 0$ ដែលខ្នងរលកទាំងអស់ត្រូវបានតម្រួតគ្នា។ លទ្ធផលត្រូវបានបង្ហាញក្នុងរូប ២.១២។ អាំងទែផេរ៉ង់សង់(constructive interference)ក្នុងតំបន់តូចមួយហៅថា កញ្ចប់រលក(wave packet)។ នេះជាតំបន់បានកំណត់ក្នុងលំហ ដែលខុសពីតំបន់ផ្សេងៗទៀតទាំងអស់។ គេអាចបញ្ជាក់បានថាកញ្ចប់រលកគឺដូចនឹងភាគល្អិត ព្រោះវាមានទីតាំង ឬការកំណត់តំបន់ដែលវាតាំង

នៅ(ឬ localize)ដែលជាលក្ខណៈធម្មជាតិនៃភាគល្អិត។ តំបន់នៃកញ្ចប់រលកគឺត្រូវនឹងទីតាំងរបស់ភាគល្អិត។



រូបទី២.១២៖ បើរលកមានចំនួនយ៉ាងច្រើន ត្រូវបានបញ្ចូលគ្នា លទ្ធផលគេទទួលបានកញ្ចប់រលក ដែលបង្ហាញថាជាភាគល្អិតមួយ។

គេអាចបកស្រាយពីតម្រួតនៃរលកតាមគណិតវិទ្យា ដោយពិនិត្យរលកពីរមានអំព្លីទុតស្មើគ្នាប៉ុន្តែប្រេកង់ខុសគ្នា។

$$y_1 = A\cos(k_1x - \omega_1 t)\ \ ;\ \ y_2 = A\cos(k_2x - \omega_2 t)$$

ដែល $k = 2\pi/\lambda$ និង $\omega = 2\pi f$ ដោយប្រើគោលការន៍តម្រួត

$$y = y_1 + y_2 = A\cos(k_1x - \omega_1 t) + A\cos(k_2x - \omega_2 t)$$

តាមរូបមន្តត្រីកោណមាត្រ

$$\cos a + \cos b = 2\cos\left(\frac{a-b}{2}\right)\cos\left(\frac{a+b}{2}\right)$$

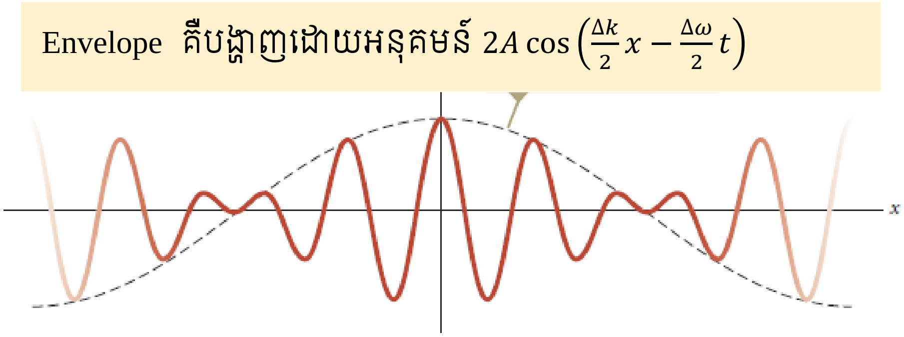
ដោយតាង $a = k_1x - \omega_1 t\ ;\ b = k_2x - \omega_2 t$ គេបាន

$$y = 2a\cos\left[\frac{(k_1x - \omega_1 t) - (k_2x - \omega_2 t)}{2}\right]\cos\left[\frac{(k_1x - \omega_1 t) + (k_2x - \omega_2 t)}{2}\right]$$

$$y = \left[2A\cos\left(\frac{\Delta k}{2}x - \frac{\Delta\omega}{2}t\right)\right]\cos\left(\frac{k_1 + k_2}{2}x - \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t\right) \qquad (២.២២)$$

ដែល $\Delta k = k_1 - k_2\ ;\ \omega = \omega_1 - \omega_2$ ។ អនុគមន៍កូស៊ីនុសទី២នៃសមីការ ២.២២ បង្ហាញពីតម្លៃមធ្យមនៃចំនួនរលក និងប្រេកង់ របស់រលក ។

សមីការ ២.២២ កត្តាដែលនៅក្នុងឃ្នាបបង្ហាញពីស្រោមនៃរលក(envelope of the wave) ដូចបង្ហាញក្នុងរូប ២.១៣។ កត្តានោះក៏មានទម្រង់គណិតវិទ្យានៃរលកផងដែរ។ envelope(ស្រោមនៃរលក) នេះអាចដាលឆ្លងកាត់លំហដោយល្បឿនខុសពីល្បឿននៃរលកផ្គុំនីមួយៗ។ ឧទាហរណ៍ថា មានរលកផ្គុំពីរដូចគ្នាដាលក្នុងទិសដៅផ្ទុយគ្នា។ រលកផ្គុំទាំងពីរមានល្បឿនដូចគ្នា តែ envelope មានល្បឿនសូន្យព្រោះជារលកជញ្ជាំ។



រូបទី២.១៣៖ គំរូប៊ីត(beat)នៃរូប២.១១ខ ជាមួយ envelope (បន្ទាត់ដាច់ៗ)។

ចំពោះរលកផ្គុំនីមួយៗ ល្បឿនកំណត់ដោយ

$$v_{phase} = \frac{\omega}{k} \quad (២.២៣)$$

ល្បឿននេះហៅថាល្បឿនផាសព្រោះវាគឺជាអត្រានៃបម្លាស់ទីទៅមុខរបស់ខ្នងរលកនៃរលកទោលមួយ ដែលជាចំនុចមិនប្រែប្រួលផាស។

ដូចដែលបានពិភាក្សាពីខាងដើមថា ភាគល្អិតអាចត្រូវបានពន្យល់ថា ជាការផ្សំនៃរលកជាច្រើន ហៅថាកញ្ចប់រលក។ ហើយរលកផ្គុំនីមួយៗមានប្រេកង់ខុសគ្នាតិចតួច។ ដោយភាពស្រដៀងគ្នានេះ គេបានល្បឿននៃភាគល្អិតត្រូវបានហៅថា ល្បឿនក្រុម តាងដោយ v_g ឬហៅល្បឿននៃកញ្ចប់រលក។

$$v_g = \frac{d\omega}{dk} \quad (២.២៤)$$

គុណភាគយក និងភាគបែង នឹង $\hbar$ ដែល $\hbar = h/2\pi$

$$v_g = \frac{\hbar d\omega}{\hbar dk} = \frac{d(\hbar\omega)}{d(\hbar k)} \quad (២.២៥)$$

$$\text{តែ}\quad \hbar\omega = \frac{h}{2\pi}(2\pi f) = hf = E$$

$$\text{ហើយ}\quad \hbar k = \frac{h}{2\pi}\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) = \frac{h}{\lambda} = P$$

សមីការ ២.២៥ អាចសរសេរ

$$v_g = \frac{d(\hbar\omega)}{d(\hbar k)} = \frac{dE}{dP} \qquad (២.២៦)$$

ដោយសាគេចង់រកឱ្យឃើញនូវលទ្ធភាពដែលថា envelope នៃតម្រួតរលកជាភាគល្អិត ដូច្នេះពិនិត្យភាគល្អិតសិរីមួយមានចលនាដោយល្បឿន u ដែលមានតម្លៃតូចធៀបនឹងល្បឿនពន្លឺ។ ថាមពលរបស់ភាគល្អិតគឺជាថាមពលស៊ីនេទិចរបស់វា(ព្រោះភាគល្អិតសិរី)

$$E = \frac{1}{2}mu^2 = \frac{P^2}{2m}$$

ធ្វើដេរីវេសមីការនេះធៀបនឹង P គេបាន v_g

$$v_g = \frac{dE}{dP} = \frac{d}{dP}\left(\frac{P^2}{2m}\right) = \frac{1}{2m}2P = u \qquad (២.២៧)$$

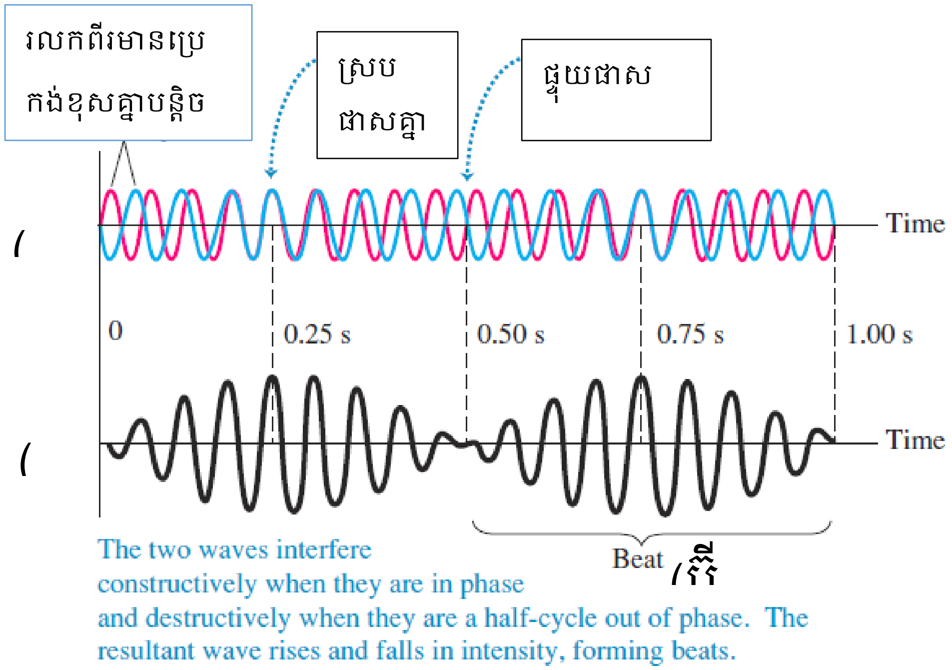
ដូចនេះ ល្បឿនក្រុមនៃកញ្ចប់រលកគឺដូចគ្នានឹងល្បឿនរបស់ភាគល្អិតដែរ ដែលផ្តល់នូវទំនុកចិត្តបន្ថែមទៀតថាកញ្ចប់រលកគឺជាមធ្យោបាយសមហេតុផលមួយសម្រាប់បង្កើតភាគល្អិតមួយ។

ប៊ីត(Beat)

រលកផ្គួបក្នុងរូប២.១៤ ខ លើមទៅដូចជារលកស៊ីនុយសូអ៊ីតទោលមានអំព្លីទុតប្រែប្រួលពីអតិបរមាទៅសូន្យ និងពិសូន្យទៅអតិបរមា។ ក្នុងឧទាហរណ៍នេះ អំព្លីទុតប្រែប្រួលដោយមានចំនុចអតិបរមាពីរ និងអប្បរមាពីរក្នុងមួយវិនាទី ដូច្នេះប្រេកង់នៃបម្រែបម្រួលអំព្លីទុតគឺស្មើ 2 Hz ។ បម្រែបម្រួលអំព្លីទុតបណ្តាលឱ្យប្រែប្រួលអាំងតង់ស៊ីតេសូរ(Loudness) ហៅថា ប៊ីត ហើយប្រេកង់ដែលត្រូវនឹងអាំងតង់ស៊ីតេសូរប្រែប្រួលហៅថា ប្រេកង់ប៊ីត។ ក្នុងឧទាហរណ៍នេះប្រេកង់ប៊ីតគឺជាផលសងរវាងប្រេកង់នៃរលកផ្តុំ។

គេអាចបង្ហាញបានថាប្រេកង់ប៊ីតគឺតែងតែស្មើផលសងរវាងប្រេកង់នៃរលកផ្តុំទាំងពីរ f_1 និង f_2 ។ សន្មតថា f_1 ធំជាង f_2 ហើយខួបនៃរលកផ្តុំទាំងពីរគឺ T_1 និង T_2 ដែល $T_1 < T_2$ ។ បើរលកទាំងពីរចាប់ផ្តើម

ដោយស្របផាសគ្នានៅ $t = 0$ ពួកវានឹងស្របផាសម្តងទៀតនៅពេលរលកទីមួយជាលបានទៅច្រើនជាងរលកទីពីរមួយខួប(cycle)។ ទាំងនេះវាកើតឡើងនៅរយៈពេល t ស្មើនឹង T_{beat} ជាខួបរបស់ប៊ីត។ តាង n ជាចំនួនខួប(Number of cycle)នៃរលកទីមួយក្នុងតយៈពេល T_{beat} នោះចំនួនខួបនៃរលកទីពីរគឺ $(n-1)$ គេបានទំនាក់ទំនង



រូបទី២.១៩៖ ប៊ីតជាបម្រែបម្រួលអំព្លីទុតដែលបង្កើតដោយរលកសូរពីរមានប្រេកង់ខុសគ្នាបន្តិចបន្តួច(16 Hz, 18 Hz) ។ (ក). រលកផ្គុំ។ (ខ). រលកផ្គួបដែលកើតចេញពីតម្រួតនៃរលកផ្គុំទាំងពីរ។ ប្រេកង់ប៊ីតគឺ 18 Hz – 16 Hz = 2 Hz ។

$$T_{beat} = nT_1 \;;\quad T_{beat} = (n-1)T_2$$

បំបាត់ n ចោលដោយប្រើទំនាក់ទំនងទាំងពីរ៖

$$n = \frac{T_{beat}}{T_1}$$

$$T_{beat} = \left(\frac{T_{beat}}{T_1} - 1\right) T_2$$

$$T_{beat} = \frac{T_{beat}T_2 - T_1T_2}{T_1}$$

$$T_{beat}T_1 = T_{beat}T_2 - T_1T_2$$

$$T_1T_2 = T_{beat}(T_2 - T_1)$$

$$T_{beat} = \frac{T_1T_2}{T_2 - T_1}$$

ដោយប្រេកង់ $f_{beat} = 1/T_{beat}$ គេបាន

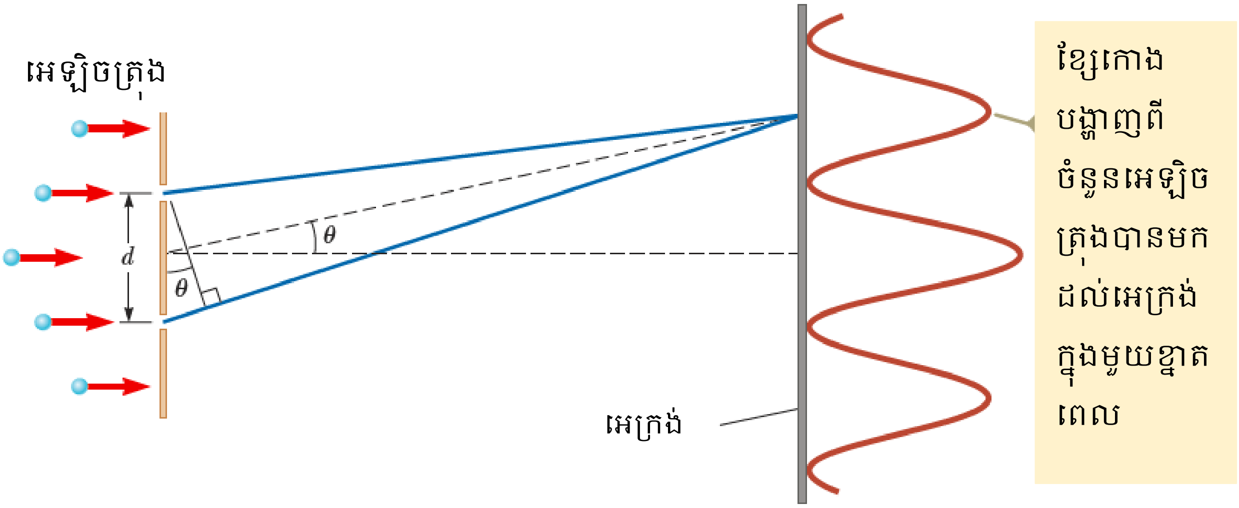
$$f_{beat} = \frac{1}{\frac{T_1T_2}{T_2 - T_1}} = \frac{T_2 - T_1}{T_1T_2} = \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}$$

$$f_{beat} = f_1 - f_2 \qquad (២.២៨)$$

2.7 ពិនិត្យពិសោធន៍រន្ធពីរ

ឥឡូវលក្ខណៈទ្វិកភាពនៃ រលក-ភាគល្អិត ត្រូវបានទទួលស្គាល់យ៉ាងពេញលេញដោយលទ្ធផលពិសោធន៍។ មធ្យោបាយមួយដែលធ្វើឱ្យទស្សនៈស្ដីពីលក្ខណៈទ្វិកភាពនៃរលក-ភាគល្អិតកាន់តែច្បាស់គឺពិសោធន៍មួយដែលអេឡិចត្រុងត្រូវបានបាញ់ឆ្ពោះទៅរករង្វះពីរដូចក្នុងរូបទី ២.១៥ ។ អេក្រង់សម្រាប់ទទួលអេឡិចត្រុងត្រូវបានដាក់ត្រង់ទីតាំងមួយដែលមានចម្ងាយធំជាងចម្ងាយរវាងរង្វះទាំងពីរ d ។ បើនៅរយៈពេលគ្រប់គ្រាន់មួយ គេរកឃើញថាមានគំរូអាំងទែផេរ៉ង់នៃរលកនៅលើអេក្រង់ ដែលជាចំនួនអេឡិចត្រុងក្នុងមួយនាទី ឬប្រូបាប៊ីលីតេនៃការមកដល់របស់អេឡិចត្រុង។

បើគេវាស់មុំ θ ដែលត្រូវនឹងអាំងតង់ស៊ីតេនៃអេឡិចត្រុងមកដល់អេក្រង់(រូប២.១៣) គេនឹងរកឃើញថាពួកវាត្រូវបានបង្ហាញដោយសមីការដែលពិតជាដូចគ្នានឹងសមីការក្នុងអាំងទែផេរ៉ង់នៃពន្លឺ $d\sin\theta = m\lambda$ ដែល m ជាចំនួនប្រង់ហើយ λ ជាជំហានរលករបស់អេឡិចត្រុង។ ដូច្នេះលក្ខណៈទ្វិកភាពធម្មជាតិរបស់អេឡិចត្រុងគឺត្រូវបានបង្ហាញយ៉ាងច្បាស់ក្នុងពិសោធន៍នេះ។

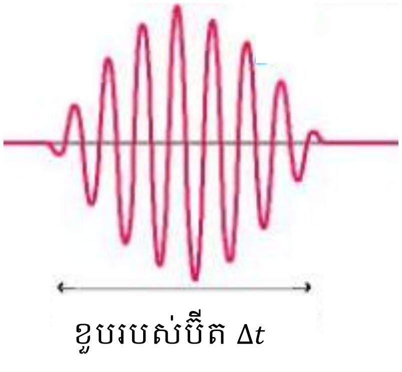


រូបទី២.១៥៖ អាំងទែផេរ៉ង់នៃអេឡិចត្រុង។ ចម្ងាយរវាងរង្វះ d ធំជាងទំហំនៃរង្វះខ្លាំង ហើយតូចជាងចម្ងាយពីរង្វះទៅអេក្រង់។

2.8 គោលការណ៍នៃភាពមិនជាក់លាក់៖

ក្នុងរូបទី២.១៤ ខ ជាកញ្ចប់រលក ឬប៊ីត មានប្រេកង់ដូចក្នុងសមីការ ២.២៨ ដែលជាផលសងរវាងប្រេកង់នៃរលកផ្គុំ។ គេអាចតាងផលសងនៃប្រេកង់នេះដោយ Δf ដូច្នេះសមីការ ២.២៨ អាចសរសេរ $f_{beat} = f_1 - f_2 = \Delta f$ បន្ទាប់មកគេបានខួបរបស់ប៊ីតគឺ $T_{beat} = 1/f_{beat} = 1/\Delta f = \Delta t$ គេបានទំនាក់ទំនងរវាងប្រេកង់នឹងខួបគឺ

$$\Delta f \Delta t = 1 \quad (២.២៩)$$



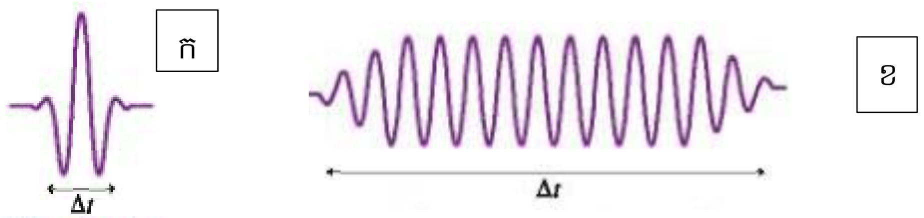
រូបទី២.១៦៖ កញ្ចប់រលក(ភាគល្អិតកង់ទិច) ឬប៊ីតដែលមានខួប Δt។

ដូចបានបង្ហាញក្នុងចំនុច២.៦ បើគេតម្រួតរលកពីរ គេនឹងសង្កេតឃើញមានកញ្ចប់រលកច្រើនកើតបន្តបន្ទាប់គ្នា។ ប៉ុន្តែបើគេតម្រួតរលកច្រើន គេទទួលបានតែកញ្ចប់រលកទោលមួយគត់។ សន្មតថាកញ្ចប់រលកទោលនោះមានខួប(រយៈពេលវាស់ពីផ្នែកខាងក្រោយទៅផ្នែកខាងមុខនៃកញ្ចប់រលក) Δt និងប្រេកង់ Δf ។ ក្នុងសៀវភៅនេះមិនបានបកស្រាយទេ តែតាមការវិភាគរបស់ Fourier បានបង្ហាញថា

$$\Delta f \Delta t \approx 1 \qquad (២.៣០)$$

ឧបមាថាគេចង់កំណត់ថាពេលណាកញ្ចប់រលកមកដល់ចំនុចជាក់លាក់ណាមួយក្នុងលំហ ដូចជាមកដល់ឧបករណ៍ចាប់សញ្ញា(detector) ។ តើនៅខណៈពេលណាដែលគេអាចនិយាយថាកញ្ចប់រលកត្រូវបានចាប់ដោយឧបករណ៍ចាប់សញ្ញា? ពេលណាផ្នែកខាងមុខនៃកញ្ចប់រលកមកដល់? ពេលណាចំនុចមានអំព្លីទុតអតិបរមានៃកញ្ចប់រលកមកដល់? ពេលណាផ្នែកខាងក្រោយនៃកញ្ចប់រលកមកដល់? ដោយសាកញ្ចប់រលកសន្ធឹងក្នុងរយៈពេល(spread out in time) វាមិនមានការកំណត់ខណៈពេល t ច្បាស់លាស់ ដែលកញ្ចប់រលកមកដល់បានទេ។ ដូច្នេះគេអាចនិយាយថា វាមកដល់ក្នុងចន្លោះពេល Δt ។ ដូចនេះរយៈពេលនៃការមកដល់គឺមិនជាក់លាក់។

រូប២.១៧បង្ហាញពីភាពខុសគ្នានៃកញ្ចប់រលកពីរ។ កញ្ចប់រលកក្នុងរូប ២.១៧ក គឺតូចចង្អៀត និងមានលក្ខណៈ localize ខ្លាំង។ វានឹងទៅដល់នៅខណៈពេលជាក់លាក់មួយ។ ប៉ុន្តែប្រេកង់ Δf មានលំដាប់ប្រេកង់យ៉ាងច្រើន(ចំនួនរលកផ្គុំច្រើន)ដើម្បីបង្កើតកញ្ចប់រលកមាន Δt យ៉ាងតូច។ ដូចនេះបើទទួលបានភាពជាក់លាក់នៃខួប(រយៈពេល) នោះភាពមិនជាក់លាក់នៃប្រេកង់Δf មានកម្រិតខ្ពស់។



រូបទី២.១៧៖ កញ្ចប់រលកពីរដែលមាន Δt ខុសគ្នា។

ក្នុងរូបទី២.១៧ខ បង្ហាញនូវស្ថានភាពផ្ទុយ។ កញ្ចប់រលកមានលំយោលច្រើន ហើយប្រេកង់នៃលំយោលទាំងនេះអាចកំណត់បានយ៉ាងច្បាស់លាស់ជាក់លាក់។ ប៉ុន្តែរយៈពេលនៃការទៅដល់មានភាពមិនជាក់លាក់ខ្លាំង។

គ្រប់ពេលដែលធ្វើការវាស់វែងមួយ ភាពមិនជាក់លាក់គឺតែងតែកើតមានជានិច្ច។ ឧទាហរណ៍ គេមិនអាចវាស់ប្រវែងតុមួយដែលទទួលបាននូវលទ្ធផលជាក់លាក់ល្អឥតខ្ចោះឡើយ។ បើទោះជាការវាស់នោះប្រើម៉ែតដែលមានកម្រិតល្អៀងត្រឹម 1mm ក៏ដោយ ក៏នៅមានល្អៀងយ៉ាងហោចណាស់ប្រហែល $\frac{1}{2}$ mm ។ បើប្រើឧបករណ៍កាន់តែមានភាពសុក្រិត លទ្ធផលនៃរង្វាស់ក៏កាន់តែមានភាពជាក់លាក់។ ប៉ុន្តែនៅតែមានល្អៀងកើតឡើង មិនថាឧបករណ៍រង្វាស់នោះល្អយ៉ាងណាក៏ដោយ។

ប៉ុន្តែក្នុងមេកានិចកង់ទិច ពិតជាមានសុក្រិតភាពខ្ពស់បំផុតនៃរង្វាស់។ ភាពសុក្រិតនេះគឺមិនមែនកំណត់ទៅលើឧបករណ៍ដែលល្អ ឬមានកម្រិតល្អៀងតិចតួចឡើយ តែវាមាននៅក្នុងធម្មជាតិ។ វាគឺជាលទ្ធផលនៃកត្តាពីរ៖ លក្ខណៈទ្វិកភាពនៃរលក-ភាគល្អិត និងអន្តរកម្មរវាងវត្ថុត្រូវសង្កេត និងឧបករណ៍សង្កេត។ ពិនិត្យការបកស្រាយខាងក្រោម

ធ្វើការវាស់វែងលើវត្ថុមួយដោយមិនមានការរំខានវា គឺមិនអាចទៅរួចទេ។ ពិនិត្យការព្យាយាមកំណត់ទីតាំងរបស់គ្រាប់ប៉េងប៉ុង ឬកូនបាល់មួយក្នុងបន្ទប់ងងឹតមួយ។ អ្នកកំពុងរាវរកដើម្បីកំណត់ទីតាំងរបស់វា បន្ទាប់មកអ្នកក៏បានប៉ះវាដោយដៃរបស់អ្នក ហើយវាក៏រមៀលចេញទៅ។ គ្រប់ពេលដែលយើងធ្វើការវាស់រកទីតាំងនៃវត្ថុមួយ មិនថាវាជាបាល់ ឬជាអេឡិចត្រុងទេ គឺយើងតែងតែប៉ះវាដោយវត្ថុអ្វីមួយផ្សេងទៀតដែលអាចផ្តល់ព័ត៌មានឱ្យយើងដឹងពីទីតាំងរបស់វា។ ដើម្បីកំណត់ទីតាំងរបស់ប៉េងប៉ុងដែលបានរមៀលទៅនោះ អ្នកអាចស្វែងរកវាដោយប្រើដៃ ឬបន្ទាត់ឈើមួយ ឬអ្នកអាចបញ្ចាំងពន្លឺលើវា ហើយទទួលពន្លឺដែលផ្លាតពីបាល់មកវិញ ពេលនោះគេអាចកំណត់ទីតាំងរបស់វា។ ពេលអ្នកប្រើដៃ ឬបន្ទាត់ឈើដើម្បីរាវរក គេនឹងរកឃើញទីតាំងរបស់បាល់នៅពេលគេប៉ះវា។ ប៉ុន្តែពេលអ្នកប៉ះវាគឺគេចមិនផុតពីទង្គិចវា និងផ្តល់បរិមាណចលនាខ្លះឱ្យវា។ ដូច្នេះអ្នកនឹងមិនដឹងពីទីតាំងរបស់វាក្រោយពេលប៉ះ។ ដូចគ្នាដែរ បើសិនអ្នកសង្កេតទីតាំងរបស់ប៉េងប៉ុងដោយប្រើពន្លឺ។ ដើម្បីឃើញប៉េងប៉ុង យ៉ាងហោចណាស់មានផូតុងមួយត្រូវតែខ្ទាតចេញពីវា ហើយផូតុងដែលបានខ្ទាតចេញត្រូវតែចូលក្នុងភ្នែករបស់អ្នក ឬចូលក្នុងឧបករណ៍សម្រាប់ចាប់យកពន្លឺផ្សេងទៀត(detector)។ ពេលផូតុងមួយទៅប៉ះ ឬទង្គិចនឹងវត្ថុធម្មតាមួយ(ទំហំធំដូចជាឃ្លី) វាមិនបានធ្វើឱ្យវត្ថុនោះផ្លាស់ប្តូរចលនា ឬទីតាំងឡើ

យ។ ប៉ុន្តែពេលផ្ទុតុងទៅទង្គិចនឹងវត្ថុមានទំហំយ៉ាងតូចដូចជាអេឡិចត្រុងមួយ វាអាចបញ្ជូនបរិមាណចលនាទៅឱ្យវត្ថុនោះ ហើយក៏អាចផ្លាស់ប្តូរនូវចលនា និងទីតាំងដែលមិនអាចធ្វើការប៉ាន់ស្មានបាន។

ឯកសារយោង

1. Hugh D. Young & Roger A. Freedman, University Physics with Modern Physics, 13ed.
2. Raymond A. Serway & John W. Jewett, Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 9ed.
3. Randall D. Knight, Physics for Scientists and Engineers, 2ed.
4. Halliday & Resnick, Fundamentals of Physics, 9ed.
5. Douglas C. Giancoli, Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 4ed