មុខវិជ្ជា៖
មេកានិច

កញ្ចប់សមត្ថភាពទី ១
ចំណេះដឹងឯកទេសកម្រិតបរិញ្ញាបត្រ

ពណ៌នាអំពីមុខវិជ្ជា៖

នៅក្នុងមុខវិជ្ជានេះអ្នកសិក្សានឹងបានរៀនពីលក្ខណៈរបស់វ៉ិចទ័រនិងប្រមាណវិធីរបស់វាដើម្បីអនុវត្តក្នុងមេកានិចទូទៅ ស៊ីនេម៉ាទិច (១និង២វិមាត្រ) ឌីណាមិចភាគល្អិត (ច្បាប់ចលនា កម្លាំង បរិមាណចលនា អាំពុលស្យុង ម៉ូម៉ង់បង្វិល ម៉ូម៉ង់ស៊ីនេទិច) ប្រព័ន្ធភាគល្អិត ផ្ចិតម៉ាស កម្មន្ត ថាមពលចលនារង្វិលរបស់អង្គធាតុរឹង។

លទ្ធផលសិក្សារំពឹងទុក៖

- **ក្រោយពីបញ្ចប់ការសិក្សាមុខវិជ្ជានេះដោយជោគជ័យអ្នកសិក្សានឹង៖**

លទ្ធផលសិក្សារំពឹងទុកទី១៖ អនុវត្ត (Apply) នូវមេរៀនមេកានិចបុរាណដែលមានទំនើបកម្មឌីជីថលក្នុងវិធីសាស្ត្របង្រៀននិងមូលដ្ឋានគ្រឹះការយល់ពីគំនិតក្នុងមេកានិចបុរាណសមស្របក្នុងការបង្រៀនថ្នាក់មធ្យមសិក្សា។

លទ្ធផលសិក្សារំពឹងទុកទី២៖ បំបែកគំនិតជាលំដាប់ (break down) ក្នុងការដោះស្រាយលំហាត់ពាក់ព័ន្ធនឹងមេកានិចញូតុនដោយមានការចងក្រងនូវឯកសារយន្តការដោះស្រាយលំហាត់ក្នុងមេរៀននីមួយៗ។

លទ្ធផលសិក្សារំពឹងទុកទី៣៖ បកស្រាយ (Intepret) នូវដំណោះស្រាយបញ្ហាមេកានិចញូតុនដោយផ្អែកលើគោលការណ៍ ច្បាប់និងទ្រឹស្តីវិទ្យាសាស្ត្ររូបវិទ្យា ពីកម្រិតប្រធានបទត្រមោចទៅកម្រិតអន្តរប្រធានបទ។

លទ្ធផលសិក្សារំពឹងទុកទី៤៖ កំណត់ដឹងនូវការថ្លឹងថ្លែង (recognize the balance) រវាងការអនុវត្តន៍លំហាត់ដោយផ្អែកលើវិសាលភាពគោលការណ៍ច្បាប់រូបវិទ្យាដែលបានចែងនិងវិធីចំណាំសម្រាប់ជំនួយក្នុងការដោះស្រាយបញ្ហាក្នុងបាតុភូតណាមួយ។

លទ្ធផលសិក្សារំពឹងទុកទី៥៖ សហការណ៍គ្នា (Cooperate) ក្នុងការស្វែងយល់និងដោះស្រាយបញ្ហាក្នុងក្រុមដោយផ្អែកលើផ្ទត់គំនិតយកវិធីសាស្ត្រនិងយន្តការជាគោល។

របាយតម្លៃសិក្សា

- ដើម្បីបំពេញគ្រប់លក្ខខណ្ឌបញ្ចប់ការសិក្សាមុខវិជ្ជានេះ អ្នកសិក្សាត្រូវ

១. វត្តមានចូលសិក្សា ១០%

២. ការចូលរួមសកម្មភាពសិក្សា ២០%

៣. ការវាយតម្លៃកំឡុងពេលសិក្សា ៣០%

៤. ការប្រឡងបញ្ចប់មុខវិជ្ជាសិក្សា ៤០%

អារម្ភកថា

វិស័យអប់រំ ត្រូវបានរាជរដ្ឋាភិបាលកម្ពុជាចាត់ទុកថាជាវិស័យអាទិភាព និងត្រូវបានធ្វើកំណែទម្រង់ជាប្រចាំ ឆ្ពោះទៅលើកកម្ពស់គុណភាពនៃការសិក្សានៅគ្រប់កម្រិត។ ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡាបាននិងកំពុងពិនិត្យឡើងវិញកម្មវិធីបណ្តុះបណ្តាលគ្រូបង្រៀន និងជំរុញកំណែទម្រង់សាលារៀននៅគ្រប់កម្រិត ដើម្បីធានាថាសាលារៀនមានដំណើរការប្រកបដោយប្រសិទ្ធភាពសម្រាប់ការសិក្សារៀនសូត្ររបស់សិស្ស និងផ្តល់ដល់សិស្សនូវវិជ្ជាសម្បទា បំណិនសម្បទា ចរិយាសម្បទា កាយសម្បទា ឆ្លើយតបបានទៅតាមតម្រូវការទីផ្សារការងារ និងចូលរួមចំណែកពេញលេញក្នុងការអភិវឌ្ឍសហគមន៍ និងប្រទេសជាតិ ឈានឆ្ពោះទៅសម្រេចបានចក្ខុវិស័យកម្ពុជាឆ្នាំ២០៣០ និងឆ្នាំ២០៥០ ។

ជាផ្នែកមួយនៃកំណែទម្រង់ការបណ្តុះបណ្តាលគ្រូបង្រៀន ឆ្ពោះទៅលើកកម្ពស់គុណវុឌ្ឍិគ្រូបង្រៀន តាមរយៈគម្រោងកែលម្អការអប់រំចំណេះទូទៅ ក្រសួងបានរៀបចំ "ក្របខណ្ឌកម្មវិធីសិក្សាសម្រាប់ការបណ្តុះបណ្តាលបរិញ្ញាបត្រអប់រំ វិជ្ជាជីវៈគ្រូបង្រៀន ឯកទេសទាំង ៦ (អក្សរសាស្ត្រខ្មែរ, គណិតវិទ្យា, គីមីវិទ្យា, ជីវវិទ្យា, រូបវិទ្យា, ប្រវត្តិវិទ្យា) ដើម្បីប្រើប្រាស់ក្នុងកម្មវិធីវិក្រឹតការគ្រូបង្រៀន និងគណៈគ្រប់គ្រងសាលារៀននៅតាមសាលារៀនចំណេះទូទៅ។ ក្របខណ្ឌកម្មវិធីសិក្សានេះជាឯកសាររស់ ដែលនឹងអាចមានការកែសម្រួលទៅតាមស្ថានភាពជាក់ស្តែង ជាពិសេសនៅដំណាក់កាលអន្តរកាលនៃការអនុវត្តយុទ្ធសាស្ត្រសហគមន៍សាលារៀន។

ក្រសួងមានជំនឿយ៉ាងមុតមាំ លើប្រសិទ្ធភាពនៃការអនុវត្តក្របខណ្ឌកម្មវិធីបណ្តុះបណ្តាលនេះ ដែលនឹងនាំគ្រូបង្រៀន និងគណៈគ្រប់គ្រងសាលារៀននៅគ្រប់ភូមិសិក្សា សម្រេចបានគោលដៅអប់រំ ដែលនឹងចូលរួមចំណែកក្នុងការសម្រេចបានចក្ខុវិស័យរបស់រាជរដ្ឋាភិបាលកម្ពុជា។

ខ្ញុំសូមថ្លែងអំណរគុណ និងសូមកោតសរសើរដ៏ស្មោះចំពោះ ឯកឧត្តមបណ្ឌិតសភាចារ្យនាយកគម្រោង និងក្រុមការងារគម្រោងកែលម្អការអប់រំចំណេះទូទៅ ជាពិសេសក្រុមការងារនៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញដែលបានខិតខំផលិតឯកសារក្របខណ្ឌកម្មវិធីសិក្សានេះឡើង សម្រាប់ប្រើប្រាស់ក្នុងការបណ្តុះបណ្តាលក្នុងគម្រោងកែលម្អការអប់រំចំណេះទូទៅ។

ថ្ងៃ ច័ន្ទ ៦រោច ខែទុតិយាសាឍ ឆ្នាំថោះ បញ្ចស័ក ព.ស ២៥៦៧

រាជធានីភ្នំពេញ ថ្ងៃទី ០៧ ខែសីហា ឆ្នាំ ២០២៣

រដ្ឋមន្ត្រីក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា

បណ្ឌិតសភាចារ្យ ហង់ជួន ណារ៉ុន

គណៈកម្មការ

១. គណៈកម្មការគ្រប់គ្រង

១. ឯកឧត្តមបណ្ឌិតសភាចារ្យ	**ហង់ជួន ណារ៉ុន**	រដ្ឋមន្ត្រីក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា
២. ឯកឧត្តមបណ្ឌិតសភាចារ្យ	**ណាត ប៊ុនរឿន**	រដ្ឋលេខាធិការក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា
៣. ឯកឧត្តមបណ្ឌិត	**ជេត ជាលី**	សាកលវិទ្យាធិការសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ
៤. លោកបណ្ឌិត	**ឈុន ហុក**	សាកលវិទ្យាធិការរង សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ
៥. លោក	**ប៉ាល់ ដែល**	សាកលវិទ្យាធិការរង សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ
៦. លោកបណ្ឌិត	**សំអោ អឡារតន៍**	អគ្គនាយករង អគ្គនាយកដ្ឋានគោលនយោបាយ និងផែនការ
៧. លោក	**ព្រីង មរកត**	ប្រធាននាយកដ្ឋានមធ្យមសិក្សា

២. គណៈកម្មការនិពន្ធ រៀបរៀង និងចងក្រង

១. លោកបណ្ឌិត	**សុខ សូត្រ**	ព្រឹទ្ធបុរសមហាវិទ្យាល័យអប់រំនៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ
២. លោក	**មាក ភាមេរ៉ាន**	ព្រឹទ្ធបុរសមហាវិទ្យាល័យវិទ្យាសាស្ត្រនៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ
៣. លោកបណ្ឌិត	**ជ័យ ចាន់រឿន**	ព្រឹទ្ធបុរសរងមហាវិទ្យាល័យវិទ្យាសាស្ត្រនៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ
៤. លោកបណ្ឌិត	**ម៉ម សុជាតិ**	ព្រឹទ្ធបុរសរងមហាវិទ្យាល័យអប់រំនៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ
៥. លោក	**សុត វិសាល**	ប្រធានដេប៉ាតឺម៉ង់សិក្សាអប់រំនៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ
៦. លោកបណ្ឌិត	**ឃុន គឹមលាង**	ប្រធានដេប៉ាតឺម៉ង់រូបវិទ្យានៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ
៧. លោកស្រីបណ្ឌិត	**ស៊ូ កល្យាណ**	អនុប្រធានដេប៉ាតឺម៉ង់រូបវិទ្យានៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ
៨. លោក	**ហង់ ស៊ីម**	សាស្ត្រាចារ្យដេប៉ាតឺម៉ង់រូបវិទ្យានៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ
៩. លោក	**ដួង ប៉េងអាន**	អ្នកសម្របសម្រួលកម្មវិធីមធ្យមសិក្សា មហាវិទ្យាល័យអប់រំ
១០. កញ្ញា	**ហុង ឡៃហៀក**	បុគ្គលិកមហាវិទ្យាល័យអប់រំនៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ
១១. លោក	**សើ ពន្លក**	បុគ្គលិកមហាវិទ្យាល័យអប់រំនៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ

៣. គណៈកម្មការត្រួតពិនិត្យ និងកែលម្អ

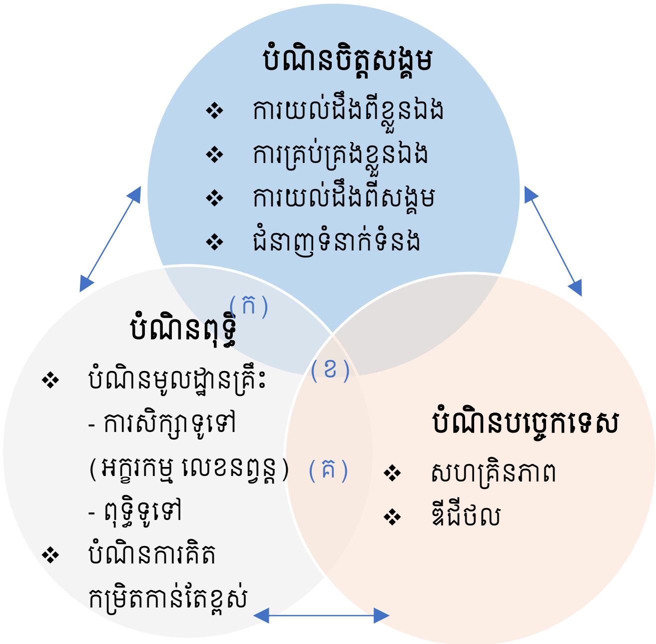
១. លោកបណ្ឌិត	**សំអោ អឡារតន៍**	អគ្គនាយករង អគ្គនាយកដ្ឋានគោលនយោបាយ និងផែនការ
២. លោក	**ព្រីង មរកត**	ប្រធាននាយកដ្ឋានមធ្យមសិក្សា
៣. លោក	**ង៉ោ ប៉េងឡុង**	ប្រធាននាយកដ្ឋានបណ្តុះបណ្តាល និងវិក្រឹត្យការ
៤. ឯកឧត្តមបណ្ឌិត	**សិត សេង**	នាយកវិទ្យាស្ថានគរុកោសល្យរាជធានីភ្នំពេញ
៥. លោកបណ្ឌិត	**ឈុក ច័ន្ទនាយ៉ា**	អនុប្រធាននាយកដ្ឋានបណ្តុះបណ្តាល និងវិក្រឹត្យការ
៦. លោក	**កែវ សារ៉ាត់**	ទីប្រឹក្សាបច្ចេកទេសគម្រោងកែលម្អការអប់រំចំណេះទូទៅ

៤. ការរិកុំព្យូទ័រ

១. លោក	**ម៉ៅ ម៉ារ៉ាឌី**	បុគ្គលិកមហាវិទ្យាល័យអប់រំនៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ
២. លោក	**ឧន សំណាង**	បុគ្គលិកមហាវិទ្យាល័យអប់រំនៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ

លទ្ធផលសិក្សារំពឹងទុក

ការសិក្សាក្នុងកម្មវិធីនេះគឺផ្តោតលើប្រតិបត្តិជាក់ស្តែងរបស់អ្នកសិក្សាដែលអនុវត្តផ្ទាល់នៅសាលារៀន។ ទាំងអ្នកសិក្សា និងសិស្ស (ដែលអ្នកសិក្សានឹងធ្វើការជាមួយផ្ទាល់) ចាំបាច់មាន (១) បំណិនចិត្តសង្គម (២) បំណិនពុទ្ធិ និង (៣) បំណិនបច្ចេកទេស ជាមូលដ្ឋាន (ដូចក្នុងរូបទី១)។ កញ្ចប់សមត្ថភាពទាំងបីខាងដើមនឹងជួយឱ្យអ្នកសិក្សា អភិវឌ្ឍបំណិនចិត្តសង្គម បំណិនពុទ្ធិ និងពង្រឹងសមត្ថភាពផ្នែក (ក)ការសម្រេចចិត្ត ទំនាក់-ទំនង សេចក្តីអំណត់ ទឹកចិត្តអាណិតអាសូរ និងការគ្រប់គ្រងខ្លួនឯង ថែមទាំងអាចអនុវត្តការបង្រៀនមុខវិជ្ជា ឯកទេសរូបវិទ្យាប្រកបដោយវិជ្ជាជីវៈ និងនវានុវត្តន៍ដោយប្រើប្រាស់ឧត្តមានុវត្តន៍ផ្សេងៗ (ខ) ការដោះស្រាយបញ្ហា និង ការរៀបចំនិងការចាត់ចែង (គ) បច្ចេកទេសកម្រិតមធ្យម និងកម្រិតខ្ពស់។



រូបភាពទី១
ប្រភព៖ WDR2018 (p.103)

ដោយឡែក សម្រាប់អ្នកសិក្សាកម្មវិធីនេះផ្ទាល់ នឹងទទួលបាន៖

(១) ចំណេះដឹងឯកទេសរូបវិទ្យាកម្រិតបរិញ្ញាបត្រ

- ❖ អគ្គិសនីទូទៅ
- ❖ មេកានិច
- ❖ ទែម៉ូឌីណាមិច
- ❖ រលក និងអុបទិច
- ❖ ពិសោធន៍រូបវិទ្យា
- ❖ ចិត្តសង្គម ភាពជាអ្នកដឹកនាំ និងគ្រប់គ្រង
- ❖ សន្លឹកកិច្ចការស្វ័យសិក្សានៅមធ្យមសិក្សា
- ❖ ការសរសេរ និងការពារឯកសារជំនួយស្មារតីមុខវិជ្ជាឯកទេសរូបវិទ្យា

(២) ចំណេះដឹងវិធីគរុកោលស្យ សាស្ត្របង្រៀន និងការអប់រំរូបវិទ្យាកម្រិតមធ្យមសិក្សា

- វិធីសាស្ត្របង្រៀន
- វិធីសាស្ត្រវាយតម្លៃ
- ការស្រាវជ្រាវប្រតិបត្តិ
- ប្រឹក្សាគរុកោសល្យ
- បំណិនឌីជីថលសម្រាប់ការអប់រំ

(៣) ហ្វឹកហាត់កម្មសិក្សាគរុកោលស្យ និងការអនុវត្តជាក់ស្តែង

- អនុវត្តស្តង់ដា នៃយុទ្ធសាស្ត្រសហគមន៍សាលារៀន
- ការអនុវត្តកម្មវិធីស្វ័យសិក្សារូបវិទ្យា ពីទីថ្នាក់៧-ទី១២
- របាយការណ៍នៃការអនុវត្តស្តង់ដា នៃយុទ្ធសាស្ត្រសហគមន៍សាលារៀន

លទ្ធផលសិក្សារំពឹងទុកសម្រាប់បរិញ្ញាបត្រអប់រំវិជ្ជាជីវៈគ្រូបង្រៀននេះ ត្រូវបានកំណត់ដូចខាងក្រោម៖

វិជ្ជាសម្បទា

PLO1- ពន្យល់អំពីទ្រឹស្តី និងគោលការណ៍នៃការអប់រំក្នុងបរិបទសកលលោក និងបរិបទ ប្រទេសដើម្បីឆ្លុះបញ្ចាំងទៅនឹងការអនុវត្តជាក់ស្តែងនៃការបង្រៀន។

PLO2- បកស្រាយអំពីដំណើរការអនុវត្តកិច្ចការសម្រាប់ការបង្វឹកលើការរៀបចំកម្មវិធីសិក្សា និងការបង្រៀនរូបវិទ្យាប្រកបដោយប្រសិទ្ធភាព។

បំណិនសម្បទា

PLO3- អនុវត្តបំណិនចិត្តសង្គម និងបច្ចេកវិទ្យាឌីជីថលសម្រាប់បង្កើនការប្រាស្រ័យទាក់ទងគ្នាក្នុងការងារ និងជីវភាពប្រកបដោយវិជ្ជាជីវៈ និងដោះស្រាយបញ្ហាប្រកបដោយភាពច្នៃ ប្រឌិត និងការទទួលខុសត្រូវ។

PLO4- បង្កើតគន្លឹះ និងទម្រង់សម្រាប់ដឹកនាំ និងគ្រប់គ្រងការបង្រៀនដោយផ្តោតលើផលសម្រេចនៃការសិក្សារបស់សិស្សឆ្ពោះទៅរកស្តង់ដាសាលារៀនមានប្រសិទ្ធភាព និងនិរន្តភាពសាលារៀនតាមរយៈការសិក្សា ការអនុវត្តជាក់ស្តែង និងការស្រាវជ្រាវ។

PLO5- អនុវត្តការងារអភិវឌ្ឍកម្មវិធីសិក្សា ការរៀននិងការបង្រៀនរូបវិទ្យា និងការសិក្សាបែបគម្រោងភ្ជាប់នឹងបំណិនរកចំណូលសម្រាប់សាលារៀនប្រកបដោយក្រមសីលធម៌វិជ្ជាជីវៈ។

ចរិយាសម្បទា

PLO6- អភិវឌ្ឍឥរិយាបថវិជ្ជមាន និងវប្បធម៌រៀនពេញមួយជីវិតសម្រាប់បំពេញការងារ និងទាក់ទងជាមួយអ្នកដទៃប្រកបដោយគុណតម្លៃ មនុស្សធម៌ សាមគ្គីភាព និងការចែករំលែកគ្នា។

PLO7- បង្កើត/បង្ហាញការដឹកនាំបណ្តាញសម្រាប់កសាងភ្នាក់ងារពង្រីកឧត្តមានុវត្តន៍សម្រាប់ការរៀន និងការបង្រៀន។

សម្គាល់៖ Program Learning Outcome (PLO) លទ្ធផលសិក្សាកម្មវិធីអប់រំ

កញ្ចប់សមត្ថភាព និង រចនាសម្ព័ន្ធកម្មវិធីសិក្សា

កម្មវិធីបរិញ្ញាបត្រអប់រំវិជ្ជាជីវៈគ្រូបង្រៀននេះ តម្រូវឱ្យអ្នកសិក្សាសិក្សាចំនួន ៦៣ ក្រេឌីតដែលមានរយៈពេលចន្លោះពី ១២ ទៅ ១៨ខែ។ ការសិក្សានិងធ្វើឡើងតាមរយៈការរៀនពីចម្ងាយ (ភាគច្រើនចន្លោះពី ៦០% ទៅ ៧០%) និងសិក្សាផ្ទាល់នៅសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញនិង សាលាហាត់ការ (ភាគតិចចន្លោះពី ៤០% ទៅ ៣០%)។ ការសិក្សាផ្តោតលើបណ្តុំមុខវិជ្ជា (១)ចំណេះដឹងឯកទេសកម្រិតបរិញ្ញាបត្រ (៣៦ ក្រេឌីត) (២)ចំណេះដឹងគរុកោសល្យ វិធីសាស្រ្តបង្រៀន និងការអប់រំមធ្យមសិក្សា (១២ (+៣) ក្រេឌីត) (៣) ហ្វឹកហាត់កម្មសិក្សាគរុកោសល្យ និងការអនុវត្តជាក់ស្តែង(១២ ក្រេឌីត)។ បន្ថែមពីលើនេះទៀតអ្នកសិក្សាត្រូវអនុវត្តខ្លឹមសារមេរៀនដែលបានសិក្សាក្នុងកម្មវិធីនៅសាលាសាមីផ្ទាល់តែម្តងដោយមានការណែនាំពីគ្រូបង្វឹក ប្រឹក្សាគរុកោសល្យ គ្រូបង្រៀននៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ និងមន្ត្រីអប់រំមកពីនាយកដ្ឋានជំនាញផ្សេងៗរបស់ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡាដែលមានបទពិសោធន៍អនុវត្តជាក់ស្តែងកន្លងមក ។

បណ្តុំមុខវិជ្ជា	ចំនួនក្រេឌីត
(១)ចំណេះដឹងឯកទេសកម្រិតបរិញ្ញាបត្រ (៦០%)	៣៦
(២)ចំណេះដឹងគរុកោសល្យ វិធីសាស្រ្តបង្រៀន និងការអប់រំមធ្យមសិក្សា (២០%)	១២ (+៣)
(៣)ហ្វឹកហាត់កម្មសិក្សាគរុកោសល្យ និងការអនុវត្តជាក់ស្តែង (២០%)	១២
សរុប	៦០ (+៣)

សម្គាល់៖ *សម្រាប់កញ្ចប់សមត្ថភាពចំណេះដឹងគរុកោសល្យ វិធីសាស្រ្តបង្រៀន និងការអប់រំមធ្យមសិក្សាបានបន្ថែមមុខវិជ្ជាបំណិនឌីជីថលសម្រាប់ការអប់រំចំនួន ៣ក្រេឌីត*

លក្ខណៈទូទៅនៃមុខវិជ្ជាសិក្សា

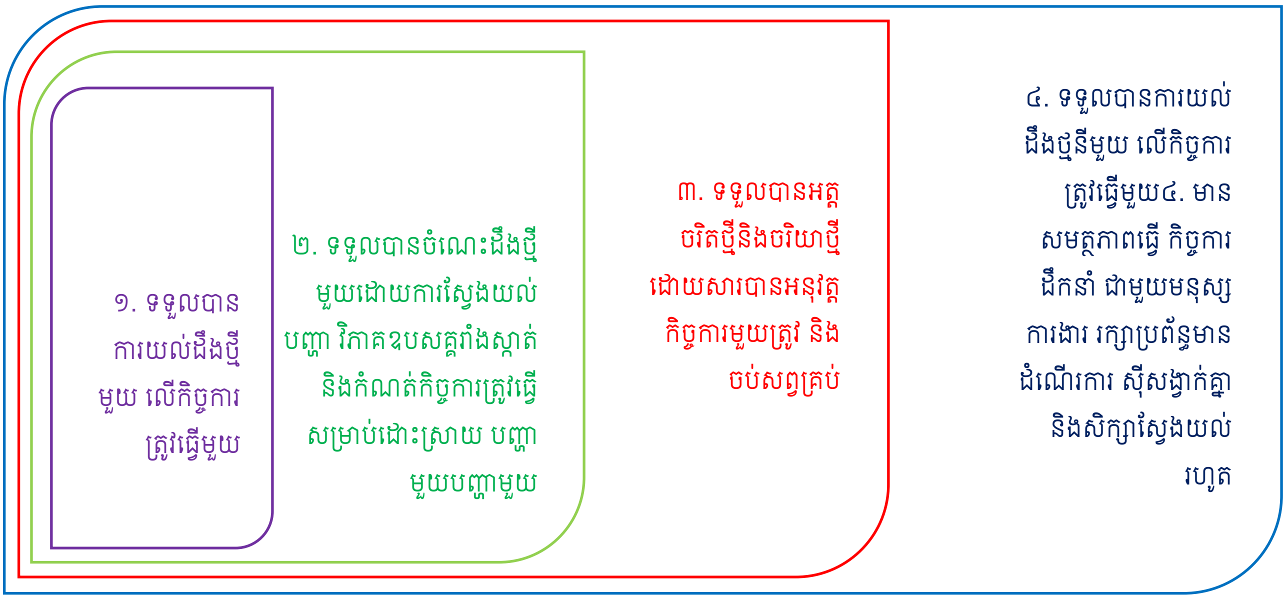
មុខវិជ្ជាសិក្សាសម្រាប់កម្រិតបរិញ្ញាបត្រអប់រំនេះនឹងជួយឱ្យអ្នកសិក្សាបំពេញកញ្ចប់សមត្ថភាពដូចខាងក្រោម ដើម្បីឆ្លើយតបនឹងលទ្ធផលសិក្សាកម្មវិធីអប់រំហើយឱ្យអ្នកសិក្សាមានសមត្ថភាពសម្រាប់បំពេញការងារប្រកបដោយវិជ្ជាជីវៈ។

បណ្តុំមុខវិជ្ជា	មុខវិជ្ជាសិក្សា	ក្រេឌីត
(១)ចំណេះដឹងឯកទេសកម្រិតបរិញ្ញាបត្រ (៦០%)	អគ្គិសនីទូទៅ	៣
	មេកានិច	៣
	ទែម៉ូឌីណាមិច	៣
	រលក និងអុបទិច	៣
	ពិសោធន៍រូបវិទ្យា	៣
	ការអនុវត្តសន្លឹកកិច្ចការរូបវិទ្យាសម្រាប់សិស្សស្វ័យសិក្សាកម្រិត១ (ចងចាំ)	៣
	ការអនុវត្តសន្លឹកកិច្ចការរូបវិទ្យាសម្រាប់សិស្សស្វ័យសិក្សាកម្រិត២ (យល់ដឹង)	៣
	សន្លឹកកិច្ចការរូបវិទ្យាសម្រាប់សិស្សស្វ័យសិក្សាកម្រិត៣ (ហ្វឹកហាត់)	៣
	សន្លឹកកិច្ចការរូបវិទ្យាសម្រាប់សិស្សស្វ័យសិក្សាកម្រិត៤ (វាយតម្លៃ)	៣
	ការសរសេរ និងការពារឯកសារជំនួយស្មារតីមុខវិជ្ជាឯកទេស	៩
(៣)ចំណេះដឹងគរុកោសល្យ វិធីសាស្រ្តបង្រៀន និង ការអប់រំមធ្យមសិក្សា (២០%)	វិធីសាស្រ្តបង្រៀន បត់បែនតាមសមត្ថភាពសិស្ស និងទស្សនទានអប់រំថ្មីៗ	៣
	ប្រឹក្សា និងហ្វឹកហ្វឺនគរុសល្យលើយុទ្ធសាស្រ្តសហគមន៍សាលារៀន	៣
	មូលដ្ឋានគ្រឹះវង្វាយតម្លៃអប់រំ	៣

	មូលដ្ឋានគ្រឹះនៃការស្រាវជ្រាវប្រតិបត្តិ	៣
	បំណិនឌីជីថលសម្រាប់ការអប់រំ *	៣
(៤)ហ្វឹកហាត់កម្មសិក្សាគរុកោសល្យ និងការអនុវត្តជាក់ស្តែង (២០%)	ការអនុវត្ត ស្តង់ដាយុទ្ធសាស្ត្រសហគមន៍សាលារៀន (ស្តង់ដាទី១)	៣
	ការអនុវត្ត ស្តង់ដានៃយុទ្ធសាស្ត្រសហគមន៍សាលារៀន (ស្តង់ដាទី២)	៦
	របាយការណ៍និងការការពារស្តីពីការអនុវត្តស្តង់ដាយុទ្ធសាស្ត្រ សហគមន៍សាលារៀន	៣
សរុប		៦៣

លំហូរបង្រៀន និងរៀន

លំហូរបង្រៀននិងរៀន ១មេរៀន ឬកិច្ចការមួយ រួមជាមួយបំណិនមួយ និងចរិយាមួយ



ការវាយតម្លៃលើការសិក្សា

ការវាយតម្លៃលើការសិក្សារបស់អ្នកសិក្សាគឺផ្តោតលើលទ្ធផលសិក្សាជាគោល។ ការវាយតម្លៃលើការសិក្សាមានបីដំណាក់កាលធំៗ គឺ (១) ការវាយតម្លៃលើការសិក្សាមុខវិជ្ជា (២) ការវាយតម្លៃលើការសរសេរ ឯកសារជំនួយស្មារតីមុខវិជ្ជាឯកទេស និង (៣) ការវាយតម្លៃសរុបដោយពិនិត្យលើការបំពេញគ្រប់លក្ខខណ្ឌសម្រាប់បញ្ចប់ការសិក្សា។

៦.៤.១ គោលការណ៍វាយតម្លៃ

គោលការណ៍រួមសម្រាប់ការវាយតម្លៃលើការសិក្សារបស់អ្នកសិក្សាមានដូចតទៅ៖

១) អ្នកសិក្សាតម្រូវឱ្យមានវត្តមានក្នុងការសិក្សាតាមមុខវិជ្ជានីមួយៗ មិនតិចជាង៧០%។ ក្នុងករណីអ្នកសិក្សាមានវត្តមានតិចជាង៧០% នឹងមិនត្រូវបានអនុញ្ញាតឱ្យប្រឡងបញ្ចប់មុខវិជ្ជានោះទេ

២) ក្នុងករណីដែលអ្នកសិក្សាធ្លាក់មុខវិជ្ជាណាមួយក្នុងឆមាស នឹងមិនអនុញ្ញាតឱ្យបន្តការសិក្សាទៅឆ្នាំបន្ទាប់ និងប្រឡងបញ្ចប់ឡើយ

៣) អ្នកសិក្សាទាំងអស់ត្រូវធ្វើកិច្ចការស្រាវជ្រាវសំខាន់ៗតាមមុខវិជ្ជានីមួយៗ និងប្រគល់ជូនគ្រូឧទ្ទេសតាមមុខវិជ្ជាដែលបានកំណត់

៤) អ្នកសិក្សាត្រូវប្រឡងបញ្ចប់ការសិក្សាដែលធ្វើឡើងបន្ទាប់ពីចប់ធមាសនីមួយៗ តាមការកំណត់ក្នុងកម្មវិធីសិក្សា

៥) អ្នកសិក្សាត្រូវចងក្រងឯកសារវឌ្ឍនភាពនៃកិច្ចការស្លលរួមមានការហាត់ការ និងកម្មសិក្សាដែលផ្តោតលើ (ក) សកម្មភាពប្រតិបត្តិ (ខ) លទ្ធផលដែលសម្រេចបាន និង (គ) ការឆ្លុះបញ្ចាំង និងមេរៀនបទពិសោធន៍ និង

៦) អ្នកសិក្សាត្រូវតែជាប់មធ្យមភាគនៃការសិក្សាមុខវិជ្ជានិងការធ្វើកម្មសិក្សា ដើម្បីទទួលការអនុញ្ញាតឱ្យការពារឯកសារជំនួយស្មារតីមុខវិជ្ជាឯកទេស។

ការផ្តល់ពិន្ទុ និងប្រព័ន្ធចំណាត់ថ្នាក់

អ្នកសិក្សាអាចទទួលពិន្ទុចាប់ពី 00 ដល់ 100 ទៅតាមការវាយតម្លៃផ្អែកលើលក្ខណៈវិនិច្ឆ័យដែលបានកំណត់ក្នុងការសិក្សាមុខវិជ្ជា ការបំពេញកម្មសិក្សា និងការសរសេរនិងការការពារឯកសារជំនួយស្មារតីមុខវិជ្ជាឯកទេស។ ពិន្ទុដែលជាប់ត្រូវចាប់ផ្តើមពីមធ្យមភាគពិន្ទុ 50% ឬពិន្ទុនិទ្ទេស 2.00 ឡើងទៅ។

ពិន្ទុគឺកំណត់ពី 00.00 ដល់ 100 (មធ្យមភាគនៃពិន្ទុនិទ្ទេសសរុប ឬ Grade Point Average–GPA)។ រូបមន្តគណនារកមធ្យមភាគនៃពិន្ទុនិទ្ទេសសរុប (GPA) គឺមធ្យមភាគនៃពិន្ទុនិទ្ទេសសរុប (GPA) ស្មើផលបូកសរុបរវាងផលគុណនៃពិន្ទុនិទ្ទេស (Grade Point–P) និងតម្លៃក្រេឌីតដែលត្រូវយកនៃមុខវិជ្ជានីមួយៗ (Attempted Credit Value–C) ចែកនឹងផលបូកសរុបនៃតម្លៃក្រេឌីតដែលត្រូវយកគ្រប់មុខវិជ្ជា។

ប្រព័ន្ធចំណាត់ថ្នាក់កម្មវិធី គឺផ្អែកទៅលើតម្លៃនៃពិន្ទុអតិបរមា 100% និង 50% នៃពិន្ទុអប្បបរមា។ ប្រព័ន្ធដាក់ពិន្ទុនេះ ត្រូវបានបកប្រែទៅជា «ពិន្ទុជានិទ្ទេស» និង «ពិន្ទុជាតម្លៃលេខ» ដូចដែលពិពណ៌នាខាងក្រោម៖

ពិន្ទុជាភាគរយ%	និទ្ទេស	ពិន្ទុនិទ្ទេស	មូលវិចារណ៍
85%-100%	A	4.00	ល្អប្រសើរ
80%-84%	B+	3.50	ល្អណាស់
70%-79%	B	3.00	ល្អ
65%-69%	C+	2.50	ល្អបង្គួរ
50%-64%	C	2.00	មធ្យម
<49%	F	1.50	ធ្លាក់

៦.៥ គោលការណ៍ប្រតិបត្តិ

ដើម្បីធានានូវការផ្តល់សេវាអប់រំប្រកបដោយគុណភាព និងភាពស័ក្តិសិទ្ធិ មហាវិទ្យាល័យអប់រំនៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញអនុវត្តតាមគោលការណ៍ បទបញ្ញត្តិ និងបទដ្ឋានគតិយុត្តិរបស់សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ និងក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា ព្រមទាំងគោលការណ៍ច្បាប់នៃព្រះរាជាណាចក្រកម្ពុជា។

ជាមួយគ្នានេះដែរ អ្នកសិក្សាម្នាក់ៗ ត្រូវគោរពតាមបទបញ្ជាផ្ទៃក្នុងរបស់សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ និងឈរលើស្មារតីស្មោះត្រង់ ទទួលខុសត្រូវខ្ពស់ និងភាពម្ចាស់ការ និងគោលការណ៍សុចរិតភាពនៃការសិក្សា។ សម្រាប់គោលការណ៍សុចរិតភាពនៃការសិក្សា អ្នកសិក្សាម្នាក់ៗត្រូវបានវាយតម្លៃលើចំណុចសំខាន់ៗដូចខាងក្រោម៖

៦.៥.១ ការវាយតម្លៃលើវិន័យ សីលធម៌ ឥរិយាបថ និងអាកប្បកិរិយា

ការវាយតម្លៃលើវិន័យ សីលធម៌ ឥរិយាបថ និងអាកប្បកិរិយារបស់អ្នកសិក្សាម្នាក់ៗ ត្រូវបានប្រមូលផ្តុំលើការគោរពវិន័យ ចាត់តាំង ការមករៀនទៀងទាត់ ការយកចិត្តទុកដាក់ក្នុងការសិក្សា ការខិតខំស្រាវជ្រាវ ការអនុវត្តភារកិច្ច និងស្មារតីសាមគ្គីភាពនៅក្នុងថ្នាក់ ក្នុងគ្រឹះស្ថានសិក្សា និងក្រៅគ្រឹះស្ថានសិក្សា។ ការវាយតម្លៃលើវិន័យ សីលធម៌ ឥរិយាបថ និងអាកប្បកិរិយារបស់អ្នកសិក្សាម្នាក់ៗ ត្រូវបានធ្វើឡើងតាមរយៈយោបល់ឯកភាពពីមតិភាគច្រើនដាច់ខាតរបស់ក្រុមប្រឹក្សាវិន័យ ដោយផ្អែកលើលក្ខណសម្បត្តិជាក់ស្តែងរបស់អ្នកសិក្សាម្នាក់ៗ និងបទបញ្ជាផ្ទៃក្នុងរបស់សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ។

៦.៥.២ ការក្លែងបន្លំឯកសារ

អ្នកសិក្សាដែលក្លែងបន្លំឯកសារ នឹងត្រូវលុបឈ្មោះចេញពីបញ្ជីនិស្សិតដោយស្វ័យប្រវត្តិ ព្រមទាំងទទួលទោសតាមច្បាប់ជាធរមាន។ អ្នកសិក្សាត្រូវចាំថា ការលួចចម្លងស្នាដៃ ការលួចកម្មសិទ្ធិបញ្ញា និងគំនិតរបស់អ្នកដទៃគឺជាបទល្មើសសិក្សាធ្ងន់ធ្ងរដែលអាចឈានដល់ការបញ្ឈប់បុគ្គលដែលប្រព្រឹត្តបទល្មើសពីកម្មវិធី។ ត្រូវសម្រេចឱ្យធ្លាក់ជាស្ថាពរ បើអ្នកសិក្សារូបណាចម្លងដោយផ្ទាល់ពីអ្នកសិក្សាដទៃទៀត ឬប្រភពផ្សេងៗ ឬការប្រើសម្ភារៈ ឬឯកសារផ្សេងទៀត ដែលមិនត្រូវបានអនុញ្ញាតក្នុងការប្រឡង។

៦.៥.៣ ឯកសារជំនួយស្មារតី/របាយការណ៍/កិច្ចការស្រាវជ្រាវ

អ្នកសិក្សាត្រូវបង្ហាញនូវសុចរិតភាពនៃការស្រាវជ្រាវរបស់ខ្លួនឱ្យបានខ្ជាប់ខ្ជួន ចាប់តាំងពីពេលចូលរៀនរហូតដល់ចុងបញ្ចប់នៃវគ្គបណ្តុះបណ្តាល។ រាល់សំណេរការងារសិក្សាទាំងអស់ មិនត្រូវដកស្រង់គំនិត សរសេរ ឬចម្លងស្នាដៃផ្សេងៗរបស់អ្នកដទៃមកធ្វើជាគំនិត ជាស្នាដៃ ឬជាកម្មសិទ្ធិរបស់ខ្លួនដោយគ្មានការបញ្ជាក់ពីប្រភពច្បាស់លាស់នៃឯកសារយោង ឯកសារពិគ្រោះ ឬការអនុញ្ញាតពីម្ចាស់ប្រភព។

ក្នុងករណីរកឃើញមានការលួចចម្លងស្នាដៃអ្នកដទៃ អ្នកសិក្សានឹងត្រូវប្រឈមមុខចំពោះក្រុមប្រឹក្សា បច្ចេកទេស និងក្រុមប្រឹក្សាវិន័យរបស់មហាវិទ្យាល័យអប់រំ ឬសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ ដោយត្រូវទទួលពិន័យឱ្យរៀនត្រួតថ្នាក់ ឬអាចត្រូវបញ្ឈប់ពីកម្មវិធីដោយគ្មានសំណងប្រាក់សិក្សាដែលបានបង់រួចហើយ និងមិនមានការចេញលិខិតស្នាមបញ្ជាក់ការសិក្សាអ្វីដែរ។

សម្គាល់៖ កម្មវិធីបណ្តុះបណ្តាលសូមរក្សាសិទ្ធិក្នុងការកែប្រែការអនុវត្តជាក់ស្តែងឱ្យឆ្លើយតបទៅនឹង វឌ្ឍនភាពការរៀននិងបង្រៀន សមត្ថភាពរៀននិងការអនុវត្តជាក់ស្តែង និង ស្ថានភាពរៀននិងបង្រៀនជាក់ស្តែង ដើម្បីសម្រេចបានលទ្ធផលសិក្សាល្អបំផុត និងសម្រេចស្តង់ដាសហគមន៍សាលារៀននៃគម្រោងកែលម្អការអប់រំចំណេះទូទៅ (GEIP) ។

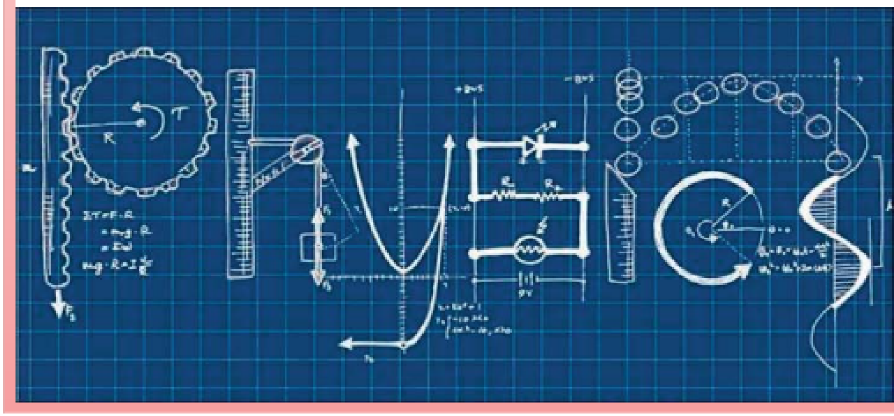
PHYSICS FOR SCIENTISTS AND ENGINEERS

សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទភ្នំពេញ

មហាវិទ្យាល័យវិទ្យាសាស្ត្រ

រូបវិទ្យាទូទៅ

រៀបរៀងដោយ ជ័យ ចាន់អឿន



មេរៀនទី១ ខ្នាត បរិមាណរូប និងវ៉ិចទ័រ

១.១ ទំហំ និងខ្នាត

ទំហំរូបវិទ្យាគ្រឹះក្នុងផ្នែកមេកានិចគឺម៉ាស ប្រវែង និងពេលវេលាដែលខ្នាតអន្តរជាតិ (SI)របស់វាគឺគីឡូក្រាម (kg) ម៉ែត (m) និងវិនាទី (s)។ ប៉ុន្តែទំហំគ្រឹះក្នុងផ្នែករូបវិទ្យាមាន ៧គឺ ប្រវែង ម៉ាស ពេលវេលា សីតុណ្ហភាព បរិមាណនៃសារធាតុ ចរន្តអគ្គិសនី និងលុយមីនុស៊ីធី ដែលខ្នាតរបស់វាត្រូវបានបង្ហាញដូចក្នុងតារាងទី១.១ និងតារាងទី១.២ បង្ហាញពីបុព្វបទនៃខ្នាតនីមួយៗ។

តារាងទី ១.១ ខ្នាតនៃទំហំរូបវិទ្យា

ទំហំ	ខ្នាត	និមិត្តសញ្ញា
ប្រវែង	ម៉ែត	m
ម៉ាស	គីឡូក្រាម	kg
ពេលវេលា	វិនាទី	s
សីតុណ្ហភាព	កែវិន	K
បរិមាណនៃសារធាតុ	ម៉ូល	Mol
ចរន្តអគ្គិសនី	អំពែ	A
លុយមីនុស៊ីធី	កង់ឌីឡា	Cd

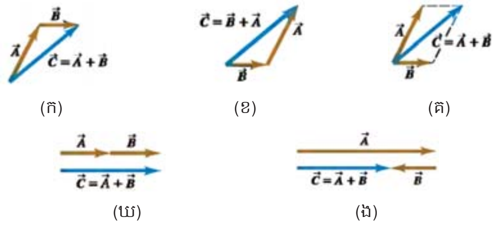
១.២ ទំហំស្កាលែ ទំហំវ៉ិចទ័រ និងផលបូកវ៉ិចទ័រ

ក្នុងការសិក្សារូបវិទ្យាទំហំត្រូវបានបែកចែកជាពីរផ្នែកគឺទំហំស្កាលែ និងទំហំវ៉ិចទ័រ ដែលទំហំស្កាលែជាទំហំដែលដែលគ្មានទិសដៅ និងទំហំវ៉ិចទ័រជាទំហំមាន ទិស ទិសដៅ និងម៉ូឌុល។ ដែលផលបូកវ៉ិចទ័រពីរឬច្រើនត្រូវបានបង្ហាញដូចខាងក្រោម។

តារាងទី១.២ បុព្វបទនៃខ្នាតនីមួយៗ

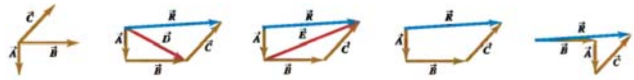
បុព្វបទ	និមិត្តសញ្ញា	មេគុណ	ឧទាហរណ៍
យ៉ុកតូ	y	10^{-24}	យ៉ុកតូហែក(yHz)
ហ្សិបតូ	z	10^{-21}	ហ្សិបតូវិនាទី(zs)
អាតូ	a	10^{-18}	អាតូម៉ែត(am)
ហ្វិមតូ	f	10^{-15}	ហ្វិមតូវិនាទី (fs)
ពីកូ	p	10^{-12}	ពីកូម៉ែត (pm)
ណាណូ	n	10^{-9}	ណាណូម៉ែត (nm)
មីក្រូ	μ	10^{-6}	មីក្រូក្រាម(μg)
មីលី	m	10^{-3}	មីលីអំពែ(mA)
សង់ទី	c	10^{-2}	សង់ទីម៉ែត(cm)
ដេស៊ី	d	10^{-1}	ដេស៊ីលីត (dL)
គីឡូ	k	10^{3}	គីឡូក្រាម (kg)
មេហ្គា	M	10^{6}	មេហ្គាហែក (GHz)
ជីហ្គា	G	10^{9}	ជីហ្គាម៉ែត (Gm)
តេរា	T	10^{12}	តេរាហែក (THz)
ពីតា	P	10^{15}	ពីតាម៉ែត(Pm)
អិចសា	E	10^{18}	អិចសាម៉ែត(Em)
ហ្សិតា	Z	10^{21}	ហ្សិតាម៉ែត(Zm)
យ៉ូតា	Y	10^{24}	យ៉ូតាម៉ែត(Ym)

រូបទី១.១ បង្ហាញពីផលបូកនៃពីរវ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ និង $\vec{B}$ ដែល $\vec{C}=\vec{A}+\vec{B}=\vec{B}+\vec{A}$



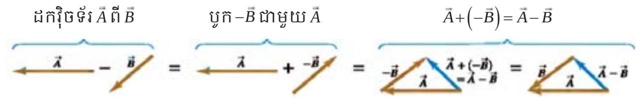
រូបទី១.១ ផលបូកនៃពីរវ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ និង $\vec{B}$

រូបទី១.២ បង្ហាញពីផលបូកវ៉ិចទ័របី $\vec{A}, \vec{B}$ និង $\vec{C}$ ដែល $\vec{R}=(\vec{A}+\vec{B})+\vec{C}=\vec{D}+\vec{C}$ និង $\vec{R}=\vec{A}+(\vec{B}+\vec{C})=\vec{A}+\vec{E}$



រូបទី១.២ ផលបូកបីវ៉ិចទ័រ $\vec{A}, \vec{B}$ និង $\vec{C}$

រូបទី១.៣ បង្ហាញពីផលដកនៃពីរវ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ និង $\vec{B}$

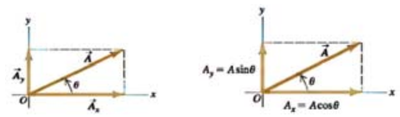


រូបទី១.៣ បង្ហាញពីផលដកនៃពីរវ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ និង $\vec{B}$

វិធីបូកវ៉ិចទ័រគេអាចបំបែកវ៉ិចទ័រនីមួយៗតាមកំប៉ូសង់ (x, y, z) ដូចរូបទី១.៤ ដែលវ៉ិចទ័រ $\vec{A}=\vec{A}_x+\vec{A}_y$ ហើយ $A_x=A\cos\theta$ និង $A_y=A\sin\theta$។

ម៉ូឌុលនៃវ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ ត្រូវបានគណនាតាមត្រីកោណកែង ដែល $A=\sqrt{A_x^2+A_y^2}$

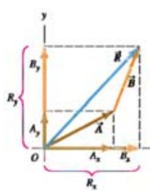
និង $\tan\theta=\frac{A_y}{A_x}\Rightarrow\theta=\tan^{-1}\left(\frac{A_y}{A_x}\right)$។



(ក) វ៉ិចទ័រតាមកំប៉ូសង់ x និង y　　**(ខ)** ម៉ូឌុលនៃវ៉ិចទ័រកំប៉ូសង់

រូបទី១.៤ បំបែកវ៉ិចទ័រតាមកំប៉ូសង់

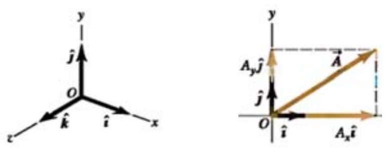
រូបទី១.៥ បង្ហាញពីផលបូកវ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ និង $\vec{B}$ តាមវ៉ិចទ័រកំប៉ូសង់ ដែល $\vec{R}=\vec{A}+\vec{B}, R_x=A_x+B_x$ និង $R_y=A_y+B_y$។



រូបទី១.៥ ផលបូកវ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ និង $\vec{B}$ តាមវ៉ិចទ័រកំប៉ូសង់

១.៣ វ៉ិចទ័រឯកតា

វ៉ិចទ័រឯកតាពិពណ៌នាទិសដៅក្នុងលំហ។ ម៉ូឌុលនៃវ៉ិចទ័រឯកតាស្មើ 1 ហើយវ៉ិចទ័រឯកតា $\hat{i}, \hat{j}$ និង $\hat{k}$ ត្រូវបានតាងតាមកំប៉ូសង់ x, y និង z រៀងគ្នា។



រូបទី១.៦ ការតាងវ៉ិចទ័រឯកតាតាមកំប៉ូសង់

វ៉ិចទ័រយើងអាចសរសេរ: $A = A_x\hat{i} + A_y\hat{j} + A_z\hat{k}$។ ពេលដែលយើងមានពីរវ៉ិចទ័រ A និង $\vec{B}$ នោះផលបូកនៃវ៉ិចទ័រទាំងពីរអាចសរសេរ:

$$\vec{A} = A_x\hat{i} + A_y\hat{j} + A_z\hat{k},\quad \vec{B} = B_x\hat{i} + B_y\hat{j} + B_z\hat{k} \text{ និង } \vec{R} = R_x\hat{i} + R_y\hat{j} + R_z\hat{k}$$

ដែល $R_x\hat{i} = (A_x + B_x)\hat{i},\ R_y\hat{j} = (A_y + B_y)\hat{j},\ R_z\hat{k} = (A_z + B_z)\hat{k}$

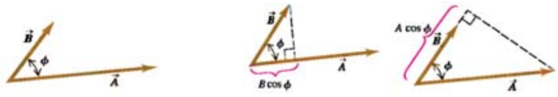
១.៤ ផលគុណស្កាលែ និងផលគុណវ៉ិចទ័រ

១.៤.១ ផលគុណស្កាលែ

ផលគុណស្កាលែនៃពីរវ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ និង $\vec{B}$ ជាទំហំស្កាលែ។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\vec{A}\cdot\vec{B} = AB\cos\phi$$

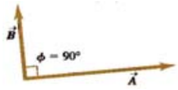
ដែល ϕ ជាមុំរវាងវ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ និង $\vec{B}$ ដូចបានបង្ហាញក្នុងរូបទី១.៧ ហើយតំលៃនៃផលគុណនេះអាចមានតំលៃវិជ្ជមាន សូន្យ ឬអវិជ្ជមាន (រូបទី១.៨)។



(ក) (ខ) (គ)

រូបទី១.៧ បង្ហាញពីការគណនាផលគុណស្កាលែនៃពីរវ៉ិចទ័រ

(ក) បើ$0° \le \phi < 90°$ នោះ $\vec{A}\cdot\vec{B} > 0$ (ខ)បើ$90° \le \phi < 180°$ នោះ $\vec{A}\cdot\vec{B} < 0$



(គ)បើ$\phi = 90°$ នោះ $\vec{A}\cdot\vec{B} = 0$

រូបទី១.៨ ស្កាលែនៃពីរវ៉ិចទ័រអាចវិជ្ជមាន សូន្យ រឺអវិជ្ជមាន

១.៤.២ គណនាផលគុណស្កាលែនៃពីរវ៉ិចទ័រតាមកំប៉ូសង់

បើយើងស្គាល់កំប៉ូសង់នៃវ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ និង $\vec{B}$ នោះផលគុណស្កាលែនៃពីរវ៉ិចទ័រនេះអាចគណនាដូចតទៅ: $\vec{A}\cdot\vec{B} = \left(A_x\hat{i} + A_y\hat{j} + A_z\hat{k}\right)\cdot\left(B_x\hat{i} + B_y\hat{j} + B_z\hat{k}\right)$

ដោយ $\hat{i}\cdot\hat{i} = \hat{j}\cdot\hat{j} = \hat{k}\cdot\hat{k} = (1)(1)\cos 0° = 1$ និង $\hat{i}\cdot\hat{j} = \hat{i}\cdot\hat{k} = \hat{j}\cdot\hat{k} = (1)(1)\cos 90° = 0$

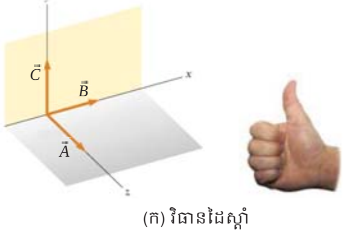
ដូចនេះយើងបាន: $\vec{A}\cdot\vec{B} = A_xB_x + A_yB_y + A_zB_z$

១.៤.៣ ផលគុណវ៉ិចទ័រនៃពីរវ៉ិចទ័រ

ផលគុណវ៉ិចទ័រនៃពីរវ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ និង $\vec{B}$ ជាវ៉ិចទ័រ $\vec{C}$ ដែលមានទិសកែងនឹងប្លង់បង្កើតដោយ $\vec{A}$ និង $\vec{B}$ ហើយទិសដៅរកតាមវិធានដៃស្តាំ (មើលរូប(ក))។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\vec{C} = \vec{A}\times\vec{B} \text{ និង } -\vec{C} = \vec{B}\times\vec{A}$$

ដែល $\left|\vec{A}\times\vec{B}\right| = AB\sin\phi$ និង ϕ ជាមុំរវាងវ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ និង $\vec{B}$ ដូចបានបង្ហាញក្នុងរូបទី១.៩។



(ក) វិធានដៃស្តាំ

(ខ) (គ)

រូបទី១.៩ បង្ហាញពីការគណនាម៉ូឌុលនៃផលគុណវ៉ិចទ័រ

១.៤.៤ គណនាផលគុណវ៉ិចទ័រតាមកំប៉ូសង់

បើយើងស្គាល់កំប៉ូសង់នៃវ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ និង $\vec{B}$ នោះផលគុណវ៉ិចទ័រនៃពីរវ៉ិចទ័រនេះអាចគណនាដូចតទៅ: $\vec{A}\times\vec{B}=\left(A_x\hat{i}+A_y\hat{j}+A_z\hat{k}\right)\times\left(B_x\hat{i}+B_y\hat{j}+B_z\hat{k}\right)$

ដោយ $\hat{i}\times\hat{i}=\hat{j}\times\hat{j}=\hat{k}\times\hat{k}=0$, $\hat{i}\times\hat{j}=-\hat{j}\times\hat{i}=\hat{k}$, $\hat{j}\times\hat{k}=-\hat{k}\times\hat{j}=\hat{i}$ និង $\hat{k}\times\hat{i}=-\hat{i}\times\hat{k}=\hat{j}$

ដូចនេះ យើងបាន: $\vec{A}\times\vec{B}=\left(A_yB_z-A_zB_y\right)\hat{i}+\left(A_zB_x-A_xB_z\right)\hat{j}+\left(A_xB_y-A_yB_x\right)\hat{k}$

ដែល $C_x=A_yB_z-A_zB_y$, $C_y=A_zB_x-A_xB_z$ និង $C_z=A_xB_y-A_yB_x$ ។

ផលគុណវ៉ិចទ័រនៃពីរ ឬច្រើនក៏អាចសរសេរក្រោមទំរង់ដេទែមីណង់ដែរ។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\vec{A}\times\vec{B}=\begin{vmatrix}\hat{i} & \hat{j} & \hat{k}\\ A_x & A_y & A_z\\ B_x & B_y & B_z\end{vmatrix}$$

មេរៀនទី២ ចលនាមួយទិសនៃចំនុចរូបធាតុ

២.១ បំលាស់ទី វ៉ិចទ័រល្បឿន និងល្បឿន

បន្ទាប់ពីចំនុចរូបធាតុមួយផ្លាស់ទីតាមអ័ក្ស x ពីទីតាំងដើម x_i ទៅទីតាំងស្រេចមួយ x_f នោះបំលាស់ទីរបស់វាគេកំណត់សរសេរ:

$$\Delta x\equiv x_f-x_i$$

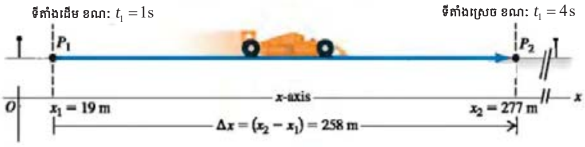
ដែលគេកំណត់ទីតាំង x មានតំលៃវិជ្ជមាននៅខាងស្តាំគល់អក្ស និងមានតំលៃអវិជ្ជមាននៅខាងឆ្វេងគល់អក្ស។

វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមនៃចំនុចរុបធាតុមួយផ្លាស់ទីក្នុងចន្លោះពេលមួយត្រូវបានកំណត់ដោយបំលាស់ទី Δx ចែកអោយរយៈពេល Δt ។ គេកំណត់សរសេរ:

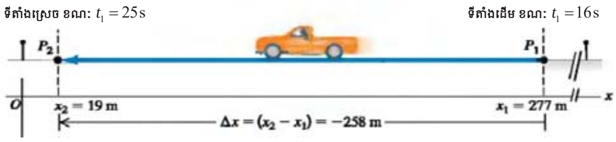
$$v_{av-x}\equiv\frac{x_2-x_1}{t_2-t_1}=\frac{\Delta x}{\Delta t}$$

ក្នុងរូបទី២.១ (ក)យើងបាន: $v_{av-x}\equiv\frac{x_2-x_1}{t_2-t_1}=\frac{277\,\text{m}-19\,\text{m}}{4\,\text{s}-1\,\text{s}}=86\,\text{m/s}$

ក្នុងរូបទី២.១ (ខ)យើងបាន: $v_{av-x}\equiv\frac{x_2-x_1}{t_2-t_1}=\frac{19\,\text{m}-277\,\text{m}}{25\,\text{s}-16\,\text{s}}=-29\,\text{m/s}$



(ក) បំលាសទី និងវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមរបស់រថយន្តវិជ្ជមាន

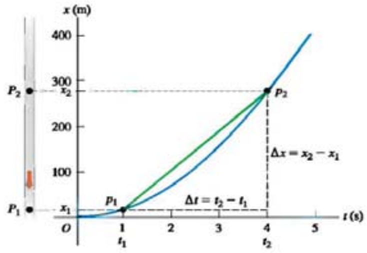


(ខ)បំលាសទីនិងវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមរបស់រថយន្តអវិជ្ជមាន

រូបទី២.១ បង្ហាញពីបំលាស់ទី និងវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមរបស់រថយន្ត

រូបទី២.២ បង្ហាញពីការគណនាវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមតាមក្រាមបំលាស់ទីជាអនុគមន៍នៃពេល។ វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមស្មើនឹងមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ p_1p_2។ ដូចនេះយើងបាន

$$v_{av-x} = \tan\alpha = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$



រូបទី២.២ទីតាំងជាអនុគមន៍នៃពេល

ល្បឿនមធ្យមស្មើនឹងចំងាយចរសរុបចែកអោយរយៈពេលសរុប គេកំណត់សរសេរ:

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

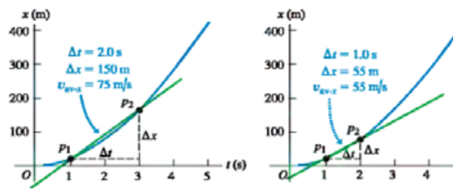
ដែល d ជាចំងាយចរសរុប និង t រយៈពេលចរសរុប។

២.២ ល្បឿនខណៈ និងល្បឿនខណៈ

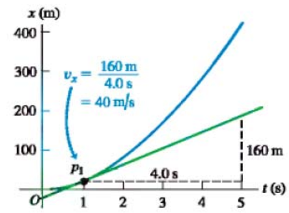
វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈនៃចំនុចរូបធាតុមួយត្រូវបានកំណត់ដោយលីមីតនៃ $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ កាលណា Δt ខិតទៅរកសូន្យ។ គេកំណត់សរសេរ:

$$v_x \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

ល្បឿនខណៈនៃចំនុចរូបធាតុមួយស្មើទៅនឹងទំហំ(ម៉ូឌុល)នៃវ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ។



(ក) គណនាវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យម



(ខ) គណនាវ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ

រូបទី២.៣ គណនាវ៉ិចទ័រល្បឿនតាមក្រាមបំលាស់ទីជាអនុគមន៍នៃទីតាំង

វ៉ិចទ័រល្បឿននៃចំនុចរូបធាតុមួយអាចគណនាតាមក្រាបទីតាំងអនុគមន៍នៃពេល។ ឧបមាថា យើងចង់រកវ៉ិចទ័រល្បឿនតាមក្រាបនៃរូបទី២.៣ ត្រង់ទីតាំង p_1។ តាមរូបទី២.៣ យើងអាចគណនាវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមក្នុងរយៈពេល Δt ដូចបានបង្ហាញក្នុងរូបទី២.៣(ក) និងរូបទី២.៣(ខ)។

រូបទី២.៣ (គ) បង្ហាញពីការគណនាវ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈត្រង់ទីតាំង p_1 ដោយធ្វើលីមិតវ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យមកាលណា $\Delta t \to 0$។ ពេល$\Delta t \to 0$ នោះ p_2 ខិតទៅរក p_1 បណ្តាលអោយមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ p_1p_2 ស្មើទៅនឹងមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ប៉ះទៅនឹងគន្លងនៃចលនាត្រង់ទីតាំងp_1។ ដូចនេះ នៅលើក្រាប ទំនាក់ទំនងទីតាំងជាអនុគមន៍នៃពេលនៃចលនាត្រង់ ***វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈនៅត្រង់ទីតាំងណាមួយស្មើទៅនឹងមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ប៉ះទៅនឹងគន្លងត្រង់ទីតាំងនោះ។***

២.៣ សំទុះមធ្យម និងសំទុះខណៈ

សំទុះមធ្យមនៃចំនុចរូបធាតុមួយត្រូវបានកំណត់ដោយបំរែបំរួលវ៉ិចទ័រល្បឿន Δv_x ចែកអោយចន្លោះពេល Δt នៃបំរែបំរួលនោះ។ គេកំណត់សរសេរ:

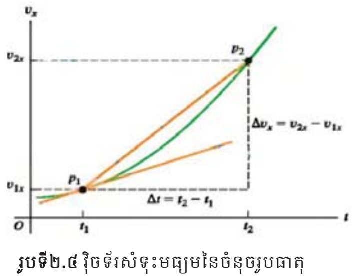
$$\bar{a}_x \equiv \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{xf} - v_{xi}}{t_f - t_i}$$

សំទុះ(សំទុះខណៈ)នៃចំនុចរូបធាតុមួយស្មើទៅនឹងលីមីតនៃផលធៀប $\frac{\Delta v_x}{\Delta t}$ ឬស្មើនឹងលីមីតនៃសំទុះមធ្យម ពេលដែល $\Delta t \to 0$។ គេកំណត់សរសេរ:

$$a_x \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dx}{dt}\right) = \frac{d^2x}{dt^2}$$

សំគាល់: ពេលដែលវ៉ិចទ័រល្បឿន និងវ៉ិចទ័រសំទុះមានទិសដៅដូចគ្នា នោះចំនុចរូបធាតុបង្កើនល្បឿន។ ផ្ទុយទៅវិញ ពេលវ៉ិចទ័រល្បឿន និងវ៉ិចទ័រសំទុះមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា នោះចំនុចរូបធាតុបន្ថយល្បឿន។

ជាទូទៅយើងក៏អាចគណនាវ៉ិចទ័រសំទុះមធ្យមដោយក្រាមវ៉ិចទ័រល្បឿនជាអនុគមន៍នៃពេលដែរ។ រូបទី២.៤ខាងក្រោមបង្ហាញពីការគណនាវ៉ិចទ័រសំទុះមធ្យមនៃចំនុចរូបធាតុមួយ។ មេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ p_1p_2 គឺជាវ៉ិចទ័រសំទុះមធ្យមនៃចំនុចរូបធាតុក្នុងចន្លោះពេល Δt និងមេគុណប្រាប់ទិសនៃបន្ទាត់ប៉ះទៅនឹងគន្លងត្រង់ទីតាំង p_1 គឺជាវ៉ិចទ័រសំទុះខណៈ ឬសំទុះខណៈ នៃចំនុចរូបធាតុត្រង់ទីតាំង p_1។



រូបទី២.៤ វ៉ិចទ័រសំទុះមធ្យមនៃចំនុចរូបធាតុ

២.៤ ចំនុចរូបធាតុផ្លាស់ទីដោយមានសំទុះ

ពេលដែលចំនុចរូបធាតុមួយផ្លាស់ទីដោយសំទុះថេរដូចរូបទី២.៥ នោះវ៉ិចទ័រសំទុះមធ្យមក្នុងចន្លោះពេល $\Delta t = t_2 - t_1$ ស្មើទៅនឹងសំទុះខណៈ។ ដូចនេះយើងបាន:

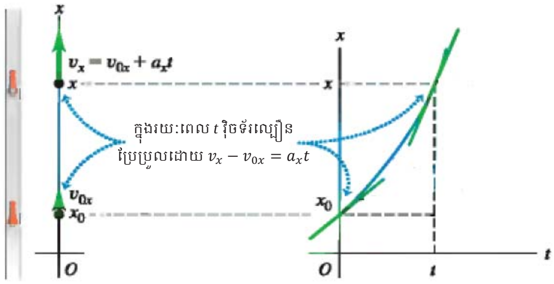
$$a_{av-x} = a_x = \frac{v_{2x} - v_{1x}}{t_2 - t_1}$$

ដោយសន្មត់ថា $t_1 = 0$ ហើយ t_2 ជារយៈពេល t នោះសមីការចលនារបស់វាត្រូវបានបង្ហាញតាមរូបទី២.៥ និងរូបទី២.៦។ តាមរូបយើងបាន:

សមីការចលនាដោយសំទុះ a_x ថេរ

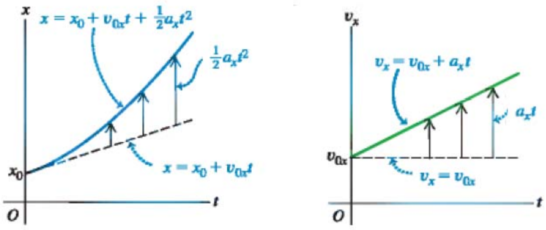
$$v_{xf} = v_{xi} + a_x t, \quad x_f = x_i + \bar{v}_x t = x_i + \frac{1}{2}(v_{xi} + v_{xf})t$$

$$x_f = x_i + v_{xi}t + \frac{1}{2}a_x t^2, \; v_{xf}^2 = v_{xi}^2 + 2a_x(x_f - x_i)$$



(ក) ចលនាត្រង់ដោយសំទុះថេរតាមអ័ក្សដេក (ខ) ក្រាបទីតាំង *(x-t)*

រូបទី២.៥ ក្រាបចលនាដោយសំទុះថេរ

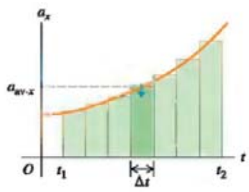


(ក)ក្រាប *x-t* នៃចំនុចរូបធាតុផ្លាស់ទីដោយសំទុះថេរ (ខ) ក្រាប v_x-t របស់វា

រូបទី២.៦ ក្រាបពិពណ៌នាចលនារបស់ចំនុចរូបធាតុផ្លាស់ទីដោយមានសំទុះ

ចំពោះចលនាដោយសំទុះ a_x ប្រែប្រួលដូចក្នុងរូបទី២.៧ យើងបានសមីការចលនារបស់វាដូចខាងក្រោម:

$$v_x = v_{ox} + \int_0^t a_x dt, \quad x = x_0 + \int_0^t v_x dt$$



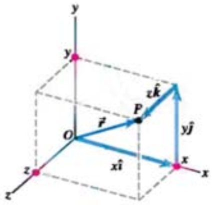
រូបទី២.៧ ក្រាប $a_x - t$ នៃចលនាដោយសំទុះប្រែប្រួល

មេរៀនទី៣ ចលនាតាមពីរ និងបីវិមាត្រ

៣.១ ទីតាំង វ៉ិចទ័រល្បឿន និងសំទុះ

វ៉ិចទ័រទីតាំង $\vec{r}$ នៃ P ក្នុងលំហជាវ៉ិចទ័រគូសចេញពីគល់អ័ក្សទៅចំនុច P (រូបទី៣.១)។ គេសរសេរ:

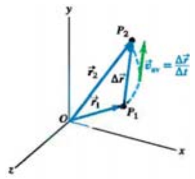
$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$



រូបទី៣.១ វ៉ិចទ័រទីតាំងនៃចំនុច P មួយក្នុងលំហ

វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យម $\vec{v}_{av}$ នៃចំនុចរូបធាតុផ្លាស់ទីពីទីតាំង P_1 ទៅ P_2 (រូបទី៣.២) ចំពោះបំលាស់ទី $\Delta\vec{r}$ ក្នុងរយៈពេល Δt គេកំណត់សរសេរ:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$



រូបទី៣.២ វ៉ិចទ័រល្បឿនមធ្យម

វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ $\vec{v}$ គឺជាដេរីវេនៃ $\vec{r}$ ធៀបនឹងពេល។ ដែលវ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈត្រង់ចំនុច P_1 និង P_2 ត្រូវបានបង្ហាញដូចរូបទី ៣.៣។

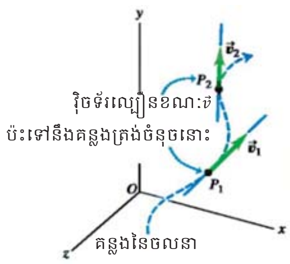
$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

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

$$v_y = \frac{dy}{dt}$$

$$v_z = \frac{dz}{dt}$$

ល្បឿនខណៈគឺជាម៉ូឌុលនៃវ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ $\vec{v}$។ វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ $\vec{v}$ នៃចំនុចរូបធាតុមួយគឺប៉ះទៅនឹងគន្លងនៃចលនាជានិច្ច។



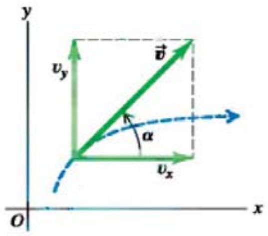
រូបទី៣.៣ វ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ

ម៉ូឌុលវ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈត្រូវបានគណនាតាមកំប៉ូសង់ដូចខាងក្រោម។ រូបទី៣.៤ បង្ហាញពីការបំបែកវ៉ិចទ័រតាមកំប៉ូសង់។

$$|\vec{v}| = v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

ទិសដៅនៃវ៉ិចទ័រល្បឿនត្រូវបានគណនាតាម:

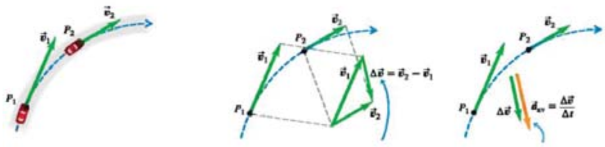
$$tan\alpha = \frac{v_y}{v_x}$$



រូបទី៣.៤ វ៉ិចទ័រល្បឿនតាមកំប៉ូសង់

វ៉ិចទ័រសំទុះមធ្យម $\vec{a}_{av}$ ក្នុងរយៈពេល Δt ស្មើនឹងបំរែបំរួលវ៉ិចទ័រល្បឿន $\Delta\vec{v}$ ចែកអោយចន្លោះពេល Δt នោះ (រូបទី៣.៥)។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\vec{a}_{av} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$



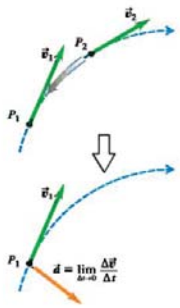
(ក)រថយន្តផ្លាស់ទីពី P_1ទៅ P_2 (ខ) $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ ទទួលបានតាមផលដកវ៉ិចទ័រ
(គ)វ៉ិចទ័រ $\vec{a}_{av} = \Delta\vec{v}/\Delta t$ តំណាងអោយវ៉ិចទ័រសំទុះមធ្យមរវាងចំនុច P_1 និងP_2
រូបទី៣.៥ វ៉ិចទ័រសំទុះមធ្យម

វ៉ិចទ័រសំទុះខណៈ $\vec{a}$ គឺជាដេរីវេវ៉ិចទ័រល្បឿនខណៈ $\vec{v}$ ធៀបទៅនឹងពេល។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

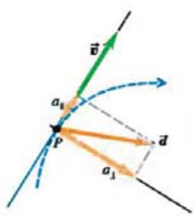
វ៉ិចទ័រសំទុះតាមកំប៉ូសង់ គេកំណត់សរសេរដូចខាងក្រោម:

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}, \qquad a_y = \frac{dv_y}{dt}, \qquad a_z = \frac{dv_z}{dt}$$

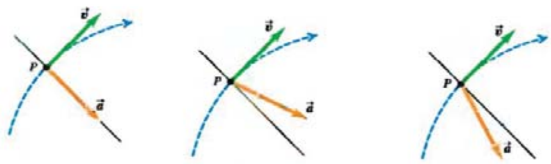


រូបទី៣.៦ វ៉ិចទ័រសំទុះខណៈ

សំគាល់: សំទុះផ្ដុំប៉ះមានឥទ្ធិពលលើល្បឿនរបស់ចំនុចរូបធាតុ និងសំទុះផ្ចិតកែងមានឥទ្ធិផលលើទិសដៅចលនាដែលបានបង្ហាញដូចរូបទី៣.៧។



រូបទី៣.៧ សំទុះត្រូវបានបំបែកជាសំទុះផ្ដុំប៉ះ និងសំទុះផ្ចិតកែង
ដែលឥទ្ធិផលនៃល្បឿនមកលើវ៉ិចទ័រសំទុះត្រូវបានបង្ហាញដូចរូបទី៣.៨។

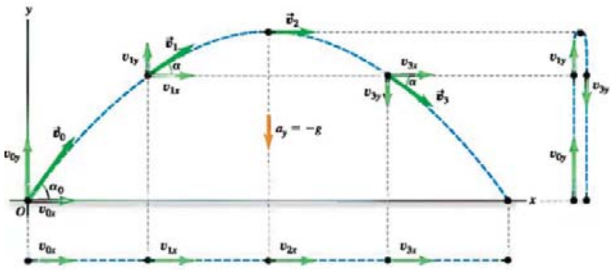


(ក) ល្បឿនថេរ (សំទុះផ្ចិតប៉ះស្មើសូន្យ)   (ខ) ល្បឿនកើនឡើង   (គ) ល្បឿនថយចុះ

រូបទី៣.៨ ឥទ្ធិផលនៃល្បឿនលើវ៉ិចទ័រសំទុះ

៣.២ ចលនាគ្រាប់បាញ់

ក្នុងចលនាគ្រាប់បាញ់គ្មានកំលាំងទប់នៃខ្យល់យើងបំបែកចលនាជាពីកំប៉ូសង់ គឺតាមកំប៉ូសង់ x (តាមអ័ក្សដេក) មានសំទុះ $a_x = 0$ និងចលនាតាមកំប៉ូសង់ y (តាមអ័ក្សឈរ)មានសំទុះ $a_y = -g$ ដូចរូបទី៣.៩។



រូបទី៣.៨ ចលនាគ្រាប់បាញ់

នោះយើងបានសមីការចលនាតាមអ័ក្សនិមួយៗដូចតទៅ:

សមីការចលនាតាមអ័ក្សដេក: ចលនាត្រង់ស្មើ (ព្រោះកំលាំងតាមអ័ក្សដេកស្មើសូន្យ)

$$v_x = v_{0x},\ x = x_0 + v_{0x}t,$$

$$x = v_0 \cos\alpha_0\ t$$

$$v_x = v_0 \cos\alpha_0$$

សមីការចលនាតាមអ័ក្សឈរ: ចលនាប្រែប្រួលស្មើ (ព្រោះរងកំលាំងទំនាញថេរ)

សមីការទីតាំង: $y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$

ដោយសន្មត់ថាទីតាំងដើមស្មើសូន្យ នោះយើងបាន:

$$y = v_0 \sin\alpha_0\ t - \frac{1}{2}gt^2$$

សមីការវ៉ិចទ័រល្បឿន: $v_y = v_{0y} - gt$

ដោយល្បឿនដើម $v_{0x} = v_0 \cos\alpha_0,\ v_{0y} = v_0 \sin\alpha_0$

នោះយើងបានសមីការវ៉ិចទ័រល្បឿន:

$$v_y = v_o \sin\alpha_0 - gt$$

កំពស់អតិបរិមាត្រូវបានគណនាពេលដែលល្បឿនតាមអ័ក្សឈរស្មើសូន្យ យើងបាន

$$h = \frac{v_i^2 \sin^2\theta_i}{2g}$$

ចំងាយធ្លាក់តាមអ័ក្សដេកត្រូវបានគណនាពេលដែលទីតាំងតាមអ័ក្សឈរស្មើសូន្យ យើងបាន:

$$R = \frac{v_i^2 \sin 2\theta_i}{g}$$

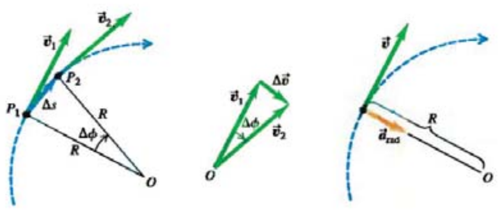
តាមសមីការខាងលើយើងឃើញថា R មានតំលៃអតិបរិមាពេលដែល $sin2\theta_i = 1$។ ដូចនេះ លុះត្រាតែ $\theta_i = 45°$។

ម៉ូឌុលនៃវ៉ិចទ័រទីតាំង ម៉ូឌុលវ៉ិចទ័រល្បឿន និងទិសដៅនៃល្បឿនត្រូវបានគណនា:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2},\ v = \sqrt{{v_x}^2 + {v_y}^2},\ \tan\alpha = \frac{v_y}{v_x}$$

៣.៣ ចលនាវង់ស្មើ និងវង់ប្រែប្រួល

ពេលចំនុចរូបធាតុមួយផ្លាស់ទីក្រោមគន្លងជារង្វង់កាំ R ដោយល្បឿនថេរ v (ចលនាវង់ស្មើ) នោះសំទុះរបស់វាមានទិសដៅចូលផ្ចិតរង្វង់ (រូបទី៣.៩។



(ក) បំលាស់ទី Δs ដោយ v ថេរ (ខ) $\Delta\vec{v}$ និងសំទុះមធ្យម (គ)សំទុះខណៈ

រូបទី៣.៩ ការគណនាបំរែបំរួលវ៉ិចទ័រល្បឿន សំទុះមធ្យម និងសំទុះខណៈពេលចំនុចរូបធាតុផ្លាស់ទីដោយល្បឿនថេរ

តាមរូបទី៣.៩ យើងបានម៉ូឌុលនៃវ៉ិចទ័រល្បឿនតាមត្រីកោនដូច។

$$\frac{|\Delta\vec{v}|}{v_1} = \frac{\Delta s}{R} \Rightarrow |\Delta\vec{v}| = \frac{\Delta s}{R} v_1$$

ម៉ូឌុលសំទុះមធ្យមក្នុងរយៈពេល Δt អាចគណនា:

$$a_{av} = \frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t} = \frac{v_1}{R}\frac{\Delta s}{\Delta t}$$

សំទុះខណៈត្រង់ចំនុច P_1 គឺជាលីមីតនៃសំទុះមធ្យមពេលដែលចំនុច P_2 ខិតជិត P_1។ គេកំណត់សរសេរ:

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{v_1}{R}\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{v_1}{R}\lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{v_1^2}{R}$$

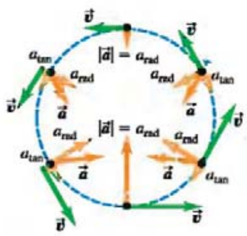
ដូចនេះសំទុះខណៈអាចសរសេរ:

$$a_r = \frac{v^2}{R}$$

ដោយដឹងថា $v = \frac{2\pi R}{T}$ ដូចនេះយើងបាន:

$$a = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

បើសិនជាល្បឿនមិនថេរដូចរូបទី៣.១០ (ចលនាវង់ប្រែប្រួល) នោះវ៉ិចទ័រសំទុះផ្ចិតកែងអាចសរសេរដូចរូបមន្តខាងលើ។



រូបទី៣.១០ ចំនុចរូបធាតុផ្លាស់ទីដោយល្បឿនប្រែប្រួល

ប៉ុន្តែសំទុះផ្ចិតប៉ះស្មើនឹងអត្រាប្រែប្រួលល្បឿន។ គេកំណត់សរសេរ:

$$a_r = \frac{v^2}{R} \text{ និង } a_t = \frac{d|\vec{v}|}{dt}$$

សំគាល់: $\frac{d|\vec{v}|}{dt}$ និង $\left|\frac{d\vec{v}}{dt}\right|$ មិនដូចគ្នាទេ។ $\frac{d|\vec{v}|}{dt}$ ជាសំទុះប៉ះ និង $\left|\frac{d\vec{v}}{dt}\right|$ ជាម៉ូឌុលនៃវ៉ិចទ័រសំទុះ។

ចំពោះចលនាវង់ស្មើ $|d\vec{v}/dt| = a_r = v^2/R$ និងចំពោះចលនាវង់ប្រែប្រួល

$$|d\vec{v}/dt| = \sqrt{a_r^2 + a_t^2}$$

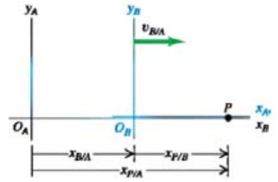
៣.៤ ល្បឿនធៀប

ពេលអង្គធាតុ P ផ្លាស់ទីធៀបនឹងអង្គធាតុ B ហើយអង្គធាតុ B ផ្លាស់ទីធៀបនឹងអង្គធាតុ A ហើយយើងតាងវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ P ធៀបនឹង B ដោយ $\vec{v}_{P/B}$ និងវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ B ធៀបនឹង A ដោយ $\vec{v}_{B/A}$ ដូចរូបទី៣.១១។ នោះយើងបាន:

$$x_{P/A} = x_{P/B} + x_{B/A}$$

បើវ៉ិចទ័រល្បឿនទាំងអស់នៅលើបន្ទាត់តែមួយ នោះយើងបាន:

$$\frac{dx_{P/A}}{dt} = \frac{dx_{P/B}}{dt} + \frac{dx_{B/A}}{dt} \text{ រឺ } v_{P/A-x} = v_{P/B-x} + v_{B/A-x}$$



រូបទី៣.១១ ចលនា P ធៀបនឹង B ហើយ B ធ្វើចលនាធៀបនឹង A

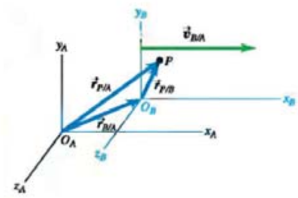
ចំពោះចលនាធៀបក្នុងលំហដូចរូបទី៣.១១ យើងបាន:

សមីការទីតាំងរបស់ចំនុចរូបធាតុក្នុងលំហ:

$$\vec{r}_{P/A} = \vec{r}_{P/B} + \vec{r}_{B/A}$$

សមីការវ៉ិចទ័រល្បឿន:

$$\vec{v}_{P/A} = \vec{v}_{P/B} + \vec{v}_{B/A}$$



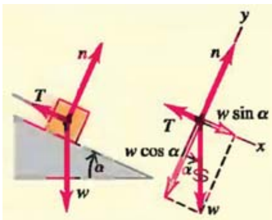
រូបទី៤.៥ ចលនាធៀបក្នុងលំហ

មេរៀនទី៤ ច្បាប់នៃចលនា

៤.១ អនុវត្តច្បាប់ទី១ញូតុន

ពេលអង្គធាតុមួយមានម៉ាស m ស្ថិតក្នុងលក្ខ័ណលំនឹងក្នុងតំរុយនិចលភាពមួយ (នៅស្ងៀម រឺផ្លាស់ទីដោយល្បឿនថេរ) នោះផលបូកវ៉ិចទ័រនៃកំលាំងមានអំពើលើវាត្រូវតែសូន្យ។ រូបទី៤.១បង្ហាញពីលំនឹងនៃដុំម៉ាសមួយនៅលើប្លង់ទេរ។ ដូចនេះយើងបាន:

$$\sum \vec{F} = 0,\ \sum \vec{F}_x = 0,\ \sum \vec{F}_y = 0$$



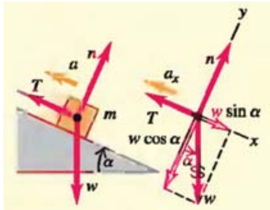
រូបទី៤.១ ដុំម៉ាសមួយនៅនឹងលើប្លង់ទេរ

៤.២ អនុវត្តច្បាប់ទី២ញូតុន

បើផលបូកវ៉ិចទ័រនៃកំលាំងមានអំពើលើអង្គធាតុមួយមិនសូន្យ។ នោះអង្គធាតុផ្លាស់ទីដោយមានសំទុះដូចរូបទី២.២។ តាមច្បាប់ទី២ញូតុនគេកំណត់សរសេរ:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a},\ \sum \vec{F}_x = m\vec{a}_x,\ \sum \vec{F}_y = m\vec{a}_y$$

ទំងន់ $\vec{w}$ អង្គធាតុមួយគឺជាកំលាំងទំនាញសាកលមានអំពើលើវាដោយផែនដី (អង្គធាតុនៅលើផែនដី)។ ម៉ូឌុលនៃទំងន់អង្គធាតុនៅត្រង់ទីតាំងណាមួយគឺជាផលគុណម៉ាស និងសំទុះទំនាញសាកល: $w = mg$

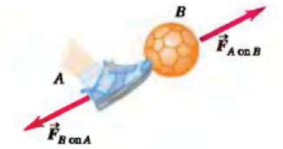


រូបទី៤.២ ដុំម៉ាសមួយរងកំលាំងមិនសូន្យ

៤.៣ ច្បាប់ទី៣ញូតុន

ពេលដែលអង្គធាតុពីរនៅក្បែរគ្នា វាមានអំពើលើគ្នាទៅវិញទៅមក ដែលកំលាំងទាំងពីរមានទំហំស្មើគ្នាតែមានទិសដៅផ្ទុយគ្នា។ គេបាន:

$$\vec{F}_{A\ on\ B} = -\vec{F}_{B\ on\ A}$$



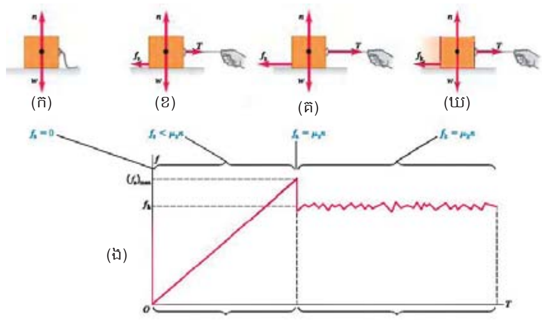
រូបទី៤.៣ A មានអំពើលើ B កំលាំង $\vec{F}_{A\ on\ B}$ ហើយ B មានអំពើលើ A $\vec{F}_{B\ on\ A}$

៤.៤ កំលាំងកកិត

ម៉ូឌុលនៃកំលាំងកកិតស្តាទិច: $f_s \le \mu_s n$

កំលាំងកកិតស៊ីនេទិច: $f_k = \mu_k n$

កំលាំងនេះត្រូវបានបង្ហាញតាមរូបទី៤.៤ដូចខាងក្រោម។

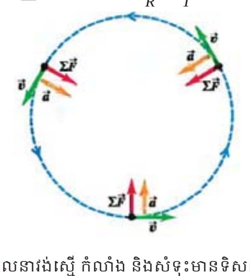


រូបទី៤.៤ (ក) (ខ) និង (គ)អង្គធាតុនៅស្ងៀម នោះកំលាំងកកិតស្តាទិចតូចជាងឬស្មើ $\mu_s n$ (ឃ) អង្គធាតុផ្លាស់ទីកំលាំងកកិតជាកកិតស៊ីនេទិចមានតំលៃស្មើនឹង $\mu_k n$ (ង) ក្រាបបង្ហាញពីកំលាំងកកិតជាអនុគមន៍នៃកំលាំងអនុវត្ត

៤.៥ កំលាំងក្នុងចលនាវង់

ចំពោះចលនាវង់ស្មើ វ៉ិចទ័រសំទុះមានទិសដៅចូលផ្ចិតនៃរង្វង់ជានិច្ច (រូបទី៤.៥) យើងបាន:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}, \qquad a_r = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$



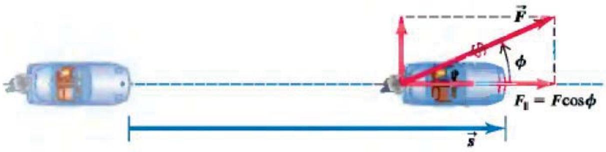
រូបទី៤.៥ ចលនាវង់ស្មើ កំលាំង និងសំទុះមានទិសដៅចូលផ្ចិត

មេរៀនទី៥ កម្មន្ត និងថាមពលស៊ីនេទិច

៥.១ កម្មន្តបំពេញដោយកំលាំង

ពេលកំលាំង $\vec{F}$ ថេរមានអំពើលើចំនុចរូបធាតុមួយ ដូចរូបទី៥.១ បណ្តាលអោយចំនុចរូបធាតុផ្លាស់ទីបាន $\vec{s}$ នោះកម្មន្តបំពេញដោយកំលាំងអាចសរសេរ:

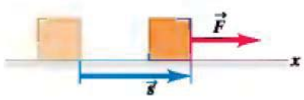
$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} = Fs\cos\phi$$



រូបទី៥.១ កម្មន្តបំពេញដោយកំលាំងថេរ

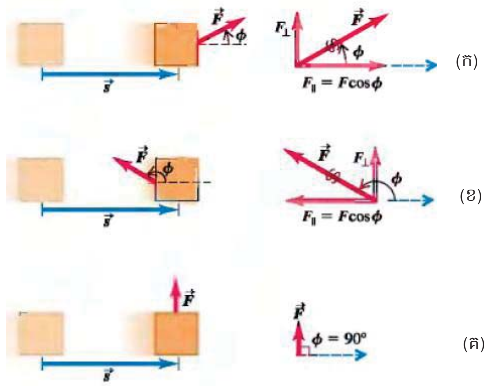
ចំពោះកំលាំង និងបំលាស់ទីមានទិសដៅដូចគ្នា យើងបាន កម្មន្តបំពេញដោយកំលាំងគឺ

$$W = Fs$$



រូបទី៥.២ កំលាំង និងបំលាស់ទីមានទិសដៅដូចគ្នា

ដោយកម្មន្តជាទំហំស្កាលែ ដូចនេះកម្មន្តអាចមានតំលៃវិជ្ជមាន អវិជ្ជមាន ឬសូន្យ។ រូបទី៥.៣ បង្ហាញពីតំលៃនៃកម្មន្តប្រែប្រួលតាមទិសដៅកំលាំង និងបំលាស់ទី។



រូបទី៥.៣ (ក) កម្មន្តមានតំលៃវិជ្ជមាន (ខ)កម្មន្តមានតំលៃអវិជ្ជមាន (គ)កម្មន្តសូន្យ

៥.២ ថាមពលស៊ីនេទិច

ថាមពលស៊ីនេទិច K នៃចំនុចរូបធាតុមួយស្មើនឹងកម្មន្តចាំបាច់ដើម្បីអោយចំនុចរូបធាតុធ្វើចលនាស្ទុះពីនៅស្ងៀមទៅមានល្បឿន v ។ វាក៏ស្មើនឹងកម្មន្តធ្វើអោយចំនុចរូបធាតុមួយកំពុងផ្លាស់ទីដោយល្បឿនvទៅឈប់។ តាមទ្រឹស្តីស៊ីនេម៉ាទិចយើងបាន:

$$v_2^2 = v_1^2 + 2a_x s \Rightarrow a_x = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2s}$$

$$F = ma_x = m\frac{v_2^2 - v_1^2}{2s}$$

$$Fs = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$
$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

(ក) ម៉ាសកើនពីរដង ថាមពលកើនពីរដង

(ខ) ល្បឿនកើនពីរដង ថាមពលកើនបួនដង

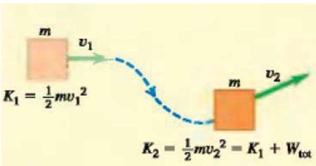
រូបទី៥.៤ ថាមពលស៊ីនេទិច

៥.៣ ទ្រឹស្តីកម្មន្ត - ថាមពល

ពេលកំលាំងថេរមួយមានអំពើលើចំនុចរូបធាតុមួយធ្វើអោយវាមានបំរែបំរួលល្បឿន ចំពោះបំលាស់ទីមួយ បំរែបំរួលថាមពលថាមពលស៊ីនេទិចស្មើនឹងកម្មន្តបំពេញដោយកំលាំងទាំងអស់មានអំពើលើវា។ យើងដឹងថា $Fs = W_{tot}$ ហើយ $\frac{1}{2}mv^2$ ជាថាមពលស៊ីនេទិច ដូចនេះយោងតាមសមីការខាងលើ យើងបាន:

$$W_{total} = K_2 - K_1 = \Delta K$$

ទំនាក់ទំនងនេះហៅថា ទ្រឹស្តីកម្មន្ត-ថាមពល ដែលអាចអនុវត្តបានទោះបីជាកំលាំងថេរឺកំលាំងប្រែប្រួលក៏ដោយ និងទោះបីជាគន្លងត្រង់រឺគន្លងកោងក៏ដោយ។ តែទំនាក់ទំនងនេះអនុវត្តបានចំពោះតែចំនុចរូបធាតុប៉ុន្នោះ។ រូបទី៥.៥ បង្ហាញទំនាក់ទំនងកម្មន្ត-ថាមពល។



រូបទី៥.៥ កម្មន្តសរុបស្មើនឹងផលបូកកម្មន្តធ្វើលើចំនុចរូបធាតុតាមគន្លង

៥.៤ កម្មន្តបំពេញដោយកំលាំងប្រែប្រួល ឬគន្លងកោង

កម្មន្តបំពេលដោយកំលាំងប្រែប្រួលចំពោះបំលាស់ទីត្រង់ (រូបទី៥.៦) ត្រូវបានគណនាដូចតទៅ:

កម្មន្តសរុបអាចសរសេរ:

$$W = F_{ax}\Delta x_a + F_{bx}\Delta x_b + \cdots$$

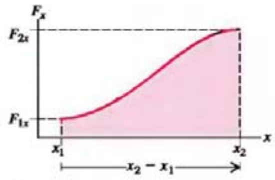
ដូចនេះយើងបាន:

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F_x dx$$

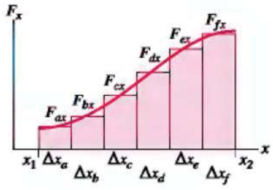
ចំពោះកំលាំងថេរ (រូបទី៥.៧) យើងបានកម្មន្ត បំពេញដោយកំលាំងអាចសរសេរ:

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F_x dx = F_x \int_{x_1}^{x_2} dx = F_x \quad x_2 - x_1$$

(ក) អង្គធាតុ ផ្លាស់ទីពី x_1 ទៅ x_2 ក្រោមអំពើនៃកំលាំងប្រែប្រួល

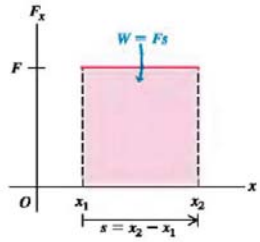


(ខ) ក្រាបកំលាំងប្រែប្រួលតាមទីតាំង



(គ) ក្រឡាផ្ទៃក្រោមខ្សែកោងជាកម្មន្តបំពេញដោយកំលាំង

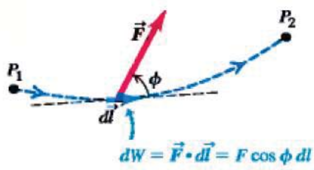
រូបទី៥.៦ កម្មន្តបំពេញដោយកំលាំងប្រែប្រួល



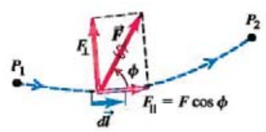
រូបទី៥.៧ កម្មន្តបំពេញដោយកំលាំងថេរ

កម្មន្តបំពេលលើចំនុចរូបធាតុមួយផ្លាស់ទីពី P_1ទៅ P_2 ក្រោមគន្លងកោងក្រោមអំពើនៃកំលាំងប្រែប្រួល (រូបទី៥.៧) គេកំណត់សរសេរ:

$$W = \int_{P_1}^{P_2} F\cos\phi\, dl = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}\cdot d\vec{l}$$



(ក) កម្មន្តបំពេញដោយបំលាស់ទីដ៏ខ្លី $\vec{dl}$



(ខ) មានតែកំលាំងប៉ះនឹងគន្លងដែលធ្វើកម្មន្ត

រូបទី៥.៨ ចំនុចរូបធាតុផ្លាស់ទីក្រោមគន្លងកោងពី P_1ទៅ P_2 ក្រោមអំពើនៃកំលាំងដែលប្រែប្រួលទាំងទំហំ និងទិសដៅ

ដើម្បីយួរដុំម៉ាសមួយក្នុងរយៈពេល 5វិនាទីW = 100J នោះអានុភាពអ្នកបញ្ចេញគឺ P= 20W

៥.៥ អានុភាព

នៅពេលដែលកម្មន្ត ΔW បានធ្វើក្នុងរយៈពេល Δt នោះកម្មន្តមធ្យមធ្វើក្នុងមួយខ្នាតពេល ឬអានុភាពមធ្យម P_{av} ត្រូវបានកំណត់សរសេរ:

អនុភាពមធ្យមស្មើនឹង ΔW ចែកអោយរយៈពេល: Δt

$$P_{av} = \frac{\Delta W}{dt}$$

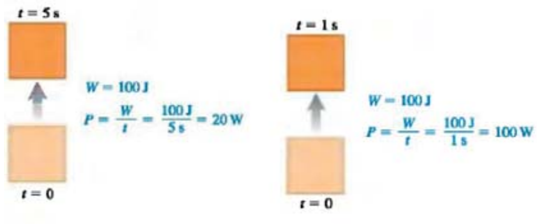
អនុភាពខណៈស្មើនឹងលីមិតអានុភាពមធ្យមពេល $\Delta t \to 0$

$$P = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta W}{dt}$$

ដោយ $P_{av} = \frac{\vec{F} \cdot \Delta \vec{S}}{\Delta t} = F \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} \cos\theta = F v_{av} \cos\theta$ ដូចនេះយើងបាន:

$$P = \lim_{\Delta t \to 0} F \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} \cos\theta = F \cdot v \cos\theta = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

រូបទី៥.៩បង្ហាញពីការគណនាអានុភាពដែលចេញពីកម្មន្ត។

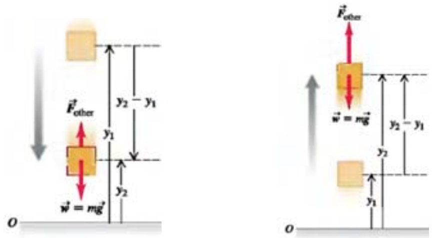


រូបទី៥.៩ កម្មន្តស្មើគ្នា តែអានុភាពខុសគ្នា

មេរៀនទី៦ ថាមពលប៉ូតង់ស្យែល និងច្បាប់រក្សាថាមពល

៦.១ ថាមពលប៉ូតង់ស្យែលនៃដែនទំនាញ

អង្គធាតុមួយម៉ាស m ផ្លាស់ទីតាមអ័ក្ស y ក្រោមអំពើនៃកំលាំងទំនាញដី $\vec{w} = mg$ និងកំលាំងក្រៅ $\vec{F}_{other}$ ។ រូបទី៦.១(ក) កម្មន្តបំពេញដោយកំលាំងទំនាញសាកលលើអង្គធាតុ ពេលអង្គធាតុផ្លាស់ទីចុះក្រោមពីកំពស់ y_1 ទៅកំពស់ y_2 នោះកម្មន្តបំពេញដោយកំលាំងទំនាញដីគឺ $W_{grav} = F_g s = w(y_1 - y_2) = mgy_1 - mgy_2$ ។ ដោយទងន់ និងបំលាស់ទីមានទិសដៅដូចគ្នាដូចនេះកម្មន្តវិជ្ជមាន ហើយថាមពលប៉ូតង់ស្យែលនៃដែនទំនាញដីគឺ $U_{grav} = mgy$ ។



(ក) អង្គធាតុផ្លាស់ទីឡើងលើ (ខ) អង្គធាតុផ្លាស់ទីចុះក្រោម

រូបទី៦.១ ពេលអង្គធាតុផ្លាស់ទីឡើងលើចុះក្រោមពីទីតាំង y_1 ទៅ y_2

កម្មន្តត្រូវបានបំពេញដោយកំលាំងទំនាញសាកល និងថាមពលប៉ូតង់ស្យែលប្រែប្រួល

រូបទី៦.១(ខ) កម្មន្តបំពេញដោយកំលាំងទំនាញសាកលលើអង្គធាតុ ពេលវាផ្លាស់ទីឡើងលើពីកំពស់ y_1 ទៅកំពស់ y_2 គឺអវិជ្ជមាន ព្រោះបំលាស់ទីមានទិសដៅផ្ទុយពីកំលាំងទំនាញដី។

កម្មន្តធ្វើលើអង្គធាតុមួយដោយកំលាំងទំនាញសាកលស្មើនឹងបំរែបំរួលថាមពលប៉ូតង់ស្យែលនៃដែនទំនាញ។ គេកំណត់សរសេរ:

$$W_{grav} = mgy_1 - mgy_2 = U_{grav,1} - U_{grav,2} = -\Delta U_{grav}$$

៦.២ ថាមពលមេកានិច

បើអង្គធាតុមួយផ្លាស់ទីពីទីតាំង y_1 មានល្បឿន v_1 ទៅទីតាំង y_2 មានល្បឿន v_2 ក្រោមអំពើកំលាំងទំនាញដីតែមួយគត់។ តាមទ្រឹស្តីកម្មន្ត និងថាមពលយើងបាន:

$$W_{grav} = \Delta K = K_2 - K_1 = -\Delta U_{grav} = U_{grav,1} - U_{grav,2} \Rightarrow K_1 + U_{grav,1} = K_2 + U_{grav,2}$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgy_2, \quad E = K + U_{grav} = \text{ថេរ}$$

បើអង្គធាតុមួយផ្លាស់ទីពីទីតាំង y_1 មានល្បឿន v_1 ទៅទីតាំង y_2 មានល្បឿន v_2 ក្រោមអំពើកំលាំងទំនាញដី និងកំលាំងក្រៅ $\vec{F}_{other}$ ។

កម្មន្តសរុបអាចសរសេរ:

$$W_{total} = W_{grav} + W_{other} = \Delta K = K_2 - K_1 = U_{grav,1} - U_{grav,2} + W_{other}$$

$$K_1 + U_{grav,1} + W_{other} = K_2 + U_{grav,2}$$

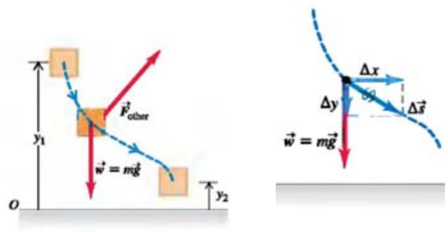
$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_1 + W_{other} = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgy_2$$

ថាមពលប៉ូតង់ស្យែលនៃដែនទំនាញសាកលចំពោះបំលាស់ទីតាមគន្លងកោង:

កម្មន្តបំពេញដោយកំលាំងទំនាញដីលើអង្គធាតុគឺ:

$$\vec{w} \cdot \Delta\vec{s} = -mg\vec{j} \cdot (\Delta x\vec{i} + \Delta y\vec{j}) = -mg\Delta y$$

$$W_{grav} = -mg(y_2 - y_1) = mgy_1 - mgy_2 = U_{grav,1} - U_{grav,2}$$



រូបទី៦.២ គណនាបំរែបំរួលថាមពលប៉ូតង់ស្យែលចំពោះបំលាស់ទីកោង

៦.៣ ថាមពលប៉ូតង់ស្យែលនៃរ៉ឺស័រ

កម្មន្តធ្វើដោយកំលាំងមកលើរ៉ឺស័រធ្វើអោយចុងម្ខាងនៃរ៉ឺស័រផ្លាស់ទី x_1 ទៅ x_2 គឺ:

$$W = \frac{1}{2}kx_2^2 - \frac{1}{2}kx_1^2$$

កម្មន្តធ្វើដោយកំលាំងរំលឹកនៃរ៉ឺស័រស្មើនឹងបំរែបំរួលថាមពលយឺតនៃរ៉ឺស័រ:

$$W_{el} = \frac{1}{2}kx_1^2 - \frac{1}{2}kx_2^2 = U_{el,1} - U_{el,2} = -\Delta U_{el}$$

ដូចនេះយើងបានថាមពលប៉ូតង់ស្យែលយឺតគឺ $U_{el} = \frac{1}{2}kx^2$

បើកំលាំងរំលឹកតែមួយគត់មានអំពើលើម៉ាស m ភ្ជាប់នឹងចុងម្ខាងនៃរ៉ឺស័រ នោះកម្មន្តអាចសរសេរ:

$$W_{total} = W_{el} = U_{el,1} - U_{el,2} = K_2 - K_1 \Rightarrow U_{el,1} + K_1 = U_{el,2} + K_2$$

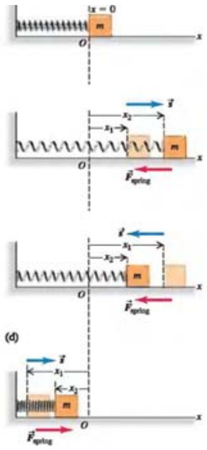
$$\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}kx_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}kx_2^2$$

បើម៉ាស m មួយព្យួរនឹងចុងម្ខាងនៃរ៉ឺស័រ ហើយបើមានកំលាំងខាងក្រៅមានអំពើលើម៉ាស m ដូចជាកំលាំងទប់នៃខ្យល់ពេលវាផ្លាស់ទី នោះកម្មន្តសរុបស្មើនឹងផលបូកកម្មន្តបំពេញដោយកំលាំងក្រៅ កំលាំងទំនាញដី និងកំលាំងរំលឹក។

ដូចនេះយើងបាន:

$$W_{tot} = W_{grav} + W_{el} + W_{other} = K_2 - K_1$$

$$K_1 + U_{grav,1} + U_{el,1} + W_{other} = K_2 + U_{grav,2} + U_{el,2}$$



រូបទី៦.៣ គណនាថាមពលប៉ូតង់ស្យែលបំពេញដោយរ៉ឺស័រ

៦.៣ ច្បាប់រក្សាថាមពលមេកានិច

ពេលថាមពលមេកានិចត្រូវបានរក្សា នោះថាមពលប៉ូតង់ស្យែសរុបស្មើផលបូកថាមពលប៉ូតង់ស្យែលនៃដែនទំនាញ និងថាមពលប៉ូតង់ស្យែលយឺត។

គេសរសេរ:

$$U = U_{grav} + U_{el}$$

បើសិនជាគ្មានកំលាំងក្រៅពីកំលាំងទំនាញដី និងកំលាំងរំលឹកមានអំពើលើចំនុចរូបធាតុទេ នោះផលបូកថាមពលប៉ូតង់ស្យែល និងថាមពលស៊ីនេទិចត្រូវបានរក្សា។

គេសរសេរ:

$$E = U + K$$
$$U_1 + K_1 = U_2 + K_2$$

ពេលមានកំលាំងក្រៅខុសពីកំលាំងទំនាញដី និងកំលាំងរំលឹកធ្វើកម្មន្តលើចំនុចរូបធាតុ នោះកម្មន្តធ្វើដោយកំលាំងក្រៅ W_{other} ស្មើនឹងបំរែបំរួលថាមពលមេកានិចសរុប (បំរែបំរួលថាមពលប៉ូតង់ស្យែល បូកនឹងបំរែបំរួលថាមពលស៊ីនេទិច)។

គេកំណត់សរសេរ:

$$U_1 + K_1 + W_{other} = U_2 + K_2$$

$$W_{other} = \Delta K + \Delta U$$

៦.៤ គណនាកំលាំងពីថាមពលប៉ូតង់ស្យែល

យើងមាន $W = -\Delta U$ ហើយចំពោះបំលាស់ទី Δx នោះកម្មន្តបំពេញដោយកំលាំង $F_x(x)$ ចំពោះបំលាស់ទីនេះគឺ $F_x(x)\Delta x$។ ដូចនេះយើងបាន:

$$F_x(x)\Delta x = -\Delta U \Rightarrow F_x(x) = -\frac{\Delta U}{\Delta x}$$

ពេល $\Delta x \to 0$ នោះយើងបាន:

$$F_x(x) = -\frac{dU(x)}{dx},\ F_x(x) = -\frac{d}{dx}\left(\frac{1}{2}kx^2\right) = -kx$$

ចំពោះចលនាតាមខ្សែត្រង់ កំលាំង $F_x(x)$ ស្មើនឹងតំលៃអវិជ្ជមាននៃដេរីវេអនុគមន៍ថាមពលប៉ូតង់ស្យែល។

ដូចនេះយើងបាន:

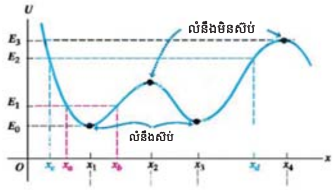
$$F_x(x) = -\frac{dU(x)}{dx},\ F_x = -\frac{\partial U}{\partial x},\ F_y = -\frac{\partial U}{\partial y},\quad F_z = -\frac{\partial U}{\partial z}$$

$$\vec{F} = -\left(\frac{\partial U}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial U}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial U}{\partial z}\vec{k}\right)$$

ចំពោះថាមពលប៉ូតង់ស្យែលនៃដែនទំនាញដី យើងបាន:

$$\vec{F} = -\left(\frac{\partial mgy}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial mgy}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial mgy}{\partial z}\vec{k}\right) = -mg\vec{j}$$

ថាមពលប៉ូតង់ស្យែលអតិបរមា និងអប្បបរមានៃ $U(x)$ គឺ ពេលដែល $F_x = 0$ ។ យើងបានក្រាបដូចរូបទី៦.៤។



រូបទី៦.៤ លំនឹងស៊ប់ និងលំនឹងមិនស៊ប់

៦.៥ កំលាំងរក្សា កំលាំងមិនរក្សា និងច្បាប់រក្សាថាមពល

កំលាំងរក្សាគឺជាកំលាំងដែលក្នុងនោះទំនាក់ទំនងកម្មន្ត ថាមពលស៊ីនេទិចអាចបំលែងទៅមកបានទាំងស្រុង។ កម្មន្តធ្វើដោយកលាំងរក្សាមានទំរង់ជាអនុគមន៍នៃថាមពលប៉ូតង់ស្យែលជានិច្ច។ កម្មន្តធ្វើដោយកំលាំងមិនរក្សាមានទំរង់ជាបំរែបំរួលថាមពលក្នុងនៃអង្គធាតុ។ ផលបូកថាមពលស៊ីនេទិច ថាមពលប៉ូតង់ស្យែល និងបំរែបំរួលថាមពលក្នុងត្រូវបានរក្សា:

$$\Delta K + \Delta U + \Delta U_{int} = 0$$

កំលាំងរក្សា: កំលាំងរក្សាគឺជាកំលាំងដែលក្នុងនោះថាមពលប៉ូតង់ស្យែល និងថាមពលស៊ីនេទិចអាចបំលែងទៅមកបានដោយគ្មានកំហាតបង់។

លក្ខណ:កម្មន្តបំពេញដោយកំលាំងរក្សាមានបួនគឺ

1. វាអាចសរសេរក្រោមទំរង់បំរែបំរួលថាមពលប៉ូតង់ស្យែល។
2. វាអាចត្រឡប់បាន (ថាមពលអាចបំលែងទៅមកបានដោយគ្មានបាត់បង់)។
3. វាមិនអាស្រ័យទៅនឹងគន្លងនៃចលនា គឺវាអាស្រ័យតែលើទីតាំងដើម និងទីតាំងស្រេច។
4. ពេលទីតាំងដើម និងទីតាំងស្រេចជាទីតាំងតែមួយ កម្មន្តសរុបស្មើសូន្យ។

មេរៀនទី៧ បរិមាណចលនា អំពុលស្យុង និងទង្គិច

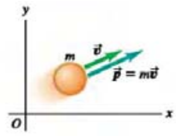
៧.១ បរិមាណចលនា និងអំពុលស្យុង

បរិមាណចលនា$\vec{p}$ នៃចំនុចរូបធាតុមួយស្មើនឹងផលគុណរវាងម៉ាស m របស់ចំនុចរូបធាតុនោះ និងវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់វា (រូបទី៧.១)។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

បើចំនុចរូបធាតុមួយមានវ៉ិចទ័រល្បឿនតាមកំប៉ូសង់ v_x, v_y និង v_z នោះបរិមាណចលនានៃចំនុចរូបធាតុតាមកំប៉ូសង់អាចសរសេរ:

$$p_x = mv_x, p_y = mv_y \text{ និង } p_z = mv_z$$



រូបទី៧.១ បរិមាណចលនានៃចំនុចរូបធាតុ

៧.១.១ កំលាំងក្រោមទំរង់បរិមាណចលនា

បើចំនុចរូបធាតុមួយមានម៉ាសថេរ m (មេរៀនក្រោយយើងនឹងសិក្សាលើម៉ាសរបស់អង្គធាតុប្រែប្រួល) រងនូវកំលាំង $\sum \vec{F}$ ថេរ នោះយើងបាន:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v})$$

ដូចនេះយើងអាចនិយាយបានថា កំលាំងធ្វើអំពើលើចំនុចរូបធាតុមួយស្មើនឹងអត្រាបំរែបំរួលបរិមាណចលនា។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

៧.១.២ អំពុលស្យុង និងបរិមាណចលនា

អំពុលស្យុង $\vec{J}$ នៃកំលាំងថេរ $\sum \vec{F}$ មានអំពើលើចំនុចរូបធាតុមួយក្នុងរយៈពេលΔt ស្មើនឹងផលគុណនៃកំលាំង និងរយៈពេលនោះ។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\vec{J} = \sum \vec{F}(t_2 - t_1) = \sum \vec{F}\Delta t$$

ដោយ $\frac{d\vec{p}}{dt}$ ស្មើនឹងបំរែបំរួលបរិមាណចលនា $\vec{p}_2 - \vec{p}_1$ ក្នុងរយៈពេល $t_2 - t_1$ ។ នោះយើងអាចសរសេរ:

$$\sum \vec{F} = \frac{\vec{p}_2 - \vec{p}_1}{t_2 - t_1}$$
$$\sum \vec{F}(t_2 - t_1) = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$$
$$\vec{J} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$$

ដូចនេះបំរែបំរួលបរិមាណចលនានៃចំនុចរូបធាតុមួយក្នុងរយៈពេលΔtស្មើទៅនឹងអំពុលស្យុងនៃកំលាំងសរុបដែលមានអំពើលើចំនុចរូបធាតុក្នុងរយៈពេលនោះ។

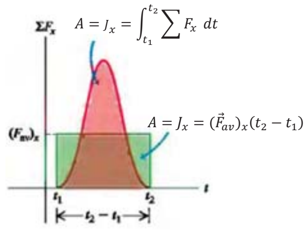
ចំពោះកំលាំង $\sum \vec{F}$ ជាកំលាំងប្រែប្រួលមានអំពើលើចំនុចរូបធាតុក្នុងរយៈពេលΔt នោះអំពុលស្យុង $\vec{J}$ កំណត់សរសេរ:

$$\vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \sum \vec{F} dt = \int_{t_1}^{t_2} \frac{d\vec{p}}{dt} dt = \int_{\vec{p}_1}^{\vec{p}_2} d\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$$

យើងអាចសរសេរអំពុលស្យុងក្រោមទំរង់កំលាំងមធ្យមដូចខាងក្រោម:

$$\vec{J} = \vec{F}_{av}(t_2 - t_1)$$

រូបទី៧.២បង្ហាញពីអំពុលស្យុងនៃកំលាំងតាមកំប៉ូសង់ x ជាអនុគមន៍នៃពេលក្នុងអំឡុងពេលទង្គិច។



រូបទី៧.២ អំពុលស្យុងនៃកំលាំងប្រែប្រួល

ជាទូទៅគេតែងតែសរសេរអំពុលស្យុងនៃកំលាំងតាមកំប៉ូសង់ដូចខាងក្រោម:

$$J_x = \int_{t_1}^{t_2} \sum F_x \ dt = (\vec{F}_{av})_x (t_2 - t_1) = p_{2x} - p_{1x} = mv_{2x} - mv_{1x}$$
$$J_y = \int_{t_1}^{t_2} \sum F_y \ dt = (\vec{F}_{av})_y (t_2 - t_1) = p_{2y} - p_{1y} = mv_{2y} - mv_{1y}$$
$$J_z = \int_{t_1}^{t_2} \sum F_z \ dt = (\vec{F}_{av})_z (t_2 - t_1) = p_{2z} - p_{1z} = mv_{2z} - mv_{1x}$$

៧.២ ច្បាប់រក្សាបរិមាណចលនា

ចំពោះប្រព័ន្ធមួយដូចរូបទី៧.៣ កំលាំងក្នុង $\vec{F}_{B\to A}$ ជាកំលាំងមានអំពើដោយ B មកលើ A ហើយកំលាំងក្នុង $\vec{F}_{A\to B}$ ជាកំលាំងមានអំពើដោយ A មកលើ B។ ក្នុងករណីគ្មានកំលាំងខាងក្រៅមានអំពើលើប្រព័ន្ធទេ នោះប្រព័ន្ធនេះជាប្រព័ន្ធត្រមោច។

កំលាំងទាំងពីរខាងលើជាអត្រាបំរែបំរួលបរិមាណចលនានៃចំនុចរូបធាតុទាំងពីរ។ ដូចនេះយើងអាចសរសេរ:

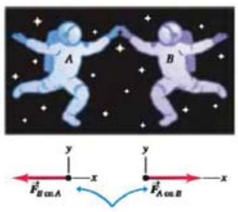
$$\vec{F}_{B\to A} = \frac{d\vec{p}_A}{dt} \text{ និង } \vec{F}_{A\to B} = \frac{d\vec{p}_B}{dt}$$

តាមច្បាប់ទី៣ញ៉ូតុនយើងបាន:

$$\vec{F}_{B\to A} + \vec{F}_{A\to B} = 0$$
$$\frac{d\vec{p}_A}{dt} + \frac{d\vec{p}_B}{dt} = \frac{d(\vec{p}_A + \vec{p}_B)}{dt} = 0$$

បរិមាណចលនាសរុបនៃប្រព័ន្ធគឺ $\vec{p} = \vec{p}_A + \vec{p}_B$។ ដូចនេះយើងបាន:

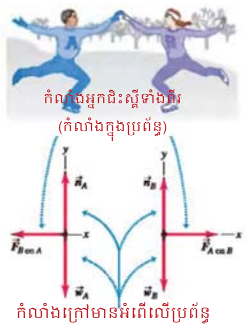
$$\vec{F}_{B\to A} + \vec{F}_{A\to B} = \frac{d(\vec{p}_A + \vec{p}_B)}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} = 0$$



កំលាំង និងប្រត្តិកម្ម

រូបទី៧.៣ តារាវិទូពីរនាក់ទាញគ្នាទៅវិញទៅមកក្នុងលំហគ្មានវត្ថុមានដែនទំនាញ

បើកំលាំងខាងក្រៅក៏មានអំពើលើប្រព័ន្ធដែរ នោះបរិមាណចលនាសរុបមិនថេរទេ។ តែបើផលបូកនៃវ៉ិចទ័រនៃកំលាំងក្រៅមានទំលៃសូន្យដូចរូបទី៧.៤ នោះ$\frac{d\vec{p}}{dt} = 0$។ ដូចនេះយើងអាចពោលថា ***បើផលបូកនវិចទ័រនៃកំលាំងក្រៅមានតំលៃសូន្យ បរិមាណចលនាសរុបនៃប្រព័ន្ធមានតំលៃថេរ ឬ បរិមាណចលនានៃប្រព័ន្ធត្រូវបានរក្សា។***



រូបទី៧.៤ អ្នកជិះស្គីពីរនាក់ទាញគ្នាលើផ្ទៃទឹកកកគ្មានកកិត

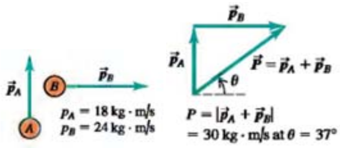
ចំពោះប្រព័ន្ធមួយមានចំនុចរូបធាតុច្រើន នោះបរិមាណចលនាសរុបនៃប្រព័ន្ធគឺ

$$\vec{P} = \vec{p}_A + \vec{p}_B + \ldots = m_A\vec{v}_A + m_B\vec{v}_B + \ldots$$

បរិមាណចលនាតាមកំប៉ូសង់អាចសរសេរ:

$$P_x = p_{Ax} + p_{Bx} + p_{Cx} + \cdots$$
$$P_y = p_{Ay} + p_{By} + p_{Cy} + \cdots$$
$$P_z = p_{Az} + p_{Bz} + p_{Cz} + \cdots$$

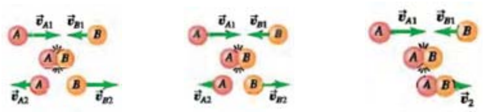
សំគាល់: បរិមាណចលនាជាទំហំវ៉ិចទ័រ ដូចនេះពេលអនុវត្តច្បាប់រក្សាបរិមាណចលនាត្រូវតែប្រុងប្រយ័តអំពីការគណនាបរិមាណចលនាសរុបរបស់ប្រព័ន្ធ (សូមមើលរូបទី៩.៥)។



រូបទី៧.៥ បរិមាណចលនាសរុបនៃប្រព័ន្ធមួយមានចំនុចរូបធាតុពីរ

៧.៣ ទង្គិច

រូបទី៧.៦បង្ហាញពីប្រភេទទង្គិចគ្នានៃអង្គធាតុពីរ។ រូបទី៧.៦(ក)បង្ហាញពីទង្គិចខ្ទាតដែលក្នុងនោះថាមពលស៊ីនេទិចមុនពេលទង្គិច ស្មើនឹងថាមពលស៊ីនេទិចក្រោយទង្គិច។ រូបទី៧.៦(ខ)បង្ហាញពីទង្គិចស្ទក់ និងរូបទី៧.៦(គ) បង្ហាញពីទង្គិចស្ទក់ឥតខ្ទោះដែលថាមពលស៊ីនេទិចក្រោយទង្គិចមិនស្មើនឹងថាមពលស៊ីនេទិចមុនពេលទង្គិច។



(ក) ទង្គិចខ្ទាត (ខ) ទង្គិចស្ទក់ (គ) ទង្គិចស្ទក់ឥតខ្ទោះ

រូបទី៧.៦ ប្រភេទនៃទង្គិច

៧.៣.១ ទង្គិចស្ទក់ឥតខ្ទោះ

យើងសិក្សាទៅលើបរិមាណចលនា និងថាមពលស៊ីនេទិចចំពោះទង្គិចស្ទក់ឥតខ្ទោះនៃអង្គធាតុពីរ A និង B (រូបទី៧.៦(គ))។ ដោយអង្គធាតុទាំងពីរជាប់គ្នាក្រោយពេលទង្គិច នោះអង្គធាតុទាំងពីរផ្លាស់ទីដោយវ៉ិចទ័រល្បឿនតែមួយ $\vec{v}_2$។

ដូចនេះយើងបាន: $\vec{v}_{A2} = \vec{v}_{B2} = \vec{v}_2$។ ចំពោះទង្គិចប្រភេទនេះ បរិមាណចលនាមុនពេលអង្គិច និងបរិមាណចលនាក្រោយពេលទង្គិចមានតំលៃស្មើគ្នា។

ដូចនេះយើងបាន: $m_A\vec{v}_{A1} + m_B\vec{v}_{B1} = (m_A + m_B)\vec{v}_2$។

ឧបមាថា បើអង្គធាតុមួយមានម៉ាស m_A ផ្លាស់ទីដោយល្បឿនv_{A1x} ទៅទង្គិចជាមួយអង្គធាតុមួយទៀតមានម៉ាស m_B នៅស្ងៀម($v_{B1x} = 0$)។ នោះយើងបាន:

$$m_A v_{A1x} = (m_A + m_B)v_{2x}$$
$$v_{2x} = \frac{m_A}{m_A + m_B} v_{A1x}$$

ថាមពលស៊ីនេទិចមុនពេលទង្គិច:

$$K_1 = \frac{1}{2} m_A v_{A1x}^2$$

ថាមពលស៊ីនេទិចក្រោយពេលទង្គិច:

$$K_2 = \frac{1}{2}(m_A + m_B)v_{2x}^2 = \frac{1}{2}(m_A + m_B)\left(\frac{m_A}{m_A + m_B}\right)^2 v_{A1x}^2$$

ផលធៀបថាមពលស៊ីនេទិចក្រោយពេលទង្គិច និងថាមពលស៊ីនេទិចមុនពេលទង្គិចគឺ

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{m_A}{m_A + m_B}$$

៧.៣.២ ទង្គិចខ្ទាត

យើងសិក្សាទៅលើបរិមាណចលនា និងថាមពលស៊ីនេទិចចំពោះទង្គិចខ្ទាតនៃអង្គធាតុពីរ A និង B (រូបទី៧.៦(ក))។ ដោយក្រោយពេលទង្គិច អង្គធាតុទាំងពីរមានល្បឿនខុសគ្នា នោះតាមច្បាប់រក្សាមថាមលស៊ីនេទិច និងច្បាប់រក្សាបរិមាណចលនាយើងបាន:

$$\frac{1}{2} m_A v_{A1x}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{B1x}^2 = \frac{1}{2} m_A v_{A2x}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{B2x}^2$$
$$m_A v_{A1x} + m_B v_{B1x} = m_A v_{A2x} + m_B v_{B2x}$$

ឧបមាថា អង្គធាតុ A មានម៉ាសm_Aផ្លាស់ទីដោយល្បឿន v_{A1x} និងអង្គធាតុ Bមានម៉ាស m_B នៅស្ងៀម។ នោះយើងបានសមីការថាមពលស៊ីនេទិច:

$$\frac{1}{2}m_A v_{A1x}^2 = \frac{1}{2}m_A v_{A2x}^2 + \frac{1}{2}m_B v_{B2x}^2$$

$$m_A(v_{A1x}^2 - v_{A2x}^2) = (v_{A1x} - v_{A2x})(v_{A1x} + v_{A2x}) = m_B v_{B2x}^2$$

និងសមីការបរិមាណចលនា:

$$m_A v_{A1x} = m_A v_{A2x} + m_B v_{B2x}$$

$$m_A(v_{A1x} - v_{A2x}) = m_B v_{B2x}$$

យើងបាន:

$$v_{B2x} = v_{A1x} + v_{A2x}$$

$$m_A(v_{A1x} - v_{A2x}) = m_B(v_{A1x} + v_{A2x})$$

$$v_{A2x} = \frac{m_A - m_B}{m_A + m_B} v_{A1x}$$

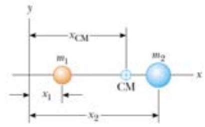
$$v_{B2x} = \frac{2m_A}{m_A + m_B} v_{A1x}$$

៧.៤ ផ្ចិតម៉ាស

៧.៤.១ ទីតាំងផ្ចិតម៉ាស

ឧបមាថា ចំនុចរូបធាតុពីរមានម៉ាស m_1 និង m_2 ដែល m_1នៅត្រង់ទីតាំង x_1 និង m_2នៅត្រង់ទីតាំង x_2 ដូចរូបទី៧.៧។ នោះទីតាំងផ្ចិតម៉ាសនៃប្រព័ន្ធអោយដោយ:

$$x_{CM} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$$



រូបទី៧.៧ទីតាំងផ្ចិតម៉ាសនៃប្រព័ន្ធម៉ាសពីរនៅលើអក្ស x

ដូចគ្នាដែរចំពោះចំនុចរូបធាតុច្រើនមានម៉ាស $m_1, m_2, m_3 \dots$ ដែល m_1មានកូអរដោនេ (x_1, y_1, z_1) និង m_2មានកូអរដោនេ(x_2, y_2, z_2)។ នោះទីតាំងផ្ចិតម៉ាសនៃប្រព័ន្ធអោយដោយ:

$$x_{CM} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_{3+\cdots}}{m_1 + m_2 + m_3 + \cdots} = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_i}$$

$$y_{CM} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_{3+\cdots}}{m_1 + m_2 + m_3 + \cdots} = \frac{\sum_i m_i y_i}{\sum_i m_i}$$

$$z_{CM} = \frac{m_1 z_1 + m_2 z_2 + m_3 z_{3+\cdots}}{m_1 + m_2 + m_3 + \cdots} = \frac{\sum_i m_i z_i}{\sum_i m_i}$$

វ៉ិចទ័រទីតាំងផ្ចិតម៉ាសនៃប្រព័ន្ធរូបធាតុមួយក៏អាចសរសេរក្រោមទំរង់វ៉ិចទ័រទីតាំងដូចខាងក្រោម:

$$\vec{r}_{CM} = x_{CM}\hat{\imath} + y_{CM}\hat{\jmath} + z_{CM}\hat{k} = \frac{\sum_i m_i x_i \hat{\imath} + \sum_i m_i y_i \hat{\jmath} + \sum_i m_i z_i \hat{k}}{M} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{M}$$

យើងក៏អាចរកផ្ចិតម៉ាសរបស់អង្គធាតុមួយមានម៉ាស M ដូចរូបទី៧.៨បានដោយគិតថា អង្គធាតុមួយនេះផ្សំឡើងដោយភាគល្អិតជាច្រើន ដោយចែកម៉ាស M ជាម៉ាស Δm_iដ៏តូចដែលមានកូអរដោនេ (x_i, y_i, z_i) នោះទីតាំងនៃផ្ចិតម៉ាសតាមកំប៉ូសង់គឺ:

$$x_{CM} \approx \frac{\sum_i x_i \Delta m_i}{M}$$

$$x_{CM} = \lim_{\Delta m_i \to 0} \frac{\sum_i x_i \Delta m_i}{M} = \frac{1}{M}\int x dm$$

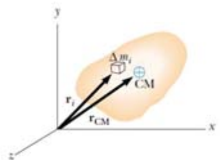
ស្រដៀងគ្នាដែរចំពោះ y_{CM} និង z_{CM} យើងបាន:

$$y_{CM} = \lim_{\Delta m_i \to 0} \frac{\sum_i y_i \Delta m_i}{M} = \frac{1}{M}\int y dm$$

$$z_{CM} = \lim_{\Delta m_i \to 0} \frac{\sum_i z_i \Delta m_i}{M} = \frac{1}{M}\int z dm$$

ដូចនេះ យើងអាចសរសេរវ៉ិចទ័រទីតាំងនៃផ្ចិតម៉ាសក្រោមទំរង់ដូចខាងក្រោម:

$$\vec{r}_{CM} = \frac{1}{M}\int \vec{r} dm$$



រូបទី៧.៨ ផ្ចិតម៉ាសនៃប្រព័ន្ធមួយត្រូវបានកំណត់ដោយវ៉ិចទ័រទីតាំង$\vec{r}_{CM}$

៧.៤.២ ចលនារបស់ផ្ចិតម៉ាស

តើមានអ្វីកើតឡើងលើផ្ចិតម៉ាសពេលដែលប្រព័ន្ធម៉ាសផ្លាស់ទី? វ៉ិចទ័រល្បឿននៃផ្ចិតម៉ាសតាមកំប៉ូសង់ជាដេរីវេទីតាំងផ្ចិតម៉ាសធៀបទៅនឹងពេល។ គេកំណត់សរសេរ:

$$v_{\mathrm{CM}-x} = \frac{m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} + m_3 v_{3x+\cdots}}{m_1 + m_2 + m_3 + \cdots}$$

$$v_{\mathrm{CM}-y} = \frac{m_1 v_{1y} + m_2 v_{2y} + m_3 v_{3y+\cdots}}{m_1 + m_2 + m_3 + \cdots}$$

$$v_{\mathrm{CM}-z} = \frac{m_1 v_{1z} + m_2 v_{2z} + m_3 v_{3z+\cdots}}{m_1 + m_2 + m_3 + \cdots}$$

ដូចគ្នាដែរចំពោះវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ផ្ចិតម៉ាសនៃប្រព័ន្ធគេកំណត់សរសេរ:

$$\vec{v}_{\mathrm{CM}} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + m_3\vec{v}_{3+\cdots}}{m_1 + m_2 + m_3 + \cdots} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + m_3\vec{v}_{3+\cdots}}{M}$$

ដូចនេះយើងអាចសរសេរ:

$$M\vec{v}_{\mathrm{CM}} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + m_3\vec{v}_{3+\cdots} = \vec{P}$$

ដែល $\vec{P}$ បរិមាណចលនានៃប្រព័ន្ធ។

៧.៤.៣ កំលាំងក្រៅ និងផ្ចិតម៉ាស

បើកំលាំងក្រៅមានអំពើលើប្រព័ន្ធម៉ាសមួយស្មើសូន្យ នោះវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ប្រព័ន្ធថេរ ហើយបើកំលាំងក្រៅមានអំពើលើប្រព័ន្ធមិនសូន្យនោះយើងបាន:

$$\vec{a}_{\mathrm{CM}} = \frac{d\vec{v}_{\mathrm{CM}}}{dt}$$

$$M\vec{a}_{\mathrm{CM}} = m_1\vec{a}_1 + m_2\vec{a}_2 + m_3\vec{a}_{3+\cdots}$$

កំលាំងសរុបមានអំពើលើប្រព័ន្ធម៉ាសគឺ

$$\sum\vec{F} = \sum\vec{F}_{ext} + \sum\vec{F}_{int} = M\vec{a}_{\mathrm{CM}}$$

ដោយយោងតាមច្បាប់ទីបីរបស់ញូតុន នោះកំលាំងអន្តរកម្មក្នុងប្រព័ន្ធស្មើសូន្យ ដូចនេះយើងបាន:

$$\sum\vec{F}_{ext} = M\vec{a}_{\mathrm{CM}}$$

៧.៥ ការរុញច្រានកាំជ្រួច

ចំពោះការបាញ់កាំជ្រួច ម៉ាសរបស់កាំជ្រួចប្រែប្រួលព្រោះតែឥន្ធនៈឆេះ ហើយចេញពីខ្លួនរបស់កាំជ្រួច។ ដូចនេះសិក្សាចលនារបស់កាំជ្រួចត្រូវតែគិតដល់បរិមាណចលនានៃឥន្ធនៈដែលផ្លាស់ទីចេញពីកាំជ្រួចនិងបរិមាណចលនារបស់កាំជ្រួចផ្ទាល់។

មេរៀនទី៨ ចលនារង្វិលនៃអង្គធាតុរឹង

៨.១ ស៊ីនេម៉ាទិចនៃចលនារង្វិល

ដើម្បីពិពណ៌នាចលនារង្វិល ជាទូទៅគឺគេត្រូវដឹងពីការវាស់មុំគិតជារ៉ាដ្យង់ មិនមែនជាដឺក្រេទេ។ រូបទី៨.១ បង្ហាញពីទំនាក់ទំនងរវាងដឺក្រេ និងរ៉ាដ្យង់។ យើងមាន:

$$\theta = \frac{s}{r} \text{ រឺ } s = r\theta$$

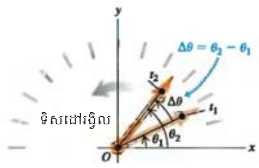
យើងដឹងថា 2π រ៉ាដ្យង់ ស្មើនឹង $360°$ ដូចនេះយើងបាន:

$$1 \text{ rad} = \frac{360°}{2\pi} = 57.3°$$

(ក)មួយរ៉ាដ្យង់គឺជាមុំដែលធ្នូ s មានប្រវែងស្មើនឹងកាំ r **(ខ)** មុំ θ គិតជារ៉ាដ្យង់ស្មើ s/r

រូបទី៨.១ ការវាស់មុំគិតជារ៉ាដ្យង់

ពេលចំនុចរូបធាតុមួយធ្វើចលនារង្វិលជុំវិញអ័ក្សនឹងមួយ (អ័ក្ស z) នោះទីតាំងរបស់វាត្រូវបានពិពណ៌នាដោយកូអរដោនេនៃទីតាំងមុំ θ (រូបទី៨.២)។



រូបទី៨.២ បំលាស់ទីមុំ

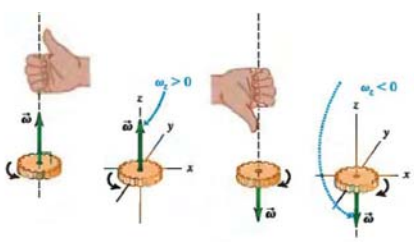
នៅខណៈ t_1 ចំនុចរូបធាតុនៅក្នុងត្រង់ទីតាំងមួយបង្កើតបានមុំ θ_1ធៀបនឹងអ័ក្សដេក ហើយនៅខណៈ t_2 ចំនុចរូបធាតុនៅក្នុងត្រង់ទីតាំងមួយបង្កើតបានមុំ θ_2ធៀបនឹងអ័ក្សដេក។ យើងអាចកំណត់រកល្បឿនមុំមធ្យម ω_{av-z} នៃចំនុចរូបធាតុក្នុងរយៈពេល Δt គឺជាផលធៀបនៃបំលាស់ទីមុំ$\Delta\theta$ និង Δt។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\omega_{av-z} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

វ៉ិចទ័រល្បឿនមុំខណៈ ω_z គឺជាលីមីតω_{av-z} ពេលដែល$\Delta t \to 0$។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\omega_z = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$$

រូបទី៨.៣ បង្ហាញពីទិសដៅល្បឿនមុំរកតាមវិធានដៃស្តាំ។



(ក) ល្បឿនមុំមានតំលៃវិជ្ជមាន **(ខ)** ល្បឿនមុំមានតំលៃអវិជ្ជមាន

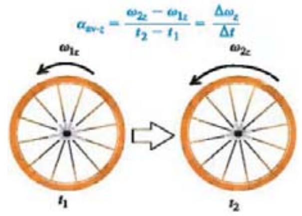
រូបទី៨.៣ ទិសដៅល្បឿនមុំត្រូវបានគណនាតាមវិធានដៃស្តាំ

បើ ω_1និង ω_2 ជាល្បឿនមុំខណៈត្រង់ t_1 និងt_2 នោះសំទុះមុំមធ្យម α_{av-z} ក្នុងចន្លោះពេល $\Delta t = t_2 - t_1$ គឺជាបំរែបំរួលល្បឿនមុំចែកអោយរយៈពេលនោះ (រូបទី៨.៤)។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\alpha_{av-z} = \frac{\omega_{2z} - \omega_{1z}}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\omega_z}{\Delta t}$$

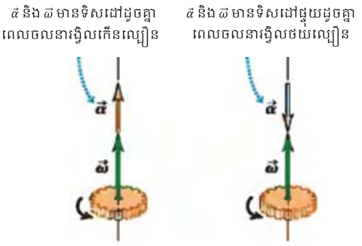
វ៉ិចទ័រសំទុះមុំ α_zគឺជាលីមីតនៃ α_{av-z} ពេលដែល$\Delta t \to 0$។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\alpha_z = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\omega_z}{\Delta t} = \frac{d\omega_z}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$



រូបទី៨.៤ សំទុះមុំមធ្យម

រូបទី៨.៥ បង្ហាញពីទិសដៅសំទុះមុំ។



រូបទី៨.៥ ពេលអ័ក្សរង្វិលនឹង សំទុះមុំ និងល្បឿនមុំមានទិសដូចគ្នា

បើសំទុះមុំថេរ នោះយើងអាចសរសេរទំនាក់ទំនង θ, ω_zនិងα_zតាមសមីការស៊ីនេម៉ាទិចស្រដៀងទៅនឹងសមីការនៃចលនាត្រង់ដែរ:

$$\theta = \theta_0 + \omega_{0z}t + \frac{1}{2}\alpha_z t^2$$

$$\theta - \theta_0 = \frac{1}{2}(\omega_z + \omega_{0z})t$$

$$\omega_z = \omega_{0z} + \alpha_z t$$

$$\omega_z^2 = \omega_{0z}^2 + 2\alpha_z(\theta - \theta_0)$$

៨.២ ទំនាក់ទំនងរវាងចលនាត្រង់ និងចលនារង្វិល

ចំពោះចលនារង្វិល យើងមាន $s = r\theta$ ដោយធ្វើដេរីវេអង្គទាំងពីរ យើងបាន:

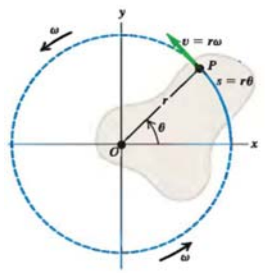
$$\frac{ds}{st} = \frac{d}{dt}(r\theta)$$

$$\left|\frac{ds}{st}\right| = \left|\frac{d}{dt}(r\theta)\right| = r\left|\frac{d\theta}{dt}\right|$$

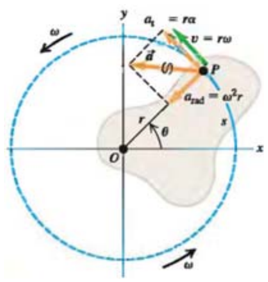
$$v = r\omega$$

រូបទី៨.៦ ទំនាក់ទំនងរវាងល្បឿន និងល្បឿនមុំនៃអង្គធាតុមួយវិលជុំវិញអ័ក្សនឹងមួយ។ ល្បឿនមុំ ωនៃអង្គធាតុរឹងមួយគឺជាម៉ូឌុលនៃវ៉ិចទ័រល្បឿនមុំ ដែលអត្រាប្រែប្រួលនៃωគឺ:

$$\alpha = d\omega/dt$$



រូបទី៨.៦ អង្គធាតុមួយវិលជុំវិញអ័ក្សនឹងមួយ



រូបទី៨.៧ ទំនាក់ទំនងរវាងសំទុះ និងសំទុះមុំ

ចំពោះចំនុចរូបធាតុមួយក្នុងអង្គធាតុរឹងនៅចំងាយ r ពីអ័ក្សរង្វិល (រូបទី៨.៧) នោះល្បឿន v និងសំទុះ $\vec{a}$ មានទំនាក់ទំនងទៅនឹង ω និង α តាមរូបមន្ត:

$$v = r\omega$$

$$a_{\tan} = \frac{dv}{dt} = r\frac{d\omega}{dt} = r\alpha$$

$$a_{\mathrm{rad}} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

៨.៣ ថាមពលស៊ីនេទិចនៃចលនារង្វិល

យើងដឹងថា អង្គធាតុមួយផ្សំឡើងដោយភាគល្អិតជាច្រើនមានម៉ាស $m_1, m_2, \ldots$ នៅចំងាយ $r_1, r_2, \ldots$ ពីអ័ក្សរង្វិល។ ពេលដែលអង្គធាតុវិលជុំវិញអ័ក្សនឹងមួយដោយល្បឿនមុំ ω នោះភាគល្អិតទី i ណាមួយមានល្បឿន $v_i = r_i\omega$ ។ ដូចនេះ ថាមពលស៊ីនេទិចរបស់វាអាចសរសេរ:

$$\frac{1}{2}m_i v_i^2 = \frac{1}{2}m_i r_i^2 \omega^2$$

ថាមពលស៊ីនេទិចសរុបនៃអង្គធាតុជាផលបូកថាមពលស៊ីនេទិចនៃភាគល្អិតទាំងអស់ចូលគ្នា។ យើងបាន:

$$K = \frac{1}{2}m_1 r_1^2 \omega^2 + \frac{1}{2}m_2 r_2^2 \omega^2 + \cdots = \sum_i \frac{1}{2}m_i r_i^2 \omega^2$$

ឬយើងអាចសរសេរ:

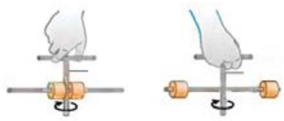
$$K = \frac{1}{2}(m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \cdots)\omega^2 = \frac{1}{2}\left(\sum_i m_i r_i^2\right)\omega^2$$

ដែលម៉ូម៉ង់និចលភាព I នៃអង្គធាតុមួយវិលជុំវិញអ័ក្សមួយគឺ វាស់ពីនិចលភាពនៃរង្វិល របស់វាគេនិចលភាពកំណត់សរសេរ:

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \cdots = \sum_i m_i r_i^2$$

ដូចនេះ ថាមពលស៊ីនេទិចនៃចលនារង្វិលនៃអង្គធាតុវិលជុំវិញអ័ក្សនឹងមួយគឺ:

$$K = \frac{1}{2}I\omega^2$$



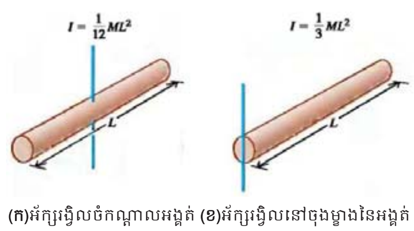
(ក) (ខ)

(ក)ម៉ាសនៅជិតអ័ក្សរង្វិលមានម៉ូម៉ង់និចលភាពតូច

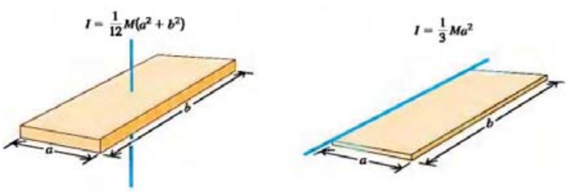
(ខ) ម៉ាសនៅឆ្ងាយពីអ័ក្សរង្វិលមានម៉ូម៉ង់និចលភាពធំ

រូបទី៨.៨ ម៉ូម៉ង់និចលភាពប្រែប្រួលតាមទីតាំងរបស់ម៉ាស

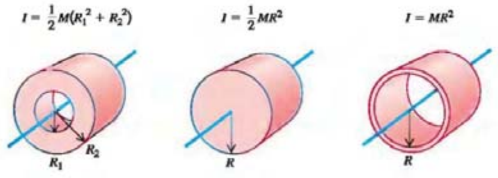
រូបទី៨.៩ បង្ហាញពីម៉ូម៉ង់និចលភាពនៃអង្គធាតុមួយចំនួន។



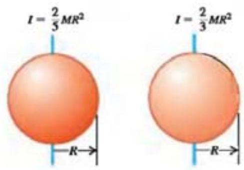
(ក)អ័ក្សរង្វិលចំកណ្តាលអង្កត់ **(ខ)**អ័ក្សរង្វិលនៅចុងម្ខាងនៃអង្កត់



(គ) អ័ក្សរង្វិលចំកណ្តាលបន្ទះចតុកោណ **(ឃ)** អ័ក្សរង្វិលចុងម្ខាងនៃបន្ទះចតុកោណ



(ង) ស៊ីឡាំងប្រហោង (ច) ស៊ីឡាំងតាន់ (ឆ) សំបកស៊ីឡាំង



(ជ)ស្វែតាន់ (ឈ) សំបកស្វែ

រូបទី៨.៩ ម៉ូម៉ង់និចលភាពនៃអង្គធាតុផ្សេងៗ

៨.៤ ទ្រឹស្ដីអ័ក្សរង្វិលស្រប

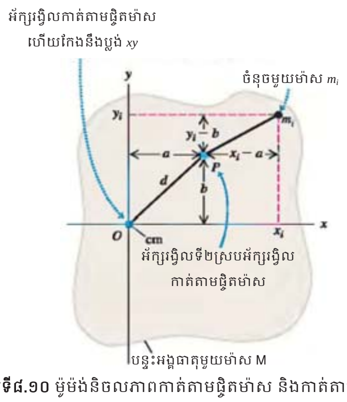
យើងសិក្សាលើអ័ក្សរង្វិលពីរស្របគ្នាតាមអ័ក្ស z ដែលមួយកាត់តាមផ្ចិតម៉ាស និងមួយទៀតកាត់តាមចំនុច P។ ដោយយកគល់អ័ក្សត្រង់ទីតាំងផ្ចិតម៉ាស $x_{\mathrm{CM}} = 0, y_{\mathrm{CM}} = 0, z_{\mathrm{CM}} = 0$ ហើយ ចំនុច P មានកូអរដោនេ (a, b) ដូចរូបទី៨.១០។

យើងសិក្សាចំនុច m_i មួយមានកូអរដោនេ (x_i, y_i, z_k) នោះយើងបាន ម៉ូម៉ង់និចលភាពនៃអង្គធាតុវិលជុំវិញផ្ចិតម៉ាសអាចសរសេរ:

$$I_{\mathrm{cm}} = \sum_i m_i \left(x_i^2 + y_i^2\right)$$

ម៉ូម៉ង់និចលភាពនៃអង្គធាតុវិលជុំវិញចំនុច P អាចសរសេរ:

$$\begin{aligned} I_{\mathrm{P}} &= \sum_i m_i \left[\left(x_i - a\right) + \left(y_i - b\right)\right] \\ &= \sum_i m_i \left(x_i^2 + y_i^2\right) - 2a\sum_i m_i x_i - 2b\sum m_i y_i \\ &+ (a^2 + b^2)\sum_i m_i \\ &\Rightarrow I_{\mathrm{P}} = I_{\mathrm{cm}} + Md^2 \end{aligned}$$



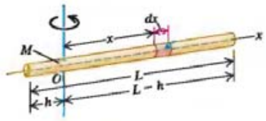
រូបទី៨.១០ ម៉ូម៉ង់និចលភាពកាត់តាមផ្ចិតម៉ាស និងកាត់តាមចំនុច P

៨.៥ គណនាម៉ូម៉ង់និចលភាព

យើងសិក្សាលើម៉ូម៉ង់និចលភាពនៃអង្គធាតុរឹងមួយ ដូចជាស៊ីឡាំងតាន់ ស្វែតាន់ ដែលមានដង់ស៊ីតេថេរ។ យើងអង្កន់ម៉ាសរបស់អង្គធាតុទៅជាម៉ាស dm ដូចនេះ យើងបាន ម៉ូម៉ង់និចលភាពរបស់អង្គធាតុរឹងត្រូវបានគណនាដូចខាងក្រោម:

$$\begin{aligned} I &= \int r^2 dm \\ &= \rho\int r^2 dV \\ &= \rho\int r^2 dxdydz \end{aligned}$$

ឧទាហរណ៍ទី១ រូបទី៨.១១ បង្ហាញពីអង្កត់មួយមានម៉ាស M ប្រវែង L ធ្វើចលនារង្វិលជុំវិញអ័ក្សដូចរូប។ គណនាម៉ូម៉ង់និចលភាពជុំវិញអ័ក្សរង្វិលកាត់តាមចំនុច O។



រូបទី៨.១១ ម៉ូម៉ង់និចលភាពនៃអង្កត់វិលជុំវិញអ័ក្សនឹងមួយកាត់តាមO

ម៉ូម៉ង់និចលភាពអាចសរសេរ:

$$I = \int x^2 dm$$

ដោយ $\frac{dm}{M} = \frac{dx}{L}$ ដូចនេះយើងបាន $dm = \frac{M}{L}dx$ នោះយើងបាន:

$$I = \frac{M}{L}\int_{-h}^{L-h} x^2 dx$$

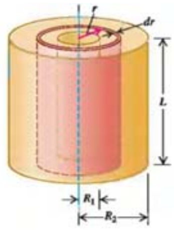
$$= \frac{1}{3}M(L^2 - 3Lh + 3h^2)$$

បើ $h = 0$ នោះយើងបាន $I = \frac{1}{3}ML^2$

បើ $h = L$ នោះយើងបាន $I = \frac{1}{3}ML^2$

បើ $h = \frac{1}{2}L$ នោះយើងបាន $I = \frac{1}{12}ML^2$

ឧទាហរណ៍ទី២ រូបទី៨.១២ បង្ហាញពីស៊ីឡាំងប្រហោងមួយមានម៉ាស M កាំក្នុង R_1 និងកាំក្រៅ R_2 និងកំពស់ L ធ្វើចលនារង្វិលជុំវិញអ័ក្សរបស់វា។ គណនាម៉ូម៉ង់និចលភាពជុំវិញអ័ក្សរង្វិល។



រូបទី៨.១២ ស៊ីឡាំប្រហោងវិលជុំវិញអ័ក្ស

ម៉ូម៉ង់និចលភាពអាចសរសេរ:

$$I = \int r^2 dm$$

ដោយ $dm = \rho dV = \rho(2\pi rLdr)$ នោះយើងបាន:

$$I = \int_{R_1}^{R_2} r^2(\rho 2\pi rLdr)$$

$$= \rho 2\pi L \int r^3 dr = \frac{\rho 2\pi L}{4}(R_2^4 - R_1^4)$$

$$= \frac{\rho\pi L}{2}(R_2^2 - R_1^2)(R_2^2 + R_1^2)$$

ដោយ $V = \pi L(R_2^2 - R_1^2)$និង $M = \rho V = \rho\pi L(R_2^2 - R_1^2)$ ។ ដូចនេះ យើងបាន

$$I = \frac{1}{2}M(R_2^2 + R_1^2)$$

បើស៊ីឡាំងនេះ ជាស៊ីឡាំងតាន់ $(R_1 = 0)$ ដូចនេះ យើងបានម៉ូម៉ង់និចលភាពនៃស៊ីឡាំងតាន់ស្មើនឹង $I = \frac{1}{2}MR^2$ ។

បើស៊ីឡាំងនេះ ជាសំបកស៊ីឡាំង $(R_1 = R_2)$ ដូចនេះ យើងបានម៉ូម៉ង់និចលភាពនៃស៊ីឡាំងតាន់ស្មើនឹង $I = MR^2$ ។

ឧទាហរណ៍ទី៣ រូបទី៨.១៣ បង្ហាញពីស្វ៊ែតាន់មួយមានម៉ាស M កាំ R ធ្វើចលនារង្វិលជុំវិញអ័ក្សកាត់តាមផ្ចិត។ គណនាម៉ូម៉ង់និចលភាពជុំវិញអ័ក្សរង្វិល។

ម៉ូម៉ង់និចលភាពអាចសរសេរ:

$$I = \int r^2 dm$$

ដោយ $r = \sqrt{R^2 - x^2}$,

$dV = \pi r^2 dx = \pi(R^2 - x^2)dx$ និង

$dm = \rho dV = \rho\pi(R^2 - x^2)dx$

តាមឧទាហរណ៍ទី២ យើងមានម៉ូម៉ង់និចលភាពនៃថាសមួយមានកាំ r និងម៉ាស dm គឺ:

$$dI = \frac{1}{2}r^2 dm = \frac{1}{2}\left(\sqrt{R^2 - x^2}\right)^2 [\rho\pi(R^2 - x^2)dx]$$

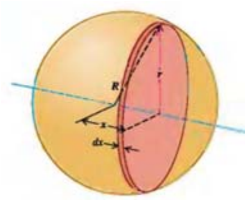
$$= \frac{\pi\rho}{2}(R^2 - x^2)^2 dx$$

ដោយធ្វើអាំងតេក្រាលកំណត់ x ពី 0 ទៅ R នៃសមីកាខាងលើជាម៉ូម៉ង់និចលភាពពាក់កណ្ដាលស្វៃខាងស្ដាំ។ ដូចនោះយើងបាន:

$$I = (2)\int_0^R \frac{\pi\rho}{2}(R^2 - x^2)^2 dx$$
$$= \frac{8\pi\rho}{15}R^5$$

ដោយ $M = \frac{4\pi\rho R^3}{3}$ ដូចនេះយើងបាន:

$$I = \frac{2}{5}MR^2$$



រូបទី៨.១៣ ស្វៃតាន់មួយវិលជុំវិញអ័ក្សរង្វិលកាត់តាមផ្ចិត

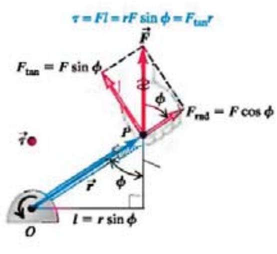
មេរៀនទី៩ ឌីណាមិចនៃចលនារង្វិល

៩.១ ម៉ូម៉ង់បង្វិល

ពេលដែលកំលាំង $\vec{F}$ មួយមានអំពើលើអង្គធាតុមួយដូចរូបទី៩.១ នោះម៉ូម៉ង់បង្វិលនៃកំលាំងធៀបនឹងចំនុច O មួយអោយដោយ:

$$\tau = Fl = rF\sin\phi = F_{\tan} r$$
$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

ដែល F ជាកំលាំង l ជាដៃឃ្នាស់។



រូបទី៩.១ ម៉ូម៉ង់បង្វិលនៃកំលាំង

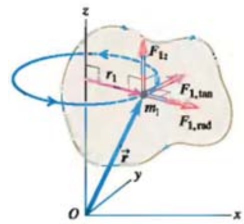
ដែលទិសដៅរបស់ម៉ូម៉ង់បង្វិលត្រូវរកតាមវិធានដៃស្ដាដូចរូបទី៩.២។

រូបទី៩.២ បង្ហាញពីទិសដៅម៉ូម៉ង់បង្វិល

៨.២ ឌីណាមិចនៃចលនារង្វិល

ចលនារង្វិលក៏ស្រដៀងគ្នាទៅនឹងច្បាប់ទី២របស់ញ៉ូតុនដែរ ដែលបានពោលថា ម៉ូម៉ង់បង្វិលសរុបមានអំពើលើអង្គធាតុមួយស្មើទៅនឹងផលគុណម៉ូម៉ង់និចចលភាព និងសំទុះមុំរបស់វា។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\sum \tau_z = I\alpha_z$$



រូបទី៩.៣ អង្គធាតុមួយធ្វើចលនារង្វិលជុំវិញអ័ក្ស z ក្រោមអំពោះនៃកំលាំង $\overrightarrow{F_1}$

៩.៣ចលនារំកិល និងចលនារង្វិល

បើអង្គធាតុមួយមានចលនារង្វិលផង និងចលនារង្កិល នោះចលនារបស់វាជាចលនារំកិលនៃផ្ចិតម៉ាស និងចលនារង្វិលជុំវិញផ្ចិតម៉ាសរបស់វា។ ដូចនេះថាមពលស៊ីនេទិចជាផលបូកថាមពលស៊ីនេទិចនៃចលនាទាំងពីរ។ គេកំណត់សរសេរ:

$$K = \frac{1}{2}Mv_{CM}^2 + \frac{1}{2}I_{CM}\omega^2$$

យើងតាមច្បាប់ទីពីរញ៉ូតុន យើងមានទំនាក់ទំនងដូចខាងក្រោម។

$$\sum \vec{F}_{ext} = M\vec{a}_{CM}$$
$$\sum I_{CM}\alpha_z$$

ករណីចលនារង្វិកគ្មានរអិល យើងអាចសរសេរទំនាក់ទំនង។

$$v_{CM} = R\omega$$

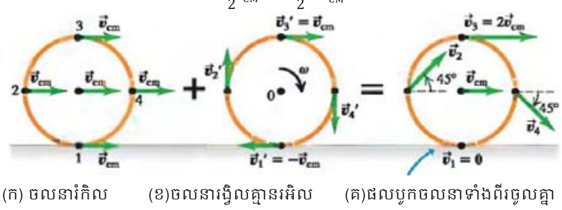
រូបទី៩.៤ បង្ហាញពីវ៉ិចទ័រល្បឿននៃចំនុចមួយនៅលើកង់រថយន្តគឺជាផលបូកវ៉ិចទ័រនេល្បឿនរបស់ផ្ចិតម៉ាស និងវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ចំនុចរូបធាតុធៀបទីនឹងផ្ចិតម៉ាស។

ចំពោះចលនារង្វិលក្នុងរូបទី៩.៤ ថាមពលស៊ីនេទិចនៃកង់គឺ:

$$K = \frac{1}{2}I_1\omega^2$$

ដែល I_1 ជាម៉ូម៉ង់និចលភាពរបស់កង់រថយន្តកាត់តាមចំនុចទី1 ។ ប៉ុន្តែ តាមទ្រឹះស្តីអ័ក្សរង្វិលស្រប យើងមាន $I_1 = I_{CM} + MR^2$ ដែល Mជាម៉ាសរបស់កង់រថយន្ត និង I_{CM} ជាម៉ូម៉ង់និចលភាពកាត់តាមផ្ចិតម៉ាស។ ដូចនេះយើងបាន:

$$K = \frac{1}{2}I_1\omega^2 = \frac{1}{2}(I_{CM} + MR^2)\omega^2$$
$$= \frac{1}{2}I_{CM}\omega^2 + \frac{1}{2}MR^2\omega^2$$
$$= \frac{1}{2}I_{CM}\omega^2 + \frac{1}{2}Mv_{CM}^2$$



(ក) ចលនារំកិល (ខ)ចលនារង្វិលគ្មានរអិល (គ)ផលបូកចលនាទាំងពីរចូលគ្នា

រូបទី៩.៤ ចលនារំកិល និងចលនារង្វិលនៃកង់រថយន្ត

៩.៤ កម្មន្តបំពេញដោយម៉ូម៉ង់បង្វិល

ពេលដែលម៉ូម៉ង់បង្វិលមានអំពើលើអង្គធាតុមួយ គឺវាធ្វើកម្មន្តលើអង្គធាតុពេលដែលអង្គធាតុធ្វើចលនារង្វិល (រូបទី៩.៥) ដូចខាងក្រោម:

យើងផ្តល់កំលាំង$\vec{F}_{tan}$ទៅលើគែមថាស (រូបទី៩.៥ ក) ហើយចំពោះបំលាស់ទីមុំ $d\theta$ ក្នុងរយៈdt យើបានកម្មន្តបំពេញដោយកំលាំនេះគឺ

$$dW = F_{tan}ds = F_{tan}Rd\theta$$

ដោយ $F_{tan}R = \tau_z$ នោះយើងបាន

$$dW = \tau_z d\theta$$

ដូចនេះ កម្មន្តសរុបធ្វើដោយម៉ូម៉ង់បង្វិលចំពោះបំលាស់ទីមុំពីθ_1ទៅ θ_2គេកំណត់សរសេរ:

$$W = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \tau_z d\theta$$

យើងក៏អាចសរសេរក្រោមទំរង់:

$$\tau_z d\theta = (I\alpha_z)d\theta = I\frac{d\omega_z}{dt}d\theta = I\frac{d\theta}{dt}d\omega_z = I\omega_z d\omega_z$$

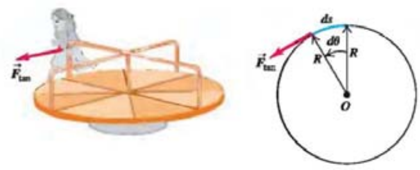
$$W_{tot} = \int_{\omega_1}^{\omega_2} I\omega_z d\omega_z$$

តាមទ្រឹស្តីកម្មន្ត និងថាមពល ពោលថា កម្មន្តនៃចលនារំកិលសរុបធ្វើលើអង្គធាតុស្មើទៅនឹងបំរែបំរួលថាមពលស៊ីនេទិចនៃចលនារង្វិល។ គេកំណត់សរសេរ:

$$W_{tot} = \frac{1}{2}I\omega_2^2 - \frac{1}{2}I\omega_1^2$$

ចំពោះម៉ូម៉ង់បង្វិលថា យើងបាន:

$$W = \tau_z(\theta_2 - \theta_1) = \tau_z\Delta\theta$$



រូបទី៩.៥ កម្មន្តបំពេញដោយកំលាំង$\vec{F}_{tan}$

អានុភាពឬអត្រានៃម៉ូម៉ង់បង្វិលធ្វើកម្មន្តគឺជាផលគុណនៃម៉ូម៉ង់បង្វិល និងវ៉ិចទ័រល្បឿនមុំ។ គេកំណត់សរសេរ:

$$P = \frac{dW}{dt} = \tau_z\frac{d\theta}{dt} = \tau_z\omega_z$$

៩.៥ ម៉ូម៉ង់ស៊ីនេទិច

ម៉ូម៉ង់ស៊ីនេទិចនៃចំនុចរូបធាតុមួយធៀបនឹងចំនុច O មួយគឺជាផលគុណវ៉ិចទ័រនៃវ៉ិចទ័រទីតាំងធៀបនឹង O និងបរិមាណចលនារបស់វា។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v}$$

ពេលដែលអង្គធាតុស៊ីមេទ្រីមួយវិលជុំវិញអ័ក្សនឹងមួយ នោះម៉ូម៉ង់ស៊ីនេទិចរបស់វាស្មើនឹងផលគុណម៉ូម៉ង់និចលភាព និងវ៉ិចទ័រល្បឿនមុំរបស់វា។ គេកំណត់សរសេរ:

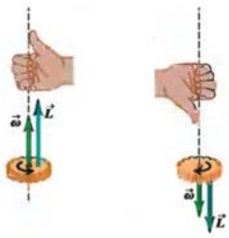
$$\vec{L} = I\vec{\omega}$$

ម៉ូម៉ង់បង្វិលមានអំពើលើប្រព័ន្ធមួយស្មើទៅនឹងអត្រាបំរែបំរួលម៉ូម៉ង់ស៊ីនេទិច។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\sum \vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

បើម៉ូម៉ង់បង្វិលស្មើសូន្យ នោះម៉ូម៉ង់ស៊ីនេទិចមានតំលៃថេរ។

ទិសដៅម៉ូម៉ង់ស៊ីនេទិចរកតាមវិធានដៃស្តាំដូចរូបទី៩.៦។



រូបទី៩.៦ បង្ហាញពីការរកទិសដៅម៉ូម៉ង់ស៊ីនេទិចតាមវិធានដៃស្តាំ

មេរៀនទី១០ រលកមេកានិច

១០.១ រលក

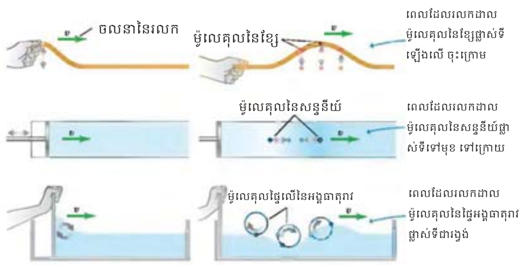
រលកគឺជារំញ្ជួយណាមួយពីទីតាំងលំនឹង ដែលដាលពីកន្លែងមួយទៅកន្លែងមួយទៀត (រូបទី១០.១)។ រលកមេកានិចតែងតែដាលតាមរយៈមជ្ឈដ្ឋានណាមួយជានិច្ច។

រលកដាលដោយល្បឿន v អាស្រ័យលើប្រភេទនៃរលក និងលក្ខណៈរបស់មជ្ឈដ្ឋាន។ ចំពោះរលកខួបមួយយើងមាន:

$$v = \lambda f = \lambda / T$$

រលកទទឹង: បំលាស់ទីនៃមជ្ឈដ្ឋានកែងទៅនឹងទិសដំណាលនៃរលក។

រលកបណ្ដោយ: បំលាស់ទីនៃមជ្ឈដ្ឋានស្របទៅនឹងទិសដំណាលនៃរលក។



រូបទី១០.១ ប្រភេទរលកមេកានិច (ក) រលកទទឹង (ខ) រលកបណ្ដោយ
(គ) រលកលើផ្ទៃអង្គធាតុរាវ

១០.២ អនុគមន៍រលកស៊ីនុយសូអ៊ីត

ឧបមាថា បំលាស់ទីនៃផង់មួយនៅត្រង់ចុងម្ខាងនៃខ្សែ (x=0) អោយដោយ

$$y(x=0,t) = Acos\omega t = Acos2\pi f t$$

មានន័យថាផង់ផ្លាស់ទីក្រោមលំយោលអាម៉ូនិចមានអំព្លីទូតAប្រេកង់fនិងប្រេកង់មុំω។

បើរលកផ្លាស់ទីទៅមុខ ដោយល្បឿន v ថេរ នោះរយៈពេលដែលរលកដាលបានចំងាយ x គឺស្មើនឹង x/v ។ ដូចនេះ សមីការចលនាត្រង់ទីតាំង x នៅខណៈពេល t ក៏ដូចគ្នាទៅនឹងសមីការចលនាត្រង់ទីតាំង $x = 0$ នៅខណៈ$t - x/v$។ ដូចនេះ យើងអាចសរសេរ:

$$y(x,t) = Acos\omega t = Acos[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)]$$

ដោយ $cos\theta = \cos(-\theta)$ដូចនេះយើងបាន:

$$y(x,t) = Acos\omega t = Acos\left[\omega\left(\frac{x}{v} - t\right)\right] = Acos\left[2\pi f\left(\frac{x}{v} - t\right)\right]$$

(រលកស៊ីនុយសូអ៊ីតផ្លាស់ទីតាមទិសដៅ +x)

ដោយ $T = \frac{1}{f}$ និង $f = \frac{1}{T}$ ហើយ $\lambda = \frac{v}{f}$ និង $v = \lambda f$ ដូចនេះយើងបាន:

$$y(x,t) = Acos\left[\frac{2\pi}{T}\left(\frac{x}{\lambda f} - t\right)\right] Acos\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)\right]$$

ដោយ $k = \frac{2\pi}{\lambda}, \lambda = \frac{2\pi}{k}$ ដែល k ហៅថាចំនួនរលក និង $f = \omega/2\pi$

ដោយ $v = \lambda f = \frac{2\pi}{k}\frac{\omega}{2\pi} = \frac{\omega}{k} \Rightarrow \omega = vk$

ដូចនេះយើងបាន:

$$y(x,t) = Acos(kx - \omega t)$$

(រលកស៊ីនុយសូអ៊ីតផ្លាស់ទីតាមទិសដៅ +x)

យើងអាចសរសេរ:

$$y(x,t=0) = Acos(kx) = Acos(\frac{2\pi x}{\lambda}) \qquad \text{(រូបទី១០.២ (ក)}$$

$$y(x=0,t) = Acos(-\omega t) = Acos(\omega t) = Acos(\frac{2\pi t}{T})$$ (រូបទី១០.២ (ខ))

ដូចគ្នាដែរ ចំពោះរលកស៊ីនុយសូអ៊ីតដាលតាមទិសដៅ-xយើងបានសមីការទីតាំងនៃចំនុច x នៅខណៈពេល t ស្មើនឹងសមីការទីតាំងនៃចំនុច $x = 0$ នៅខណៈពេល $t + x/v$ ។ ដូចនេះ យើងបានសមីការរលកផ្លាស់ទីតាមទិសដៅ $-x$ គឺ

$$y(x,t) = Acos2\pi f\left(\frac{x}{v}+t\right) = Acos2\pi\left(\frac{x}{\lambda}+\frac{t}{T}\right) = Acos(kx+\omega t)$$

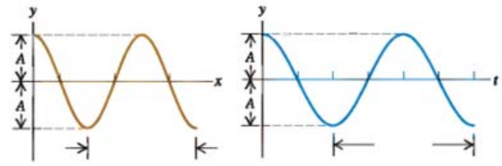
(រលកស៊ីនុយសូអ៊ីតផ្លាស់ទីតាមទិសដៅ - x)

ដូចនេះ យើងអាចសរសេរសមីការរលកដាលតាមទិស x ដូចខាងក្រោម:

$y(x,t) = Acos(kx \pm \omega t)$ ដែល $kx \pm \omega t$ ហៅថាផាស។

យើងអាចគណនាល្បឿនដំណាលនៃរលកតាមទិសដៅ+xដោយធ្វើដេរីវេនៃ x ធៀបនឹង ពេល t ។ ដូចនេះយើងបាន: $v = \frac{dx}{dt} = \omega/k$

រូបទី១០.២ បង្ហាញពីអនុគមន៍រលក y ជាអនុគមន៍នៃ x ត្រង់ពេល $t = 0$ និងអនុគមន៍រលក y ជាអនុគមន៍នៃ t ត្រង់ពេល $x = 0$ ។



រូបទី១០.២ ក្រាបនៃអនុគមនរលកមេកានិច

(ក) អនុគមន៍រលក y ជាអនុគមន៍នៃ x ត្រង់ពេល $t = 0$

(ខ) អនុគមន៍រលក y ជាអនុគមន៍នៃ t ត្រង់ពេល $x = 0$

១០.៣ វ៉ិចទ័រល្បឿន និងវ៉ិចទ័រសំទុះរបស់ម៉ូលេគុលក្នុងរលកស៊ីនុយសូអ៊ីត

វ៉ិចទ័រល្បឿនជាដេរីវេសមីការទីតាំងធៀបនឹងពេល។ គេកំណត់សរសេរ:

$$v_y = \frac{d}{dt}[(y(x,t)] = A\omega sin(kx-\omega t)$$

វ៉ិចទ័រសំទុះជាដេរីវេវ៉ិចទ័រល្បឿនធៀបនឹងពេល។ គេកំណត់សរសេរ:

$$a_y = \frac{d^2}{dt^2}((y(x,t)) = -A\omega^2 cos(kx-\omega t) = -\omega^2 y(x,t)$$

១០.៤ គោលការណ៍តម្រួត និងអាំងទែផេរ៉ង់នៃរលក

គោលការណ៍តម្រួតពោលថា កាលណារលកពីរឬច្រើនដាលក្នុងមជ្ឈដ្ឋានតែមួយ នោះតំលៃសរុបនៃអនុគមន៍រលកត្រង់ចំនុចមួយគឺជាផលបូកពិជគណិតនៃតំលៃអនុគន៍រលកនិមួយៗចូលគ្នា។ គេកំណត់សរសេរ:

$$y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$$

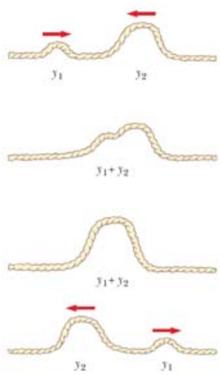
ឧទាហរណ៍ យើងមានរលកពីរ

$$y_1(x,t) = Asin(kx-\omega t) \text{ និង } y_1(x,t) = Asin(kx-\omega t+\emptyset)$$

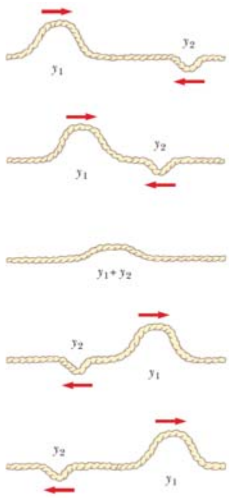
យើងបាន $y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$

$$= Asin(kx-\omega t) + Asin(kx-\omega t+\emptyset)$$

$$= 2Acos\left(\frac{\emptyset}{2}\right)sin\left(kx-\omega t+\frac{\emptyset}{2}\right)$$



រូបទី១០.៣ ទាំងទែផេរ៉ងសង់



រូបទី១០.៤ អាំងទែផេរ៉ងបំផ្លាញ

រូបទី១០.៣ និងរូបទី១០.៤ បង្ហាញពីរលកពីរដាលកាត់គ្នាក្នុងមជ្ឈដ្ឋានខ្សែមួយ ដែលរូបទី១០.៣បង្ហាញពីរលកល $y_1(x,t)$ និង$y_2(x,t)$ មានផាសស្របគ្នា។ នោះជំនួបនៃរលកទាំងពីរបង្កើតបានជាអាំងទែផេរ៉ង់សង់ ហើយលរូបទី១០.៤ បង្ហាញពីរលកល $y_1(x,t)$ និង $y_2(x,t)$ មានផាសឈមគ្នា។ នោះជំនួបនៃរលកទាំងពីរបង្កើតបានជាអាំងទែផេរ៉ង់បំផ្លាញ។

អាំងទែផេរ៉ង់: ផលបូកនៃអនុគមន៍រលកក្នុងមជ្ឈដ្ឋានមួយនៃលំហាបង្កើតបានជារលកផ្គួបមួយហៅថាអាំងទែផេរ៉ង់។ ត្រង់ទីតាំងមួយ បើរលកពីរផ្លាស់ទីតាមទិសដៅ(តាមអ័ក្ស y) ដូចគ្នា នោះផលបូកនៃរលកទាំងពីរបង្កើតបានជាអាំងទែផេរ៉ង់សង់(រូបទី១០.៣)

ហើយបើរលកពីរផ្លាស់ទីតាមទិសដៅផ្ទុយគ្នា(តាមអ័ ក្ស y) នោះផលបូកនៃរលកទាំងពីរបង្កើតបានជាអាំងទែផេរ៉ង់បំផ្លាញ (រូបទី១០.៤)។

១០.៥ រលកជញ្រ្ជាំ

បើរលកពីរ $y_1(x,t)$ និង$y_2(x,t)$ មានអំព្លីទូតដូចគ្នា ខួបដូចគ្នា និងជំហានរលកដូចគ្នាដាលក្នុងមជ្ឈដ្ឋានតែមួយតាមទិសដៅផ្ទុយគ្នា នោះតម្រួតនៃរលកទាំងពីរបង្កើតបានជារលកមួយហៅថា រលកជញ្រ្ជាំ។ តាងរលក $y_1(x,t)$ ជារលកចាំងប៉ះផ្លាស់ទីទៅឆ្វេង និង តាងរលក $y_2(x,t)$ ជារលកចាំងផ្លាតត្រង់ $x=0$ ផ្លាស់ទីទៅស្តាំ។ ដែល

$$y_1(x,t) = -Acos(kx+\omega t) \text{ (រលកចាំងប៉ះផ្លាស់ទីទៅឆ្វេង)}$$

$$y_2(x,t) = Acos(kx-\omega t)\text{(រលកចាំងផ្លាតផ្លាស់ទីទៅស្តាំ)}$$

ដូចនេះយើងអាចសរសេរ:

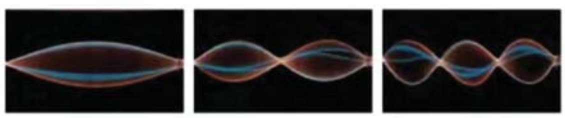
$$y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t) = [-Acos(kx+\omega t) + Acos(kx-\omega t)]$$

យើងមាន $\cos(a \pm b) = \cos a \cos b \mp \sin a \sin b$។ ដូចនេះ យើងបាន:

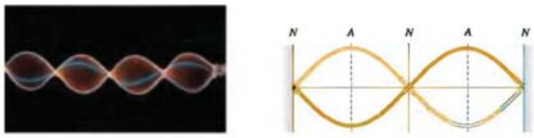
$$y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$$

$$= (2A\sin kx)\sin\omega t = (A_{SW}\sin kx)\sin\omega t$$

រូបទី១០.៥ បង្ហាញពីខ្សែមួយចងចុងម្ខាងនៅខាងឆ្វេង និងចុងម្ខាងទៀតរបស់វាភ្ជាប់ទៅនឹងឧបករណ៍បង្កើតលំយោល ផ្លាស់ទីឡើងលើចុះក្រោមជាចលនាអាម៉ូនិចដែលបង្កើតបានជារលកដាលទៅឆ្វេង ($y_1(x,t)$) ហើយរលកចាំងផ្លាតដាលពីចុងចុងខាងឆ្វេងទៅស្តាំ ($y_2(x,t)$) នោះផលបូកនៃរលកទាំងពីរជារលកជញ្រ្ជាំ។



(ក)ប្រវែងខ្សែស្មើពាក់កណ្តាលជំហានរលក (ខ)ប្រវែខ្សែស្មើជំហានរលក (គ)ប្រវែខ្សែស្មើ៣/២ជំហានរលក



(ឃ)ប្រវែខ្សែស្មើពីរជំហានរលក

(ង) ទីតាំងថ្នាំង និងទីតាំងពោះ

រូបទី១០.៥ រលកជញ្ជ្រុំ

ទីតាំងថ្នាំង (N): ថ្នាំងជាទីតាំងដែលបំលាស់ទី $y(x,t)=0$។ ត្រង់ចំនុចនេះបំលាស់ទី (តាមអ័ក្សឈរ) នៃរលកទាំងពីរស្មើគ្នា តែមានផាសឈមគ្នា ដូចនេះផលបូករលកទាំងពីរមានតំលៃស្មើសូន្យ (អាំងទែផេរ៉ងបំផ្លាញ)។

ទីតាំងពោះ (A): ចំកណ្តាលនៃថ្នាំងពីរជាប់គ្នា ជាទីតាំងដែលមានអំព្លីទូតធំបំផុត ហៅថាទីតាំងពោះ។ ត្រង់ចំនុចនេះបំលាស់ទីនៃរលកទាំងពីរស្មើគ្នា និងមានផាសស្របគ្នា ដូចនេះផលបូករលកទាំងពីរមានតំលៃអតិបរិមា (អាំងទែផេរ៉ងសង់)។

តាមសមីការខាងលើ យើងអាចរកទីតាំងថ្នាំង និងទីតាំងពោះបានដូចខាងក្រោម:

ទីតាំងថ្នាំង កើតមានពេលដែល $\sin kx=0$ ជាទីតាំងដែលបំលាស់ទីស្មើសូន្យ។ ដូចនេះយើងបាន:

$$kx=0,\pi,2\pi,3\pi,\ldots$$

ដោយ $k=\frac{2\pi}{\lambda}$ ដូចនេះ យើងបាន:

$$\frac{2\pi}{\lambda}x=0,\pi,2\pi,3\pi,\ldots\Rightarrow x=0,\frac{\lambda}{2},2\frac{\lambda}{2},3\frac{\lambda}{2},\ldots=\frac{n\lambda}{2},$$

$$n=1,2,3,\ldots$$

ទីតាំងពោះកើតមានពេលដែល $\sin kx=\pm 1$ ជាទីតាំងមានបំលាស់ទីអតិបរិមា។ ដូចនេះយើងបាន:

$$kx=\frac{\pi}{2},\frac{3\pi}{2},\frac{5\pi}{2},\ldots$$

ដោយ $k=\frac{2\pi}{\lambda}$ ដូចនេះ យើងបាន:

$$\frac{2\pi}{\lambda}x=\frac{\pi}{2},\frac{3\pi}{2},\frac{5\pi}{2},\ldots\Rightarrow x=\frac{\lambda}{4},3\frac{\lambda}{4},5\frac{\lambda}{4},\ldots=\frac{n\lambda}{4},$$

$$n=1,3,5,\ldots\ldots$$

យើងអាចសរសេរម្យាងទៀតចំពោះរលកជញ្ជ្រុំដូចខាងក្រោម:

$$y_1=A\sin(kx-\omega t) \text{ និង } y_1=A\sin(kx+\omega t)$$

នោះយើងបាន:

$$y(x,t)=y_1(x,t)+y_2(x,t)$$

$$=A\sin(kx-\omega t)+A\sin(kx+\omega t)=(2A\sin kx)\cos\omega t$$

ទីតាំងថ្នាំងកើតមានពេល $\sin kx=0$

មានន័យថា $\frac{2\pi}{\lambda}x=0,\pi,2\pi,3\pi,\ldots\Rightarrow x=0,\frac{\lambda}{2},2\frac{\lambda}{2},3\frac{\lambda}{2},\ldots=\frac{n\lambda}{2},$

$$n=1,2,3,\ldots$$

ទីតាំងពោះកើតមានពេលដែល $\sin kx=\pm 1$ ជាទីតាំងមានបំលាស់ទីអតិបរិមា។ ដូចនេះយើងបាន:

$$kx=\frac{\pi}{2},\frac{3\pi}{2},\frac{5\pi}{2},\ldots$$

ដោយ $k=\frac{2\pi}{\lambda}$ ដូចនេះ យើងបាន:

$$\frac{2\pi}{\lambda}x=\frac{\pi}{2},\frac{3\pi}{2},\frac{5\pi}{2},\ldots\Rightarrow x=\frac{\lambda}{4},3\frac{\lambda}{4},5\frac{\lambda}{4},\ldots=\frac{n\lambda}{4},$$

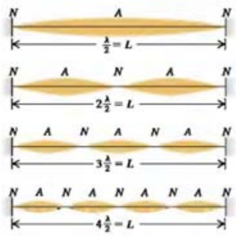
$$n=1,3,5,\ldots\ldots$$

ដូចនេះ យើងអាចសង្ខេបបានថា: ចំងាយរវាងពោះពីរជាប់គ្នាស្មើនឹង $\lambda/2$ ហើយចំងាយរវាងថ្នាំងពីរជាប់គ្នាស្មើនឹង $\lambda/2$ និងចំងាយរវាងថ្នាំង និងពោះជាប់គ្នាស្មើនឹង $\lambda/4$

រូបទី១០.៦ បង្ហាញពីខ្សែមួយចងចុងសងខាង បើរលកស៊ីនុយសូអ៊ីតមួយដាលលើខ្សែមួយនេះ នោះរលកជញ្ជ្រុំក្នុងខ្សែត្រូវតែមានថ្នាំងនៅចុងទាំងពីរនៃខ្សែ។ ដោយដឹងថាចំងាយរវាងថ្នាំងពីរនៅជាប់គ្នាស្មើនឹង $\lambda/2$ ។ ដូចនេះចំពោះប្រវែងខ្សែ L ត្រូវតែស្មើនឹង:

$$L = \frac{n\lambda}{2}, \qquad n = 1, 2, 3, \ldots \quad, \lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad f_n = \frac{v}{\lambda_n} = n\frac{v}{2L}$$

ដោយ $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ ដូចនេះ យើងបាន: $f_n = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$



រូបទី១០.៦ រលកជញ្ជ្រុំនៃខ្សែចងចុងសងខាង

មេរៀនទី១២ មេកានិចសន្ទនីយ៍

សន្ទនីយ៍គឺជាសារធាតុទាំងឡាយណាដែលអាចហូរ (ឧស្ម័ន និងអង្គធាតុរាវ)។ ឧស្ម័នជាសន្ទនីយ៍ អាចបណ្ណែនបាន ហើយអង្គធាតុរាវជាសន្ទនីយ៍ស្ទើតែមិនអាចបណ្ណែនបាន។

ស្តាទិចសន្ទនីយ៍សិក្សាពីសន្ទនីយ៍នៅស្ងៀមក្នុងស្ថានភាពលំនឹង។ឌីណាមិចសន្ទនីយ៍សិក្សាពីសន្ទនីយ៍មានចលនា។

១២.១ ដង់ស៊ីតេ និង សំពាធ

ដង់ស៊ីតេ (ម៉ាសមាឌ)នៃសារធាតុមួយអោយដោយរូបមន្ត:

$$\rho = m / V \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

សំពាធគឺជាកំលាំងកែងនឹងផ្ទៃក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃ។ គេកំណត់សរសេរ

$$p = dF_{\perp} / dA$$

បើសំពាធថេរគ្រប់ចំនុចនៃផ្ទៃ A មួយ នោះគេអាចសរសេរ:

$$p = F_{\perp} / A$$

១២.២ បំរែបំរួលសំពាធតាមជំរៅ

ក្នុងរូបទី១២.១ បើ p_1 និង p_2 ជាសំពាធនៅកំពស់ y_1 និង y_2 ។ នោះយើងបាន

$$\sum \vec{F} = Ap_1\vec{j} - Ap_2\vec{j} - dw\vec{j} = 0$$
$$p_1A - p_2A - \rho gAdy = 0$$
$$\Rightarrow p_1 - p_2 = \rho gdy$$
$$= \rho g(y_2 - y_1) = \rho gh$$

បើ y_2 ជាទីតាំងនៅលើផ្ទៃនៃសន្ទនីយ ដែល $P_2 = P_0$ ហើយ y_1 ជាទីតាំង y ណាមួយ

មានជំរៅ h នៅក្នុងសន្ទនីយ ដែល $P_1 = P$(សំពាធដាច់ខាត)

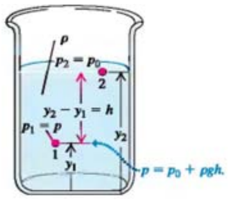
ដូចនេះ យើងបាន

$$p - p_0 = \rho gh$$
$$p = p_0 + \rho gh$$

សំពាធ gauge (សំពាធធៀប) គឺជាផលសងសំពាធដាច់ខាត និងសំពាធបរិយាកាស។

$$p + \rho g y_1 = p_0 + \rho g y_2$$
$$\Rightarrow p - p_0 = \rho g (y_2 - y_1) = \rho g h$$

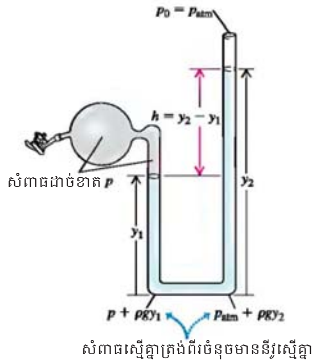
ដែល $P - P_0$ជាសំពាធហ្គេស និង $P_0 = 1 \text{ amt} = 1.013 \times 10^5$ Pa ជាសំពាធបរិយាកាស។



រូបទី១២.១ បំរែបំរួលសំពាធតាមរយៈជំរៅ

រូបទី១២.២ បង្ហាញពីការគណនាសំពាធហ្គេស។ យើងបាន:

$$p + \rho g y_1 = p_{atm} + \rho g y_2$$
$$p - p_{atm} = \rho g (y_2 - y_1) = \rho g h$$

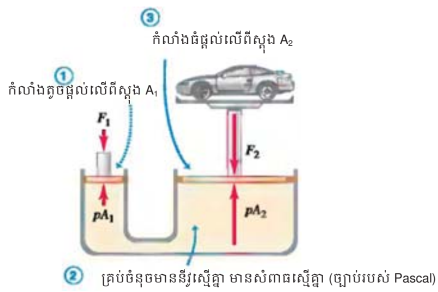


រូបទី១២.២ បង្ហាញពីការគណនាសំពាធហ្គេស

យោងតាមរូបមន្តខាងលើ យើងអាចអនុវត្តន៍បរែបំរួលសំធាតុក្នុងគោលការអ៊ីដ្រូលីស សំរាប់លើកអង្គធាតុដែលមានម៉ាសធំៗ ដោយគ្រាន់តែប្រើកំលាំងដ៏តូចមួយតែប៉ុណ្ណោះ។ ក្នុងរូបទី១២.៣ បង្ហាញពីរការអនុវត្តន៍នេះ។ តាមរូបយើងបាន:

$$\boldsymbol{p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1}$$

ដោយ $\boldsymbol{A_2}$ធំជាង $\boldsymbol{A_1}$ដូចនេះ យើងបាន កំលាំង$\boldsymbol{F_2}$ ធំជាង$\boldsymbol{F_1}$។



រូបទី១២.៣ ឧបករណ៍លើកម៉ាសធំៗតាមគោលការណ៍របស់ប៉ាស្កាល់

១២.៣ កំលាំងតំណោល និងគោលការណ៍អាស៊ីមែត

កំលាំងតំណោលស្មើទៅនឹងទំងន់អង្គធាតុរាវដែលញែកចេញ។ យើងសិក្សាទៅលើអង្គធាតុមួយនៅនៅនឹងថ្កល់ក្នុងសន្ទនីយ៍ដូចរូបទី១២.៤។ នោះយើងបាន:

$$B = p_b - p_t \; A = \rho_{fluid} g h \; A = \rho_{fluid} g V = Mg$$

ដែល M និង V ជាម៉ាស និងមាឌរបស់អង្គធាតុរាវដែលញែកចេញ។

ពេលដែលអង្គធាតុលិចទាំងស្រុងក្នុងសន្ទនីយ៍យើបាន:

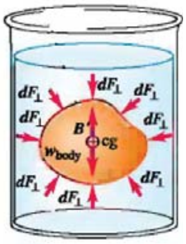
$$B = \rho_{fluid} g V = \rho_{fluid} g V_{obj}$$

ទំងន់របស់អង្គធាតុអាចសរសេរ:

$$F_g = Mg = \rho_{obj} g V_{obj}$$

ដូចនេះ យើងបាន:

$$B - F_g = (\rho_{fluid} - \rho_{obj}) g V_{obj}$$



រូបទី១២.៤ បង្ហាញពីកំលាំងដំណោលពេលអង្គធាតុមួយនៅក្នុងសន្ទនីយ៍

ដូចនេះយើងសន្និដ្ឋានបានថា បើ $\rho_{fluid} > \rho_{obj}$ នោះអង្គធាតុត្រូវអណ្តែតឡើងលើ ហើយបើ$\rho_{fluid} > \rho_{obj}$នោះអង្គធាតុត្រូវលិចក្នុងសន្ទនីយ៍។

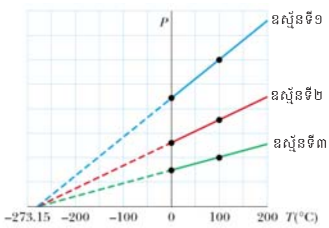
មេរៀនទី១៣ សីតុណ្ហភាព

១៣.១ ច្បាប់ទីសូន្យនៃទែម៉ូឌីណាមិច

បើអង្គធាតុ A និង B មានលំនឹងកំដៅជាមួយនឹងអង្គធាតុ C ដូចគ្នា នោះ A និង B ស្ថិតក្នុងលំនឹងកំដៅជាមួយគ្នា(មើលរូបទី១៣.១)។ ច្បាប់នេះហៅថាច្បាប់ទីសូន្យទែម៉ូឌីណាមិច។

រូបទី១៣.១ ច្បាប់ទីសូន្យនៃទែម៉ូឌីណាមិច

១៣.២ សីតុណ្ហភាព និងខ្នាត



រូបទី១៣.២ សំពាធប្រែប្រួលតាមសីតុណ្ហភាពមានមាឌថេរ

គ្រប់ទែម៉ូម៉ែត្រទាំងអស់អាចវាស់សីតុណ្ហភាពរបស់ប្រព័ន្ធមួយបាន អាស្រ័យលើបំរែបំរួលលក្ខណៈរូបរបស់ប្រព័ន្ធដូចជា (១)មាឌនៃអង្គធាតុរាវ (២)វិមាត្រនៃអង្គធាតុរឹង (៣)សំពាធនៃឧស្ម័ននៅមាឌថេរ (៤)មាឌនៃឧស្ម័ននៅសំពាធថេរ (៥)រេស៊ីស្តង់នៃអង្គធាតុចំលង និង(៦)ពណ៌របស់អង្គធាតុ។ រូបទី១៣.២ សំពាធប្រែប្រួលតាមសីតុណ្ហភាពមានមាឌថេរ។

ទំនាក់ទំនងសីតុណ្ហភាព:

$$T_C = T - 273$$

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32°F$$

ដែល T_C គិតជាអង្សាសេលសីស(°C) T គិតជាកែវិន(K) និង T_F គិតជាអង្សាផារិនហៃ(°F)។

១៣.៣ មេគុណរីកបណ្ដោយនៃអង្គធាតុរឹង និងរាវ

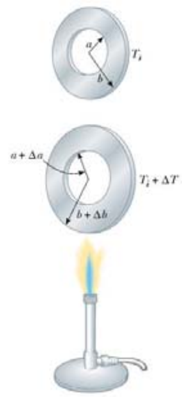
យើងសិក្សាលើកងមួយមានកាំក្នុង a និងកាំក្រៅ b ត្រូវនឹងសីតុណ្ហភាព T_i ពេលកងកើនសីតុណ្ហភាពបាន ΔT នោះគេសង្កេតឃើញកាំក្នុងកើនដល់ $a + \Delta a$ និងកាំក្រៅកើនដល់ $b + \Delta b$។ មេគុណការរីកបណ្ដោយកំណត់ដោយ:

$$\alpha \equiv \frac{\Delta L / L_i}{\Delta T}$$

$$\Delta L = \alpha L_i \Delta T \Rightarrow L_f - L_i = \alpha L_i (T_f - T_i)$$

និងមេគុណរីកមាឌកំណត់ដោយ (ព្រោះមេគុណរីកតាមវិមាត្រនិមួយៗស្មើគ្នា)

$$\beta = 3\alpha$$



រូបទី១៣.៣ បង្ហាញពីវិមាត្ររបស់អង្គធាតុរឹងពេលសីតុណ្ហភាពកើនឡើង

១៣.៤ ឧស្ម័នបរិសុទ្ធ

ជាទូទៅបរិមាណឧស្ម័នក្នុងមាឌមួយត្រូវបានកំណត់ដោយចំនួនម៉ូល n។ មួយម៉ូលនៃឧស្ម័នមាន $N_A = 6{,}022 \times 10^{23}$(ចំនួនអាវ៉ូកាដ្រូ) ម៉ូលេគុល។

រូបមន្តចំនួនម៉ូល: $n = \frac{m}{M}$

សមីការឧស្ម័នបរិសុទ្ធអោយដោយរូបមន្ត

$$PV = nRT$$

ដែល Pជាសំពាធក្នុងឧស្ម័ន V ជាមាឌរបស់ឧស្ម័ន n ចំនួនម៉ូល Rថេរសកលនៃឧស្ម័ន និង Tជាសីតុណ្ហភាពរបស់ឧស្ម័ន។

ដោយចំនួនម៉ូលេគុល ឬចំនួនអាតូមសរុបរបស់ឧស្ម័ន(ម៉ូណូអាតូម)

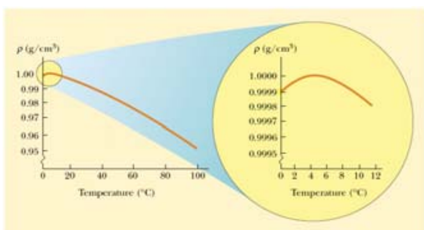
$$N = n \times N_A$$

ដូចនេះយើងបាន:

$$PV = nRT = \frac{N}{N_A}RT = Nk_BT$$

ដែល$k_B = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23}$J/Kហៅថាថេរ Boltzmann និង $R = 8.314$J/mol.K ឬ $R = 0.08214$L.atm/mol.K ហៅថាថេរឧស្ម័ន។

សំគាល់: គ្រប់អង្គធាតុទាំងអស់ពេលសីតុណ្ហភាពកើនឡើង នោះមាឌរបស់វាកើនឡើងដែរ។ ក៏ប៉ុន្តែ ចំពោះទឹក មានសីតុណ្ហភាពចន្លោះពី 0° ទៅ4° វាមានលក្ខណៈផ្ទុយពីសារធាតុដ៏ទៃ គឺថា ពេលសីតុណ្ហភាពកើនឡើង នោះមាឌរបស់វាថយចុះ ហើងពេលសីតុណ្ហភាពថយចុះ នោះមាឌរបស់វាកើនឡើង (រូបទី១៣.៥)។



រូបទី១៣.៥ លក្ខណៈពិសេសរបស់ទឹក

មេរៀនទី១៤ កំដៅ

១៤.១ កំដៅ និងថាមពលក្នុង

កំដៅគឺជាថាមពលដែលបានបញ្ជូនឆ្លងកាត់ព្រំដែននៃប្រព័ន្ធមួយជាមួយនឹងមជ្ឈដ្ឋានជំវិញវា។

ថាមពលក្នុង គឺជាថាមពលទាំងអស់នៃប្រព័ន្ធ ដែលជាថាមពលនៃអាតូម និង ម៉ូលេគុលក្នុងប្រព័ន្ធ។

ខ្នាតកំដៅ: កាឡូរី (cal) គឺជាបរិមាណថាមពលចាំបាច់ ដើម្បីអោយទឹក 1g កើនសីតុណ្ហភាពពី 14.5°C ទៅ15.5°C ។ ដែល 1 cal = 4.186J ។

១៤.២ ចំណុះកំដៅ និងកំដៅម៉ាស

បើ Q ជាថាមពលធ្វើអោយសារធាតុមួយប្រែប្រួលសីតុណ្ហភាព ΔTនោះយើងបាន:

$$Q = C\Delta T$$

កំដៅម៉ាស c នៃសារធាតុមួយគឺជាចំណុះកំដៅក្នុងមួយខ្នាតម៉ាស:$c \equiv Q/m\Delta T$ ឬ

$$Q = mc\Delta T$$

១៤.៣. កំដៅឡាតង់

បើ Q ជាថាមពលចាំបាច់ដើម្បីប្តូរភាពនៃសារធាតុម៉ាសមួយមាន m នោះផលធៀប $L \equiv \frac{Q}{m}$ ជាលក្ខណៈកំដៅយ៉ាងសំខាន់ ហៅថា **កំដៅឡាតង់**។

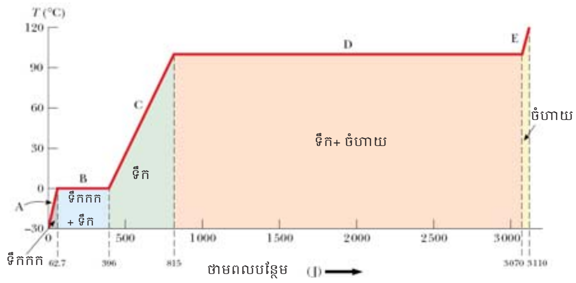
ថាមពលចាំបាច់ដើម្បីប្តូរភាពសារធាតុមួយមានម៉ាស m គឺ

$$Q = \pm mL$$

L_f ប្រើពេលដែលសារធាតុប្តូរភាពពីរឹងទៅរាវ និង L_vប្រើពេលសារធាតុប្តូរភាពពីរាវទៅឧស្ម័ន។

សញ្ញាវិជ្ជមានប្រើពេលដែលថាមពលត្រូវបានបញ្ចូលក្នុងប្រព័ន្ធ បណ្តាលអោយប្រព័ន្ធប្តូរភាព ពីរឹងទៅរាវ រឺពីរាវទៅឧស្ម័ន។

រូបទី១៤.១ បង្ហាញពីថាមពលដែលបានបន្ថែមដើម្បីបំលែងដុំទឹកកកមួយដុំមានម៉ាស 1g មានសីតុណ្ហភាព−30° ទៅជាចំហាយមានសីតុណ្ហភាព −120°។



រូបទី១ ៤.១ បរិមាណថាមពលដែលបានបញ្ជូនចូលប្រព័ន្ធ

ផ្នែក A : $Q = m_i c_i \Delta T = (1 \times 10^{-3}\text{kg})(2090\ \text{J/kg}\cdot{}^\circ\text{C})(30^\circ\text{C}) = 62{,}7\text{J}$

ផ្នែក B : $Q = m_i L_f = (1 \times 10^{-3}\text{kg})(3{,}33 \times 10^5\text{J/kg} = 333\text{J}$

ផ្នែក C : $Q = m_w c_w \Delta T = (1 \times 10^{-3}\text{kg})(4{,}19 \times 10^3\ \text{J/kg}\cdot{}^\circ\text{C})(100^\circ\text{C}) = 419\text{J}$

ផ្នែក D : $Q = m_w L_w = (1 \times 10^{-3}\text{kg})(2{,}26 \times 10^6\text{J/kg} = 2{,}26 \times 10^3\text{J}$

ផ្នែក E : $Q = m_s c_s \Delta T = (1 \times 10^{-3}\text{kg})(2{,}01 \times 10^3\ \text{J/kg}\cdot{}^\circ\text{C})(20^\circ\text{C}) = 40{,}2\text{J}$

ថាមពលសរុបស្មើនឹងផលបូកថាមពលគ្រប់ផ្នែកទាំងអស់ ដែលស្មើទៅនឹង $3{,}11 \times 10^3$J។

១៤.៣ ការឡូរីម៉ែត

សារធាតុមួយមានម៉ាស m_x កំដៅម៉ាស c_x និងសីតុណ្ហភាពដើម T_x ដាក់ចូលក្នុងទឹកមានម៉ាស m_w c_w និង $T_w < T_x$។

បើ T_fជាសីតុណ្ហភាពស្រេច នោះតាមច្បាប់រក្សាថាមពលយើងបាន:

$$Q_c = -Q_h$$

ថាមពលបញ្ជូនអោយទឹក:

$$m_w c_w (T_f - T_w)$$

ថាមពលបញ្ជូនចេញពីសារធាតុ:

$$m_x c_x (T_f - T_x)$$

$$m_w c_w (T_f - T_w) = - m_x c_x (T_f - T_x)$$

$$c_x = \frac{m_w c_w (T_f - T_w)}{m_x (T_x - T_f)}$$

សំគាល់: សញ្ញាអវិជ្ជមានបញ្ជាក់ថា ថាមពលចេញពីប្រព័ន្ធ និងសញ្ញាវិជ្ជមានបញ្ជាក់ថា ថាមពលចូលប្រព័ន្ធ។

ចូរចងចាំ: ពេលអ្នកដោះស្រាយលំហាត់កាឡូរីម៉ែត ចូរអ្នកចងចាំថា:

ខ្នាតរបស់កំដៅម៉ាសគិតជា $J/kg \cdot °C$ ។

រូបមន្តថាមពល: $Q = mc\Delta T$ អនុវត្តន៍បានពេលដែលសារធាតុមិនប្តូរភាព ហើយ $Q = \pm mL$ ប្រើបានពេលដែលសារធាតុប្តូរភាព។

សូមប្រយ័តសញ្ញាចំពោះរូបមន្ត $Q_c = - Q_h$ ហើយ ΔT ត្រូវយកសីតុណ្ហភាពស្រេចដកសីតុណ្ហភាពដើមជានិច្ច។

មេរៀនទី១៥ ទ្រឹស្តីស៊ីនេទិចនៃឧស្ម័ន

១៥.១ ទ្រឹស្តីស៊ីនេទិចនៃឧស្ម័ន

គំរូសាមញ្ញនៃម៉ូលេគុលឧស្ម័នបរិសុទ្ធ:

ធុងផ្ទុកឧស្ម័នមានមាឌ V និងមានម៉ូលេគុលចំនួន N ដែលនិមួយៗមានម៉ាស m ។

ចាត់ទុកម៉ូលេគុលនៃឧស្ម័នជាចំនុចរូបធាតុដែលមានទំហំតូចណាស់ធៀបទៅនឹងចន្លោះរវាងម៉ូលេគុលពីរ។

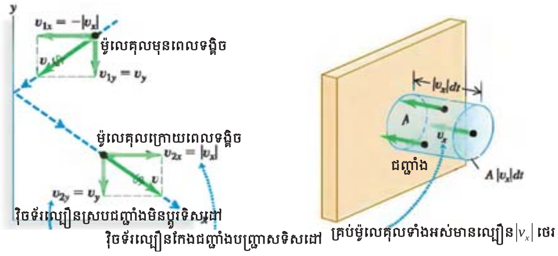
ម៉ូលេគុលមានល្បឿនថេរ និងគ្រប់ម៉ូលេគុលទាំងអស់ទង្គិចជាមួយជញ្ជាំងធុង ហើយទង្គិចជាទង្គិចខ្ទាត។

ជញ្ជាំងរបស់ធុងជាអង្គធាតុរឹង និងមានម៉ាសធំ និងមិនផ្លាស់ទីក្នុងពេលទង្គិច។

១៥.២ សម្ពាធក្នុងទ្រឹស្តីស៊ីនេទិចនៃឧស្ម័ន

១៥.២.១ ទង្គិច និងសំពាធរបស់ឧស្ម័ន

រូបទី១៥.១ បង្ហាញពីការរបស់ឧស្ម័ននឹងជញ្ជាំង ហើយនិងបំរែបំរួលបរិមាណចលនា និងវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ឧស្ម័ន។



រូបទី១៥.១ បង្ហាញពីទង្គិច និងសំពាធក្នុងឧស្ម័ន

វិចទ័រល្បឿនតាមអ័ក្ស x ប្រែប្រួលពី $-|v_x|$ ទៅ $|v_x|$

បំរែបំរួលបរិមាណចលនាតាមអ័ក្ស x គឺ

$$m|v_x| - (-m|v_x|) = 2m|v_x|$$

ចំនួនម៉ូលេគុលទង្គិចលើផ្ទៃ A ក្នុងរយៈពេល dt ស្មើទៅនឹងចំនួនម៉ូលេគុលក្នុងស៊ីឡាំងមាឌ $A|v_x|dt$

តាង (N/V) ជាចំនួនម៉ូលេគុលក្នុងមួយខ្នាតមាឌ ចំនួនម៉ូលេគុលក្នុងស៊ីឡាំងស្មើនឹង $(A|v_x|dt)(N/V)$។ ជាមធ្យមពាក់កណ្ដាលនៃម៉ូលេគុលមានទិសដៅតម្រង់ទៅរកជញ្ជាំង និងពាក់កណ្ដាលទៀតមានទិសដៅចេញពីជញ្ជាំង។

ចំនួនទង្គិចលើផ្ទៃ A ក្នុងរយៈពេល dt ស្មើនឹង

$$\frac{1}{2}(A|v_x|dt)(N/V)$$

បំរែបំរួលបរិមាណចលនាសរុបក្នុងរយៈពេល dt គឺ:

$$dP_x = \frac{1}{2}(A|v_x|dt)(N/V)(2m|v_x|) = \frac{NAmv_x^2dt}{V}$$

$$\frac{dP_x}{dt} = \frac{NAmv_x^2}{V}$$

បំរែបំរួលបរិមាណចលនាជាកំលាំង ដូចនេះយើងបាន:

$$\frac{dP_x}{dt} = F = pA = \frac{NAmv_x^2}{V}$$

$$p = \frac{Nmv_x^2}{V}$$

១.២.២ សំពាធ និងថាមពលស៊ីនេទិចម៉ូលេគុល

ដោយយើងដឹងថា

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

$$(v^2)_{av} = (v_x^2)_{av} + (v_y^2)_{av} + (v_z^2)_{av}$$

$$(v_x^2)_{av} = \frac{1}{3}(v^2)_{av}$$

ដូចនេះ យើងបាន

$$pV = \frac{1}{3}Nm(v^2)_{av} = \frac{2}{3}N\left[\frac{1}{2}m(v^2)_{av}\right]$$

ដែល $K_{av} = \frac{1}{2}m(v^2)_{av}$ ជាថាមពលស៊ីនេទិចនៃម៉ូលេគុលមួយ។

១៥.៣ ថាមពលស៊ីនេទិច និងសីតុណ្ហភាព

យើងទទួលបាន:

$$pV = \frac{2}{3}NK_{av} = \frac{2}{3}K$$

ដែល K ជាថាមពលស៊ីនេទិចសរុប។ យើងមានសមីការឧស្ម័នបរិសុទ្ធ:

$$pV = nRT \Rightarrow K = \frac{3}{2}nRT$$

ថាមពលស៊ីនេទិចមធ្យមនៃម៉ូលេគុលមួយគឺ

$$\frac{K}{N} = \frac{1}{2}m(v^2)_{av} = \frac{3nRT}{2N}$$

ដោយ $N = nN_A$, $\quad \frac{n}{N} = \frac{1}{N_A} \Rightarrow \frac{K}{N} = \frac{1}{2}m(v^2)_{av} = \frac{3}{2}\left(\frac{R}{N_A}\right)T = \frac{3}{2}k_BT$

ថាមពលស៊ីនេទិចនៃម៉ូលេគុលមួយគឺ

$$\frac{1}{2}m(v^2)_{av} = \frac{3}{2}k_BT$$

ដោយ $k_B = \frac{R}{N_A}$ និង $M = mN_A$ នោះយើងបាន:

$$N_A\frac{1}{2}m(v^2)_{av} = \frac{1}{2}M(v^2)_{av} = \frac{3}{2}N_Ak_BT = \frac{3}{2}N_A\frac{R}{N_A}T = \frac{3}{2}RT$$

ល្បឿន rms ឬល្បឿនប្រសិទ្ធ (v_{rms})

ដោយ $\frac{1}{2}m(v^2)_{av} = \frac{3}{2}k_BT$

$$(v^2)_{av} = \frac{3k_BT}{m} \Rightarrow v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3k_BT}{m}}$$

ដោយ $\frac{1}{2}M(v^2)_{av} = \frac{3}{2}RT$

$$(v^2)_{av} = \frac{3RT}{M} \Rightarrow v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

មេរៀនទី១៦ ច្បាប់ទី១នៃទែម៉ូឌីណាមិច

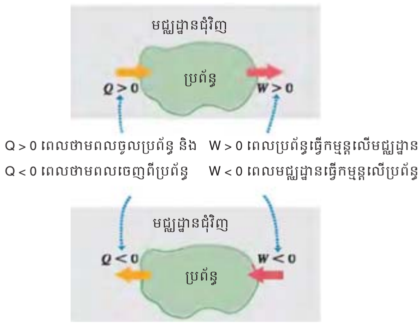
១៦.១ ប្រព័ន្ធនៃទែម៉ូឌីណាមិច

ក្នុងទែម៉ូឌីណាមិចប្រព័ន្ធជាវត្ថុមួយដែលអាចប្តូរថាមពលជាមួយនឹងមជ្ឈដ្ឋានជំវិញវា។

សញ្ញាកំដៅ និងកម្មន្តក្នុងទែម៉ូឌីណាមិច:

Q និង W អាចវិជ្ជមាន អវិជ្ជមាន ឬសូន្យ ដោយ Q វិជ្ជមានមានន័យថា ថាមពលត្រូវបានបញ្ចូលក្នុងប្រព័ន្ធ និង Q អវិជ្ជមានមានន័យថា ថាមពលត្រូវបានចេញពីប្រព័ន្ធ

W វិជ្ជមានមានន័យថា ប្រព័ន្ធបានធ្វើកម្មន្តលើមជ្ឈដ្ឋានជុំវិញវា (ថាមពលចេញពីប្រព័ន្ធ)និង W អវិជ្ជមានមានន័យថា មជ្ឈដ្ឋានជុំវិញបានធ្វើកម្មន្តលើប្រព័ន្ធ (ថាមពលចូលក្នុងប្រព័ន្ធ)។ (រូបទី១៦.១ បង្ហាញពីការដាក់សញ្ញានេះ)



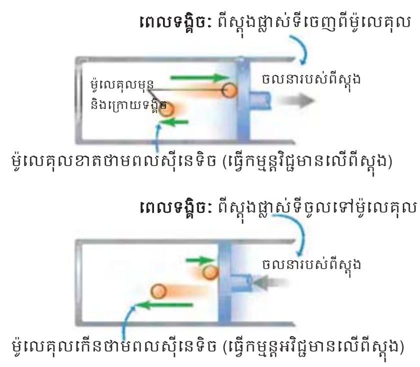
រូបទី១៦.១ ការដាក់សញ្ញាលើកម្មន្ត និងថាមពល

១៦.២ ប្រព័ន្ធចំពេញពេលមានបម្រែបម្រួល

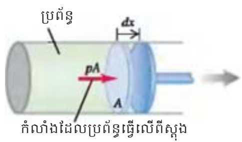
ប្រព័ន្ធទែម៉ូឌីណាមិចសាមញ្ញមួយដែលយើងយកមកសិក្សានៅទីនេះគឺឧស្ម័នក្នុងធុងស៊ីឡាំងបិទជិតភ្ជាប់ជាមួយពីស្តុងអាចផ្លាស់ទីទៅមកមួយ។

រូបទី១៦.២(ក) ពីស្តុងផ្លាស់ទីទៅស្តាំធ្វើអោយមាឌរបស់ប្រព័ន្ធកើនឡើង ម៉ូលេគុលទង្គិចនឹងពីស្តុងបណ្តាលអោយប្រព័ន្ធធ្វើកម្មន្តវិជ្ជមានលើពីស្តុង។

រូបទី១៦.២(ខ)ពីស្តុងផ្លាស់ទីទៅឆ្វេងធ្វើអោយមាឌរបស់ប្រព័ន្ធថយចុះ នោះពីស្តុងធ្វើកម្មន្តវិជ្ជមានលើម៉ូលេគុល (ប្រព័ន្ធធ្វើកម្មន្តអវិជ្ជមានលើពីស្តុង)។



រូបទី១៦.២ ម៉ូលេគុលឧស្ម័នទង្គិចជាមួយពីស្តុង



រូបទី១៦.៣ កម្មន្តធ្វើដោយប្រព័ន្ធលើពីស្តុង

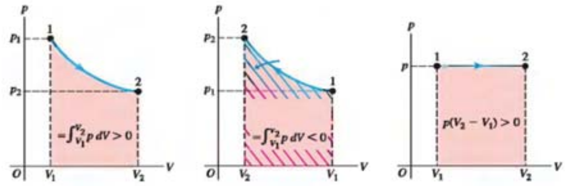
រូបទី១៦.៣ បង្ហាញពីកំលាំងសរុបធ្វើអំពើដោយប្រព័ន្ធលើពីស្តុងគឺ $F = pA$។ ពេលដែលពីស្តុងផ្លាស់បាន dx នោះកម្មន្តធ្វើដោយកំលាំងចំពោះបំលាស់ទីនេះគឺ

$$dW = Fdx = pAdx = pdV$$

បើប្រព័ន្ធប្រែប្រួលមាឌពី V_1 ទៅ V_2 នោះកម្មន្តធ្វើដោយប្រព័ន្ធគឺ

$$W = \int_{V_1}^{V_2} pdV$$

យើងបានសំពាធជាអនុគមន៍នៃមាឌដូចរូបទី១៦.៤។



(ក)សំពាធថយពេលមាឌកើន **(ខ)** សំពាធកើនពេលមាឌថយ

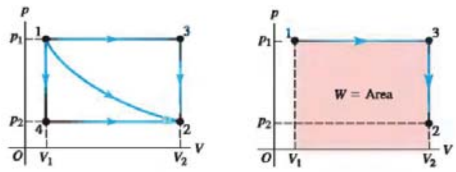
(គ)សំពាធថេរពេលមាឌកើន

រូបទី១៦.៤ កម្មន្តធ្វើដោយប្រព័ន្ធ

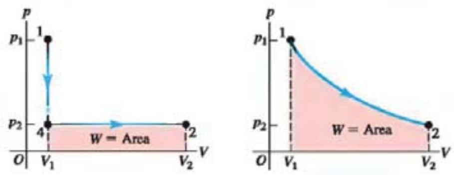
បើសំពាធថេរ ពេលមាឌប្រែប្រួលពី V_1 ទៅ V_2 (រូបទី១៦.៤(គ)) នោះកម្មន្តធ្វើដោយប្រព័ន្ធគឺ $W = p(V_2 - V_1)$

ក្នុងករណីដែលមាឌថេរ នោះប្រព័ន្ធមិនធ្វើកម្មន្តទេព្រោះគ្មានបំលាស់ទី។

១៦.៣ ដ្យាក្រាមភាពនៃទែម៉ូឌីណាមិច



(ក) ប្រព័ន្ធប្រែប្រួលភាពពី 1 ទៅ 2 (ខ) មាឌកើនត្រង់ p_1 រួចសំពាធថយពី p_1 ទៅ p_2



(គ) សំពាធថយត្រង់ V_1 រួចមាឌកើនពី V_1 ទៅ V_2 (ឃ) មាឌកើន និងសំពាធកើន

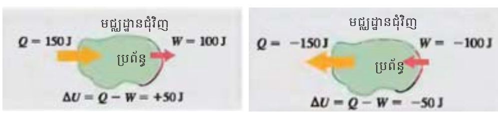
រូបទី១៦.៥ កម្មន្តធ្វើដោយប្រព័ន្ធពេលប្រព័ន្ធប្រែប្រួលភាព

១៦.៤ ថាមពលក្នុង និងច្បាប់ទីមួយនៃទែម៉ូឌីណា

ច្បាប់ទីមួយទែម៉ូឌីណាមិចពោលថា ពេល Q ត្រូវបានបន្ថែមទៅអោយប្រព័ន្ធមួយ ហើយប្រព័ន្ធធ្វើកម្មន្ត W នោះបំរែបំរួលថាមពលក្នុងស្មើនឹង Q-W ។ គេសរសេរ:

$U_2 - U_1 = \Delta U = Q - W$ (ច្បាប់ទីមួយទែម៉ូឌីណាមិច)

ឬគេអាចសរសេរ: $Q = \Delta U + W$



(ក)ថាមពលក្នុងកើនឡើង $\Delta U > 0$(ខ)ថាមពលក្នុងថយចុះ $\Delta U < 0$

(គ)ថាមពលក្នុងថេរ $\Delta U = 0$

រូបទី១៦.៦ បំរែបំរួលថាមពលក្នុងនៃប្រព័ន្ធ

ចំពោះបំរែបំរួលភាពតូច បរិមាណថាមពលតូច dQ បន្ថែមលើប្រព័ន្ធ ហើយប្រព័ន្ធធ្វើកម្មន្តតូច dW នោះបំរែបំរួលថាមពលក្នុងប្រព័ន្ធគេកំណត់សរសេរ:

$$dU = dQ - dW$$

ដោយកម្មន្ត $dW = pdV$ ដូចនេះយើងបាន:

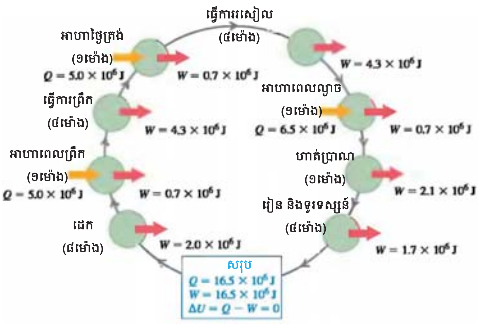
$$dU = dQ - pdV$$

១៦.៥ ប្រព័ន្ធបំលែងបិទ និងគោលការណ៍សមមូល

ប្រព័ន្ធមួយប្រែប្រួលពីភាពមួយទៅភាពមួយ រួចប្រព័ន្ធត្រឡប់ទៅរកភាពដើមវិញ លំនាំបែបនេះហៅថា លំនាំបិទ ឬបំលែងបិទ។ មានន័យថា ភាពដើម និងភាពស្រេច នៃប្រព័ន្ធជាភាពតែមួយ។ ដូចនេះ បំរែបំរួលថាមពលក្នុងស្មើសូន្យ យើងបាន:

$$U_2 = U_1 \text{ និង } Q = W$$

រូបទី១៦.៧បង្ហាញពីប្រព័ន្ធបំលែងបិទមួយ។

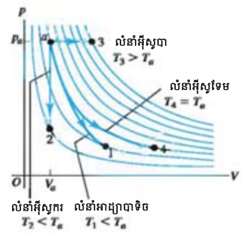


រូបទី១៦.៧ លំនាបិទក្នុងខ្លួនមនុស្ស

១៦.៦ ប្រភេទនៃលំនាំទែម៉ូឌីណាមិច

លំនាំទែម៉ូឌីណាមិចមាន៤សំខាន់ៗគឺ:

- **លំនាំអាដ្យាបាទិច:** គ្មាន Qចូលឬចេញពីប្រព័ន្ធ $(Q = 0) \Rightarrow \Delta U = -W$
- **លំនាំអ៊ីសូករ:** មាឌនៃប្រព័ន្ធថេរ $(W = 0) \Rightarrow \Delta U = Q$
- **លំនាំអ៊ីសូបា:** សំពាធក្នុងប្រព័ន្ធថេរ: $W = p(V_2 - V_1)$
- **លំនាំអ៊ីសូទែម:** សីតុណ្ហភាពថេរ



រូបទី១៦.៧ លំនាទែម៉ូឌីណាមិច

លំនាំអាដ្យាបាទិច: គ្មាន Qចូលឬចេញពីប្រព័ន្ធ $(Q = 0) \Rightarrow \Delta U = -W$

យើងបាន $dU = -dW$ ។ ដោយ $dW = pdV$ និង $dU = nC_V dT$ ។ ដូចនេះយើងបាន:

$$nC_V dT = -pdV = -\frac{nRT}{V}dV \Rightarrow \frac{dT}{T} + \frac{R}{C_V}\frac{dV}{V}$$

ដោយ $R/C_V = \frac{C_P - C_V}{C_V} = \frac{C_P}{C_V} - 1 = \gamma - 1$ ដូចនេះយើងបាន:

$$\frac{dT}{T} + (\gamma - 1)\frac{dV}{V} = 0$$

យើងធ្វើដេរីវេអង្គទាំងពីរយើងបាន:

$$\ln T + (\gamma - 1)\ln V = \text{ថេរ}$$

$$\ln T + \ln V^{\gamma - 1} = \text{ថេរ}$$

$$\ln\left(TV^{\gamma - 1}\right) = \text{ថេរ}$$

និងជាចុងក្រោយយើងអាចសរសេរ: $TV^{\gamma - 1} = \text{ថេរ}$។

ដូចនេះ ចំពោះភាពដើម (T_1, V_1) និងភាពស្រេច (T_2, V_2) យើងបាន:

$$T_1 V_1^{\gamma - 1} = T_2 V_2^{\gamma - 1}$$

ដោយ $T = pV / nR \Rightarrow (pV / nR)V^{\gamma - 1} = \text{ថេរ}$ ។

ដោយ R និង n ជាទំហំថេរ នោះយើងបាន:

$$pV^{\gamma} = \text{ថេរ}$$

ចំពោះភាពដើម (p_1, V_1) និងភាពស្រេច (p_2, V_2) យើងបាន:

$$p_1 V_1^{\gamma-1} = p_2 V_2^{\gamma-1}$$

យើងអាចគណនាកម្មន្តក្នុងលំនេះអាដ្យាបាទិចដូចខាងក្រោម:

$$W = -\Delta U = -nC_V(T_2 - T_1) = nC_V(T_1 - T_2) = \frac{C_V}{R}(p_1V_1 - p_2V_2) = \frac{1}{\gamma - 1}(p_1V_1 - p_2V_2)$$

- ❖ **លំនាំអ៊ីសូករ:** មាឌនៃប្រព័ន្ធថេរ ($W = 0$) $\Rightarrow \Delta U = Q$
- ❖ **លំនាំអ៊ីសូបារ:** សំពាធក្នុងប្រព័ន្ធថេរ: $W = p(V_2 - V_1)$
- ❖ **លំនាំអ៊ីសូទែម:** សីតុណ្ហភាពថេរ

ឧស្ម័នបរិសុទ្ធស្ថិតក្នុងលំនាំអ៊ីសូទែម (សីតុណ្ហភាពថេរ) នៅសីតុណ្ហភាព T ហើយក្នុងលំនាំនេះមាឌរបស់ប្រព័ន្ធប្រែប្រួលពី V_1 ទៅ V_2។ នោះកម្មន្តបំពេញដោយប្រព័ន្ធគឺ:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p\,dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V}\,dV = nRT\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = nRT \ln V\Big|_{V_1}^{V_2} = nRT \ln\frac{V_2}{V_1}$$

ពេលដែលសីតុណ្ហភាព T ថេរ យើងបាន:

$$p_1V_1 = p_2V_2 \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2}$$

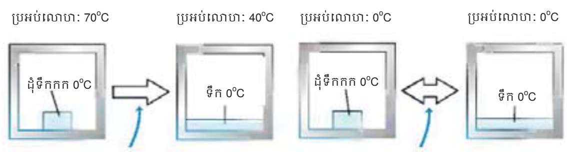
ដូចនេះយើងអាចសរសេរ:

$$W = nRT \ln\frac{p_1}{p_2}$$

មេរៀនទី១៧ ម៉ាស៊ីន

១៧.១ ប្រព័ន្ធត្រឡប់ និងប្រព័ន្ធមិនត្រឡប់

លំនាំទែម៉ូឌីណាមិចទាំងអស់ដែលកើតឡើងក្នុងធម្មជាតិសុទ្ធតែជាលំនាំមិនអាចត្រឡប់បាន(រូបទី១៧.១(ក)។ រូបទី១៧.១(ខ)ជាឧទាហរណ៍នៃប្រព័ន្ធអាចត្រឡប់បាន។



(ក) (ខ)

រូបទី១៧.១ (ក) ដុំទឹកកករលាយមិនត្រឡប់បានពេលគេដាក់ដុំទឹកកកក្នុងប្រអប់លោហៈមានសីតុណ្ហភាព 70°C

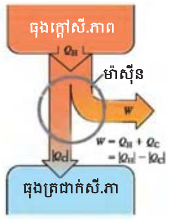
រូបទី១៧.១ (ខ) ដុំទឹកកករលាយត្រឡប់បានពេលគេដាក់ដុំទឹកកកក្នុងប្រអប់លោហៈ មានសីតុណ្ហភាព 0°C

១៧.២ ម៉ាស៊ីនកំដៅ

ឧបករណ៍ទាំងឡាយណាដែលបំលែងថាមពលកំដៅមួយផ្នែកទៅជាកម្មន្តឬថាមពលមេកានិចត្រូវបានហៅថា ម៉ាស៊ីនកំដៅ (រូបទី១៧.២)។

ធុងក្តៅ និងធុងត្រជាក់នៃម៉ាស៊ីនកំដៅ: គ្រប់ម៉ាស៊ីនកំដៅទាំងអស់ស្រូបយកថាមពលកំដៅពីធុងក្តៅ(មានសីតុណ្ហភាពខ្ពស់) រួចបំលែងថាមពលមួយចំនួនទៅជាកម្មន្ត និងច្រានចេញថាមពលកំដៅមួយចំនួនទៅធុងត្រជាក់(សីតុណ្ហភាពទាប)។
ក្នុងរូបទី១៧.២ តាង Q_H និង Q_C ជាបរិមានថាមពលដែលបានបញ្ជូនពីធុងក្តៅ និង

ពីធុងត្រជាក់។ Q វិជ្ជមានពេលដែលកំដៅ (ថាមពលកំដៅ) ត្រូវបានបញ្ជូនចូលក្នុងម៉ាស៊ីន និង Q អវិជ្ជមានពេលដែលកំដៅ (ថាមពលកំដៅ)ត្រូវបានបញ្ជូនចេញពីម៉ាស៊ីន។



រូបទី១៧.២ គំនូសបំព្រួញម៉ាស៊ីនកំដៅ

ពេលដែលម៉ាស៊ីនដំណើរការវដ្តដែលៗ Q_H និង Q_C តាងអោយបរិមាណកំដៅដែលស្រូប និងបញ្ចេញដោយម៉ាស៊ីនក្នុងមួយវដ្ត ហើយ Q_H មានតំលៃវិជ្ជមាន និង Q_Cមានតំលៃអវិជ្ជមាន។ បរិមាណកំដៅដែលបានស្រូបដោយម៉ាស៊ីនក្នុងមួយវដ្តគឺ:

$$Q = Q_H + Q_C = |Q_H| - |Q_C|$$

ថាមពលបានការនៃម៉ាស៊ីនគឺជាកម្មន្តសរុប W បំពេញដោយម៉ាស៊ីន។តាមច្បាប់ទី១ យើងបាន:

$$W = Q = Q_H + Q_C = |Q_H| - |Q_C|$$

ចំពោះម៉ាស៊ីនឥតខ្ចោះ ថាមពលកំដៅQ_H ទាំងអស់ត្រូវបានបំលែងទៅជាកម្មន្ត។ ដូចនេះយើងបាន: $Q_H = W$ និង $Q_C = 0$។ ប៉ុន្តែករណីនេះមិនអាចកើតមានឡើយ វាតែងតែមានថាមពលមួយចំនួនខាតបង់($Q_C \neq 0$)។

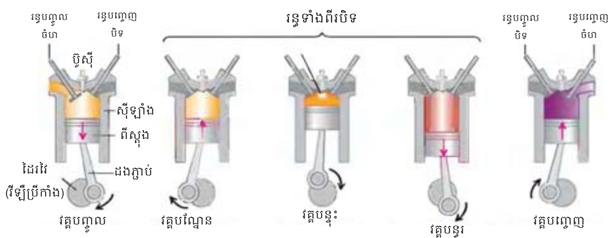
ទិន្នរបស់ម៉ាស៊ីនកំដៅ:

$$e = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H + Q_C}{Q_H} = 1 + \frac{Q_C}{Q_H} = 1 - \left|\frac{Q_C}{Q_H}\right|$$

១៧.៣ ម៉ាស៊ីនចំហេះ

ចំពោះដំណើរការនៃម៉ាស៊ីនចំហេះនេះ ចែកចេញជាបួនវគ្គគឺ(រូបទី១៧.៣)

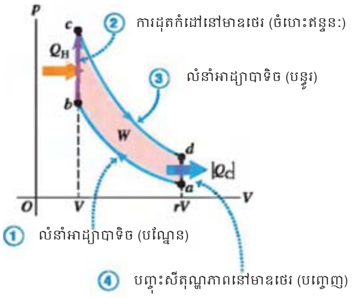
- **វគ្គទី១** (វគ្គបញ្ចូល) របាយខ្យល់ និងចំហាយសាំងហូរចូលក្នុងស៊ីឡាំងតាមទ្វាបញ្ចូលពេលដែលពីស្តុងធ្លាក់ចុះ(ធ្វើអោយស៊ីឡាំងកើនមាឌពីV_1ទៅ$V_2=rV_1$ ដែល r ហៅថាអត្រាបណ្ណែន)។ ចុងបញ្ចប់នៃវគ្គនេះ ទ្វាទាំងពីរត្រូវបានបិទ។
- **វគ្គទី២** (វគ្គបណ្ណែន) ក្នុងវគ្គនេះ ទ្វាបញ្ចូលត្រូវបានបិទ ហើយរបាយសាំង-ខ្យល់ត្រូវបានបណ្ណែតាមលំនាំអាដ្យាបាទិចទៅមាឌ V_1 (ធ្វើអោយស៊ីឡាំងថយមាឌពី $V_2=rV_1$ ទៅ V_1)។
- **វគ្គទី៣** (បន្ទុះ និងបន្ទូរ) ក្នុងវគ្គនេះ របាយឧស្ម័នក្នុងស៊ីឡាំងត្រូវបានដុតអោយឆេះដោយប៊ូស៊ី និងឧស្ម័នដែលក្តៅរីកមាឌតាមលំនាំអាដ្យាបាទិចពីមាឌ V_1 ទៅ$V_2=rV_1$ (រុញពីស្តុងចុះក្រោម) និងធ្វើកម្មន្ត។
- **វគ្គទី៤** (បញ្ចេញ)ក្នុងវគ្គនេះ ទ្វាបញ្ចេញត្រូវបានចំហ និងសំណល់នៃចំហេះត្រូវបានរុញចេញពីស៊ីឡាំង។



រូបទី១៧.៣ ដំណើរប្រព្រឹត្តបន្ទុះបួនវគ្គនៃម៉ាស៊ីនសាំង

១៧.៣.១ វដ្ត Otto(ម៉ាស៊ីនសាំង)

រូបទី១៧.៤ គឺជាដ្យាក្រាប pVចំពោះគំរូឥតខ្ចោះមួយនៃដំណើរការទែម៉ូឌីណាមិចក្នុងម៉ាស៊ីនសាំងមួយ ដែលគំរូនេះ ហៅថាវដ្ត Otto។



រូបទី១៧.៤ ដ្រាក្រាប pV ចំពោះវដ្តរបស់ Otto

ត្រង់ចំនុច a របាយសាំង និងខ្យល់ចូលក្នុងស៊ីឡាំង បន្ទាប់មករបាយត្រូវបានបណ្ណែនតាមលំនាំអាដ្យាបាទិចពី a ទៅចំនុច b បន្ទាប់មករបាយត្រូវបានឆេះ។ Q_H ត្រូវបានបន្ថែមទៅក្នុងប្រព័ន្ធដោយចំហេះរបាយធ្វើអោយសីតុណ្ហភាពរបស់ប្រព័ន្ធកើនពី b ទៅ c។ បន្ទាប់មកប្រព័ន្ធធ្វើកម្មន្តតាមលំនាំអាដ្យាបាទិចពី c ទៅ d (អានុភាពត្រូវបានបញ្ជូនចេញពីប្រព័ន្ធ) និងចុងបញ្ចប់នៃវគ្គឧស្ម័នត្រូវបានបញ្ចុះសីតុណ្ហភាព(ស្មើនឹងសីតុណ្ហភាពខ្យល់ក្រៅប្រព័ន្ធ)តាមលំនាំពី d ទៅ a ហើយក្នុងវគ្គនេះ បរិមាណថាមពល $|Q_C|$ ត្រូវបានច្រានចេញពីប្រព័ន្ធ។

ចំពោះលំនាំ bc និង da យើងបានទំនាក់ទំនងរវាង Q_H និង Q_C ដូចខាងក្រោម:

$$Q_H = nC_V(T_c - T_b) > 0$$
$$Q_C = nC_V(T_a - T_d) < 0$$

ដូចនេះទិន្នផលនៃម៉ាស៊ីន:

$$e = \frac{Q_H + Q_C}{Q_H} = \frac{T_c - T_b + T_a - T_d}{T_c - T_b}$$

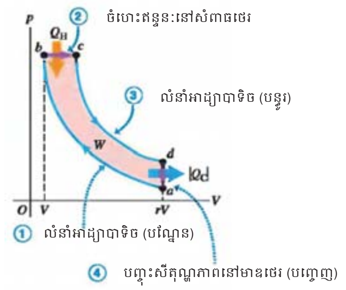
ដោយ $T_a(rV)^{\gamma-1} = T_b V^{\gamma-1}$ និង $T_d(rV)^{\gamma-1} = T_c V^{\gamma-1}$

ដូចនេះយើងបាន:

$$e = \frac{T_d r^{\gamma-1} - T_a r^{\gamma-1} + T_a - T_d}{T_d r^{\gamma-1} - T_a r^{\gamma-1}} = \frac{(T_d - T_a)(r^{\gamma-1} - 1)}{(T_d - T_a) r^{\gamma-1}}$$
$$e = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

១៧.៣.២ វដ្តម៉ាស៊ីនម៉ាស្ងូត

ដំណើរការម៉ាស៊ីនម៉ាស៊ូតស្រដៀងគ្នាទៅនឹងដំណើរការម៉ាស៊ីនសាំងដែរ។ ចំនុចដែលខុសគ្នានោះគឺម៉ាស៊ីនម៉ាស៊ូតគ្មានឥន្ធនៈក្នុងស៊ីឡាំងនៅមុនវគ្គបណ្ណែនទេ។ ប៉ុន្តែមុនវគ្គបន្ធូរបន្តិចឧបករណ៍បញ្ចូលឥន្ធនៈចាប់ផ្តើមបញ្ចូលក្នុងស៊ីឡាំង(ចំហេះឥន្ធនៈប្រើរយៈពេលលឿបគ្រប់គ្រាន់ដើម្បីរក្សាសំពាធក្នុងស៊ីឡាំងថេរ គឺថាដោយសារតែនៅវគ្គបណ្ណែនស៊ីឡាំងមានសីតុណ្ហភាពខ្ពស់ ឥន្ធនៈបញ្ចូលក្នុងស៊ីឡាំងបណ្តើ និងឆេះបណ្តើ ដូចនេះម៉ាស៊ីនម៉ាស៊ូតគ្មានប៊ូស៊ីទេ)។



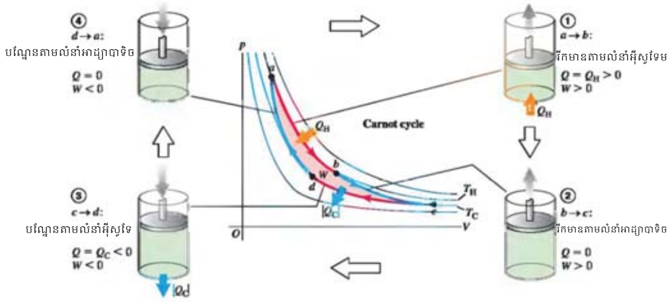
រូបទី១៧.៥ ដ្យាក្រាម pV ចំពោះវដ្តនៃម៉ាស៊ីនម៉ាស៊ូត

- **វគ្គទី១** (វគ្គបញ្ចូល) ខ្យល់ហូរចូលក្នុងស៊ីឡាំង។
- **វគ្គទី២** (វគ្គបណ្ណែន) ក្នុងវគ្គនេះ រន្ធបញ្ចូលត្រូវបានបិទ ហើយខ្យល់ត្រូវបានបណ្ណែតាមលំនាំអាដ្យាបាទិចទៅមាឌ V_1 (ធ្វើអោយស៊ីឡាំងថយមាឌពី $V_2=rV_1$ទៅ V_1)។

- **វគ្គទី៣** (បន្ទុះ និងបន្ធូរ) ក្នុងវគ្គនេះ របាយឧស្ម័នក្នុងស៊ីឡាំងត្រូវបានដុតអោយឆេះ និងឧស្ម័នដែលក្តៅរីកមាឌតាមលំនាំអាដ្យាបាទិចពីមាឌ V_1 ទៅ$V_2=rV_1$ (រុញពីស្តុងចុះក្រោម) និងធ្វើកម្មន្ត។
- **វគ្គទី៤** (បញ្ចេញ)ក្នុងវគ្គនេះ វ៉ាល់បញ្ចេញត្រូវបានចំហ និងសំណល់នៃចំហេះត្រូវបានរុញចេញពីស៊ីឡាំង។

១៧.៤ វដ្ត Carnot

ជាទូទៅគ្មានម៉ាស៊ីនកំដៅណាដែលអាចទទួលបានទិន្នផល 100%ទេ។ ចំពោះម៉ាស៊ីនកំដៅតើគេអាចទទួលបានទិន្នផលខ្ពស់បានយ៉ាងដូចម្តេច? តើអាចប្រើធុងក្តៅមួយមានសីតុណ្ហភាព T_H និងធុងត្រជាក់មួយមានសីតុណ្ហភាព T_C បានដែរឬទេ? ចំលើយនៃសំនួរនេះត្រូវបានឆ្លើយដោយលោក Sadi Carnot (1796-1832) នៅឆ្នាំ 1824។



រូបទី១៧.៦ វដ្តកាកណូចំពោះឧស្ម័នបរិសុទ្ធ

វដ្តកាណូមាន៤ដំហានដូចខាងក្រោម:

១. ឧស្ម័នក្នុងស៊ីឡាំងរីកមាឌតាមលំនាំអ៊ីសូទែមនៅសីតុណ្ហភាព T_H (ស្រូបកំដៅ Q_H ពីa ទៅ b)។

២.បន្ទាប់មកឧស្ម័នបន្តរីកមាឌតាមលំនាំអាដ្យាបាទិចរហូតដល់សីតុណ្ហភាពធ្លាក់ដល់ T_C (bc)។

៣. ឧស្ម័នត្រូវបានបណ្ណែនតាមលំនាំអ៊ីសូទែមនៅសីតុណ្ហភាព T_C និងច្រានថាមពល $|Q_C|$ ចេញពីប្រព័ន្ធ (cd)។

៤.ឧស្ម័នត្រូវបានបណ្ណែនតាមលំនាំអាដ្យាបាទិចត្រឡប់ទៅភាពដើមវិញ(ទៅសីតុណ្ហភាព T_H)។

គណនាទិន្នផលរបស់ម៉ាស៊ីនកាកណូ

ចំពោះលំនាំអ៊ីសូទែម (ពី a ទៅ b) យើងមាន $\Delta U_{ab}=0$ និង $Q_H=W_{ab}$។ ដូចនេះយើងបាន:

$$Q_H = W_{ab} = nRT_H \ln \frac{V_b}{V_a}$$

ស្រដៀងគ្នាដែរ ចំពោះលំនាំអ៊ីសូទែម (ពី c ទៅ d) យើងបាន:

$$Q_C = W_{cd} = nRT_C \ln \frac{V_d}{V_c} = v - \ nRT_C \ln \frac{V_c}{V_d}$$

$$\Rightarrow \frac{Q_C}{Q_H} = -\left(\frac{T_C}{T_H}\right)\frac{\ln(V_c/V_d)}{\ln(V_b/V_a)}$$

ចំពោះលំនាំអាដ្យាបាទិច (ពី b ទៅ c)យើងបាន:

$$T_H V_b^{g-1} = T_C V_c^{g-1}$$

ចំពោះលំនាំអដ្យាបាទិច (ពី d ទៅ a) យើងបាន:

$$T_H V_a^{\gamma-1} = T_C V_d^{\gamma-1}$$

ដូចនេះ យើងបាន:

$$\frac{T_H V_b^{\gamma-1}}{T_H V_a^{\gamma-1}} = \frac{T_C V_c^{\gamma-1}}{T_C V_d^{\gamma-1}}$$

$$\frac{V_b^{\gamma-1}}{V_a^{\gamma-1}} = \frac{V_c^{\gamma-1}}{V_d^{\gamma-1}}$$

$$\frac{V_b}{V_a} = \frac{V_c}{V_d}$$

ដូចនេះយើងទាញបានៈ

$$\frac{Q_C}{Q_H} = -\left(\frac{T_C}{T_H}\right)\frac{\ln(V_b/V_a)}{\ln(V_b/V_a)} = -\left(\frac{T_C}{T_H}\right)$$

ឬ យើងអាចសរសេរៈ

$$\frac{|Q_C|}{|Q_H|} = \frac{T_C}{T_H}$$

ដូចនេះទិន្នផលនៃម៉ាស៊ីនកាកណូគឺៈ

$$e = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H + Q_C}{Q_H} = 1 + \frac{Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_C|}{|Q_H|} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = \frac{T_H - T_C}{T_H}$$

មេរៀនទី១៨ ដែនអគ្គិសនី

១៨.១. បន្ទុកអគ្គិសនី

បន្ទុកអគ្គិសនីមានលក្ខណៈសំខាន់ដូចខាងក្រោមៈ

- ❖ បន្ទុកអគ្គិសនីមានសញ្ញាផ្ទុយគ្នាទាញគ្នាចូលហើយបន្ទុកអគ្គិសនីមានសញ្ញាដូចគ្នាច្រានគ្នាចេញ។
- ❖ បន្ទុកអគ្គិសនីសរុបក្នុងប្រព័ន្ធបិទមួយត្រូវបានរក្សា។
- ❖ បន្ទុកអគ្គិសនីគឺជាបរិមាណមួយកំណត់។

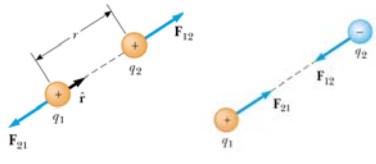
អង្គធាតុចំលងគឺជាសារធាតុដែលអាចឲអេឡិចត្រុងផ្លាស់ទីដោយសេរី។ អ៊ីសូឡង់ជាសារ ធាតុមិនអាចឲអេឡិចត្រុងផ្លាស់ទីបានទេ។

១៨.២. ច្បាប់គូឡុំ

កំលាំងអន្តរកម្មអគ្គិសនីរវាងបន្ទុកអគ្គិសនីពីរ q_1 និង q_2 ត្រូវបានកំណត់សរសេរៈ

$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{r}$$

ដែល r ជាចំងាយរវាងបន្ទុកទាំងពីរ និង $k_e = 8.99 \times 10^9 \mathrm{N} \times \mathrm{m}^2/\mathrm{C}^2$ ហៅថាថេរគូឡុំ។



(ក) បន្ទុកមានសញ្ញាដូចគ្នាច្រានគ្នាចេញ (ខ)
បន្ទុកមានសញ្ញាផ្ទុយគ្នាទាញគ្នាចូល
រូបទី១៨.១ កំលាំងអន្តរកម្មអគ្គិសនី

១៨.៣ ដែនអគ្គិសនី

ដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ ត្រង់ចំនុចមួយស្មើនឹងកំលាំងអគ្គិសនី $\vec{F}$ ដែលមានអំពើលើបន្ទុកសាកវិជ្ជមានតូច q_0 ដាក់ត្រង់ចំនុចនោះចែកធទំហំបន្ទុកសាក q_0 នោះ។ គេកំណត់សរសេរ:

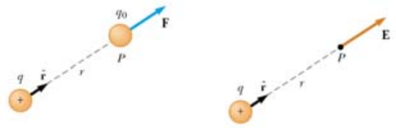
$$\vec{E} \equiv \frac{\vec{F}}{q_0} \qquad \Rightarrow \vec{F} = q_0 \vec{E}$$

អគ្គិសនីត្រង់ចំនុចមួយបង្កើតដោយចំនុចបន្ទុក q អោយដោយរូបមន្ត:

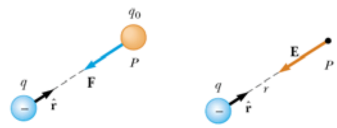
$$\vec{E} = k_e \frac{q}{r^2}\hat{r}$$

ដែនបង្កើតដោយបន្ទុកវិជ្ជមាន មានទិសដៅចាកផ្ចិត។

ដែនបង្កើតដោយបន្ទុកអវិជ្ជមាន មានទិសដៅចូលផ្ចិត។



(ក) បន្ទុក $q > 0$)បង្កើតដែនអគ្គិសីមានទិសដៅចាកផ្ចិត



(ខ) បន្ទុក $q > 0$)បង្កើតដែនអគ្គិសីមានទិសដៅចាកផ្ចិត

រូបទី១៨.២ ដែនអគ្គិសនីបង្កើតដោយចំនុចបន្ទុក

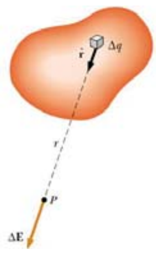
ដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំនុចមួយបង្កើតដោយចំនុចបន្ទុកច្រើនអាចទទួលតាមប្រើគោលការណ៍

តម្រួត។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\vec{E} = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2}\hat{r}_i$$

ដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំនុចមួយបង្កើតដោយរបាយបន្ទុកកាយស្មើសាច់កំណត់សរសេរ:

$$\vec{E} = k_e \int \frac{dq}{r^2}\hat{r}$$



រូបទី១៨.៣ ដែនបង្កើតដោយរបាយបន្ទុក

១៨.៤ ចលនាបន្ទុកអគ្គិសនីក្នុងដែនអគ្គិសនីឯកសណ្ឋាន

ផង់មួយមានមាស m បន្ទុក q ផ្លាស់ទីក្នុងដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ មានសន្ទុះ $\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$

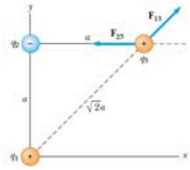
លំហាត់

1. ចំនុចបន្ទុកអគ្គិសនីបីដាក់នៅលើជ្រុងត្រីកោនកែងមួយដូចរូបទី១ ដែល $q_1 = q_3 = 5\mu C$ និង $q_2 = -2\mu C$ ។ចូរគណនាកំលាំងអគ្គិសនីផ្ទុបមានអំពើលើបន្ទុក q_3 ។

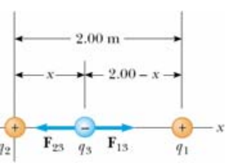
ចំលើយ: $\vec{F}_3 = (-1,1\vec{i} + 7,9\vec{j})N$

2. ចំនុចបន្ទុកបីដាក់តាមបណ្តោយអក្ស x ដូចបានបង្ហាញក្នុងរូបទី២។ បន្ទុកវិជ្ជមាន $q_1 = 15\mu C$ ស្ថិតត្រង់ $x = 2m$ ចំនុចបន្ទុក $q_2 = 6\mu C$ ស្ថិតត្រង់គល់អក្ស និងកំលាំងផ្ទុបមានអំពើលើ q_3 ស្មើសូន្យ។ ចូរគណនាកូអរដោនេ x នៃបន្ទុក q_3 ។

ចំលើយ: $x = 0,775m$



រូបទី១



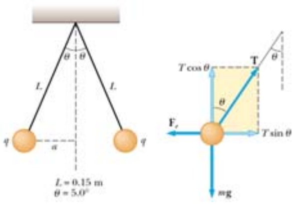
រូបទី២

3. ស្វៃតូចផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីឯកល័ក្ខពីរ និមួយៗមានម៉ាស $3\times10^{-2}kg$ ត្រូវបានព្យួរក្រោមលំនឹង ដូចរូបទី៣។ ប្រវែងខ្សែស្មើនឹង 0,15m និង$\theta=5°$។ ចូរគណនាទំហំបន្ទុកអគ្គិសនីនៅលើស្វៃនិមួយៗ។

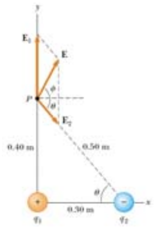
ចំលើយ: $|q|=4,4\times10^{-8}C$

4. បន្ទុក $q_1=7\mu C$ ដាក់ត្រង់គល់អក្ស និងបន្ទុក $q_2=-5\mu C$ ដាក់ត្រង់ $x=0,3m$ ពីគល់អក្សដូចរូបទី៤។ ចូរគណនាដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំនុច P ដែលមានកូអរដោនេ(0, 0,4)m ។

ចំលើយ: $\vec{E}=(1,1\times10^5\vec{i}+2,5\times10^5\vec{j})N/C$



រូបទី៣



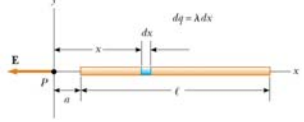
រូបទី៤

5. អង្កត់មួយប្រវែង l ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមានស្មើសាច់ មានដង់ស៊ីតេបន្ទុកក្នុងមួយខ្នាតប្រវែង λ និងមានបន្ទុកសរុប Q ។ ចូរគណនាដែនអគ្គិសនីត្រង់ P មានចំងាយ a ពីចុងម្ខាងនៃអង្កត់ដូចរូបទី៥។

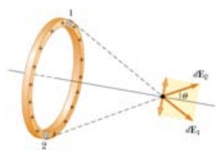
ចំលើយ: $E=\dfrac{k_eQ}{a(l+a)}$

6. កងមួយមានកាំ a ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមានស្មើសាច់និងមានបន្ទុកសរុប Q ។ ចូរគណនាដែនអគ្គិសនីត្រង់ P មានចំងាយ x ពីពីផ្ចិតកែងនិងប្លង់នៃកងដូចរូបទី៦។

ចំលើយ: $E=\dfrac{k_ex}{(x^2+a^2)^{3/2}}Q$



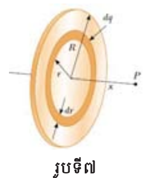
រូបទី៥



រូបទី៦

7. ថាសមួយមានកាំ R ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីវិជ្ជមានស្មើសាច់ មានដង់ស៊ីតេបន្ទុកក្នុង មួយខ្នាតផ្ទៃ σ និងមានបន្ទុកសរុប Q ។ ចូរគណនាដែនអគ្គិសនីត្រង់ P មានចំងាយ x ពីពីផ្ចិតកែងនិងប្លង់នៃថាសដូចរូបទី៧។

ចំលើយ: $E=2\pi k_e\sigma\left(1-\dfrac{x}{(x^2+R^2)^{1/2}}\right)$



រូបទី៧

8. ចំនុចបន្ទុកវិជ្ជមាន q មួយមានម៉ាស m
ត្រូវបានប្រលែងពីនៅស្ងៀមក្នុងដែនអគ្គិសនីឯកសណ្ឋាន $\vec{E}$ មួយ
មានទិសដៅតាមបណ្ដោយអក្ស x ដូចរូបទី៨។ ចូរពណ៌នាចលនាពីរបស់វា។

9. អេឡិចត្រុងមួយចូលក្នុងដែនអគ្គិសនីឯកសណ្ឋានមួយដូចរូបទី៩ដោយល្បឿន $v_i=3\times10^6m$ និង $E=200N/C$ ។ ប្រវែងនៃបន្ទះដេកស្មើនឹង $l=0,1m$ ។

(ក) ចូរគណនាសំទុះរបស់អេឡិចត្រុងពេលវានៅក្នុងដែន។

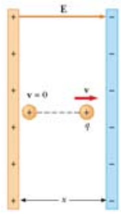
ចំលើយ: $\vec{a} = -3{,}51 \times 10^{13}\,\vec{j}\,m/s^2$

(ខ) បើអេឡិចត្រុងចូលក្នុងដែនត្រង់ $t = 0$ ចូររករយៈពេល t ដែលអេឡិចត្រុងចេញពីដែន។

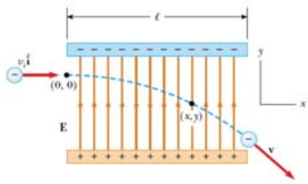
ចំលើយ: $t = 3{,}33 \times 10^{-8}\,s$

(គ)បើទីតាំងតាមអក្សឈរដែលអេឡិចត្រុងចូលក្នុងដែនត្រង់ $y_i = 0$ ចូររកទីតាំងតាមអក្សឈរដែលអេឡិចត្រុងចេញពីដែន។

ចំលើយ: $y_f = -1{,}95cm$



រូបទី៨



រូបទី៩

10. (ក) ចូរគណនាបន្ទុក និងម៉ាសនៃ H^{+}។ (ខ) ចូរគណនាបន្ទុក និងម៉ាសនៃ Na^{+}

(គ) ចូរគណនាបន្ទុក និងម៉ាសមធ្យមនៃ Cl^{-} ផ្សំជាមួយ Na^{+} បង្កើតបានជាម៉ូលេគុលអំបិល

(ឃ)ចូរគណនាបន្ទុក និងម៉ាសនៃ $Ca^{++} = Ca^{2+}$**(ង)** ចូរគណនាបន្ទុក និងម៉ាសនៃ N^{3-}

(ច) ចូរគណនាបន្ទុក និងម៉ាសនៃ N^{4+} **(ឆ)** ចូរគណនាបន្ទុក និងម៉ាសនៃ H_2O^{-}

11. **(ក)** ចូរគណនាចំនួនអេឡិចត្រុងក្នុងម្ជុលប្រាក់មួយមានម៉ាស 10g។ ប្រាក់មានអេឡិចត្រុង 47 ក្នុងមួយអាតូម និងម៉ាសម៉ូលរបស់វាស្មើនឹង 107,87g/mol។

ចំលើយ: 2,62 10[24]

សំគាល់: $(n = \frac{m(g)}{M(g/mol)} = \frac{N}{N_A}, \quad N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\,atoms/mol)$

(ខ) អេឡិចត្រុងត្រូវបានបន្ថែមទៅលើម្ជុលរហូតដល់បន្ទុកអវិជ្ជមានសរុបរបស់វាកើនដល់1mC។ តើអេឡិចត្រុងចំនួនប៉ុន្មានត្រូវបានបន្ថែម។

ចំលើយ: 6 25 10[15] $(\#elec = \frac{Q}{e})$

12.ស្វៃលោហះឯកល័ក្ខតូចពីរ ឃ្លាតគ្នាពីផ្ចិតទៅផ្ចិតចំងាយ 0,300m។ ស្វៃមួយមានបន្ទុក 12nC និងមួយទៀតមានបន្ទុក -18nC។

(ក) ចូររកកំលាំងអគ្គិសនីមានអំពើដោយបន្ទុកមួយទៅលើបន្ទុកមួយទៀត។

ចំលើយ: $2{,}16 \times 10^{-5}$ N

(ខ)បើស្វៃទាំងពីរត្រូវបានភ្ជាប់គ្នាដោយខ្សែចំលងមួយ។ ចូររកកំលាំងអន្តរកម្មអគ្គិសនីរវាងស្វៃទាំងពីរបន្ទាប់ពីវាមានលំនឹងបន្ទុកអគ្គិសនី។

ចំលើយ: $8{,}99 \times 10^{-7}$N

13.ចំនុចបន្ទុកពីរ មួយមានបន្ទុក 3q និងមួយទៀតមានបន្ទុក q ត្រូវបានដាក់នៅនឹងត្រង់ចុងសងខាងនៃអង្កត់មួយតាមអ័ក្សដេកឃ្លាតពីគ្នាចំងាយ d។ ដូចបានបង្ហាញក្នុងរូបទី១៣ ចំនុចបន្ទុកទីបីអាចផ្លាស់ទីដោយសេរីលើអង្កត់។ ចូររកទីតាំងដែលបន្ទុកទីបីមានលំនឹង។

ចំលើយ: $x = 0{,}634d$

14.លំហាត់រលឹកឡើងវិញ:ទ្រឹះស្តី Bohr ក្នុងអាតូមអ៊ីដ្រូសែនមួយ អេឡិចត្រុងផ្លាស់ទីក្រោមគន្លងជារង្វង់ជំវិញប្រូតុង មានកាំនៃគន្លងស្មើនឹង $0{,}529 \times 10^{-10}\,m$។

(ក) ចូររកកំលាំងអន្តរកម្មអគ្គិសនីរវាងអេឡិចត្រុង និងប្រូតុង។

ចំលើយ: $8{,}22 \times 10^{-8}$N

(ខ)បើសិនជាកំលាំងនេះអោយអេឡិចត្រុងមានសន្ទុះចូលផ្ចិតចូររកល្បឿនអេឡិចត្រុង

ចំលើយ: $2{,}19 \times 10^{6}$m/s

15.លំហាត់រលឹកឡើងវិញ:ផង់ឯកល័ក្ខពីរ និមួយៗមានបន្ទុក+qត្រូវបានដាក់ឲនៅនឹងក្នុងលំហរឃ្លាតពីគ្នាចំងាយd។ ចំនុចបន្ទុកទីបីមានបន្ទុក -Q អាចផ្លាស់ទីដោយសេរី ហើយជាដំបូងវានៅស្ងៀមដូចរូបទី១៥។

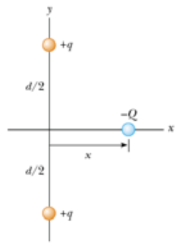
(ក)ចូរបង្ហាញថាបើ $x << d$ នោះចលនារបស់បន្ទុក-Qជាចលនាអាម៉ូនិច។ ចូរគណនាខួបនៃចលនា។

ចំលើយ: $\vec{a} = \frac{-2k_e qQ}{md^3/8} x\hat{i}, \quad \vec{a} = -\omega^2 x\hat{i}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{md^3}{k_e qQ}}$

(ខ)ចូរគណនាល្បឿននៃបន្ទុក-Qពេលវានៅត្រង់ទីតាំងចំកណ្តាលបន្ទុកទីមួយ និងទីពីរ បើគេប្រលែងវាត្រង់ទីតាំងដើម a<<d ពីចំនុចកណ្តាលបន្ទុកទាំងពីរ។

ចំលើយ: $v_{\max} = \omega A = 4a\sqrt{\frac{k_e qQ}{md^3}}$

រូបទី១៣



រូបទី១៥

16.ប្រូតុងត្រូវបានបាញ់ដោយល្បឿន $v_i = 9,55\times10^3 m/s$ ចូលក្នុងដែនអគ្គិសនីឯកសណ្ឋាន $\vec{E} = -720\vec{j} N/C$ ដូចរូបទី១៦។ ប្រូតុងបានធ្លាក់លើប្លង់នៅចំងាយ1,27mm (តាមអក្សដេក) ធៀបទៅនឹងទីតាំងដែលប្រូតុងចូលក្នុងដែនអគ្គិសនី។ ចូរគណនា

(ក) មុំបាញ់ θ ចំនួនពីរដែលទទួលបានលទ្ធផលដូចគ្នា។

ចំលើយ: $\theta_1 = 36,9°, \theta_2 = 90 - \theta_1 = 53,1° \; (R = \frac{v_i^2 \sin 2\theta}{a_y} = 1,27\times10^{-3} m)$

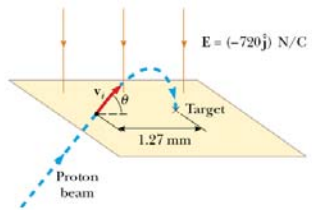
(ខ) រយៈពេលដែលប្រូតុងធ្លាក់ប៉ះប្លង់ដេក។

ចំលើយ: $t = \frac{R}{v_{ix}} = \frac{R}{v_i \cos\theta} \Rightarrow t_1 = 167ns, \; t_2 = 221ns$

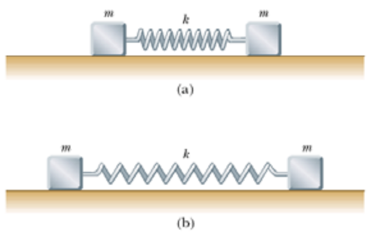
17.**លំហាត់សាឡើងវិញ:** ដុំលោហៈឯកល័ក្ខពីរដាក់លើផ្ទៃដេកគ្មានកកិតមួយត្រូវបានភ្ជាប់គ្នាដោយរ៉ឺសរស្រាលមួយមានថេរកំរាញ k ដូចរូបខាងទី១៧(a)

និងប្រវែងមិនទាន់លូត L_i។ បន្ទុកសរុប Q ត្រូវបានផ្តល់អោយប្រព័ន្ធដោយយឺតៗ បណ្តាលអោយរ៉ឺសរលូតទៅប្រវែងមួយ L ដូចរូបទី១៧(b)។ ចូរគណនា Q ដោយសន្មត់ថា បន្ទុកនៅតែលើដុំលោហៈ ហើយដុំលោហៈជាចំនុចបន្ទុក។

ចំលើយ: $F = \frac{k_e(Q/2)(Q/2)}{L^2} = k(L - L_i) \Rightarrow Q = 2L\sqrt{\frac{k\;L - L_i}{k_e}}$



រូបទី១៦



រូបទី១៧

មេរៀនទី១៩ ច្បាប់ហ្គោស (Gauss´s Law)

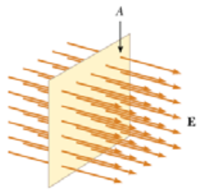
១៩.១ ភ្លុចអគ្គិសនី

ភ្លុចអគ្គិសនីសមាមាត្រទៅនឹងចំនួនខ្សែដែនឆ្លងកាត់ផ្ទៃមួយ (រូបទី១៩.១)។

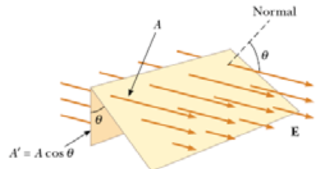
សំគាល់: ចំនួនខ្សែដែន= ចំនួនខ្សែដែនចេញពីផ្ទៃដកចំនួនខ្សែដែនចូលផ្ទៃ។

បើដែនអគ្គិសនីឯកសណ្ឋាន $\vec{E}$ បង្កើតបានមុំ θ ជាមួយវ៉ិចទ័រណរមាល់របស់ផ្ទៃ (វ៉ិចទ័រផ្ទៃ) (រូបទី១៩.២) នោះភ្លុចអគ្គិសនីឆ្លងកាត់ផ្ទៃមួយគឺ:

$$\Phi_E = \vec{E}\cdot\vec{A} = EA\cos\theta$$



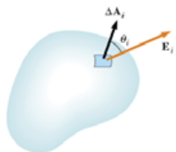
រូបទី១៩.១ ដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ ឆ្លងកាត់ផ្ទៃ A



រូបទី១៩.២ ដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ ឆ្លងកាត់ផ្ទៃ Aបង្កើតបានមុំ θ ធៀបនឹងវ៉ិចទ័រផ្ទៃ

ជាទូទៅភ្លុចអគ្គិសនីឆ្លងកាត់ផ្ទៃមួយ (រូបទី១៩.៣) គេកំណត់សរសេរ:

$$\Phi_E = \int_{surface} \vec{E}\cdot d\vec{A}$$

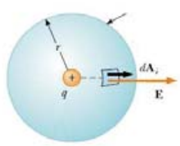


រូបទី១៩.៣ ភ្លុចអគ្គិសនីឆ្លងកាត់ផ្ទៃមួយ

១៩.២ ច្បាប់ហ្គោស

ច្បាប់ហ្គោសពោលថា ភ្លុចអគ្គិសនីសរុបឆ្លងកាត់ផ្ទៃបិទ១(ផ្ទៃហ្គោស)ស្មើនឹងបន្ទុកសរុបនៅក្នុងផ្ទៃនោះចែកអោយ ε_0 (រូបទី១៩.៤)។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\Phi_E = \oint \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\varepsilon_0}$$



រូបទី១៩.៤ ភ្លុចអគ្គិនសីឆ្លងកាត់ផ្ទៃបិទ ឬផ្ទៃហ្គោស

១៩.៣ ការគណនាដែនអគ្គិសនីដោយប្រើច្បាប់ហ្គោស

ដែនអគ្គិសនីនៃរបាយបន្ទុកអគ្គិសនីរាយស្មើសាច់		
របាយបន្ទុក	**ដែនអគ្គិសនី**	**ទីតាំង**
ចំនុចបន្ទុកអគ្គិសនី	$k_e\frac{q}{r^2}$	ចំងាយ r ពី q

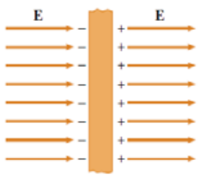
ស្វែអ.ធចំលងអគ្គិសនីកាំ R ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីស្មើសាច់ Q	$k_e \frac{q}{r^2}$	$r > R$
	0	$r < R$
ស្វែមិនចំលងអគ្គិសនីកាំ R ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីស្មើសាច់ Q	$k_e \frac{Q}{r^2}$	$r > R$
	$k_e \frac{Q}{R^3} r$	$r < R$
សំបកស្វែកាំ R និងបន្ទុកសរុបQ	$k_e \frac{Q}{r^2}$	$r > R$
	0	$r < R$
ស៊ីឡាំងអ.ធចំលងវែងមួយ មានកាំ R និងដង់ស៊ីតេ λ	$2k_e \frac{\lambda}{r}$	$r > R$
	0	$r < R$
ប្លង់អានន្តផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីស្មើសាច់ និងបន្ទុកសរុបQ	$\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$	ក្បែរប្លង់
ផ្ទៃអង្គធាតុចំលងផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីស្មើសាច់ និងបន្ទុកសរុបQ	$\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$	ក្រៅអ.ធចំលង
	0	ក្នុងអ.ធចំលង

១៩.៤ លំនឹងអេឡិចត្រូស្តាទិច

ពេលដែលគ្មានបំលាស់ទីបន្ទុកក្នុងអង្គធាតុចំលង នោះអង្គធាតុចំលងស្ថិតក្នុងលំនឹងអេឡិចត្រូស្តាទិច ដែលលំនឹងអេឡិចត្រូស្តាទិចមានលក្ខណៈដូចខាងក្រោម:

1. ដែនអគ្គិសនីនៅក្នុងអង្គធាតុចំលងមានតំលៃស្មើសូន្យ។
2. បើអង្គធាតុចំលងផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីនោះបន្ទុករាយនៅតែលើផ្ទៃបណ្តោះ
3. ដែនអគ្គិសនីនៅខាងក្រៅអង្គធាតុចំលងផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីមានទិសកែងនឹងផ្ទៃរបស់វា ហើយមានអាំងតង់ស៊ីតេស្មើនឹង σ/ε_0
4. ចំពោះអង្គធាតុចំលងមានរាងផ្សេងៗ ដង់ស៊ីតេបន្ទុកមានតំលៃធំនៅតែដំបន់ទាំងឡាយណាដែលមានកាំកំនោងតូច។

រូបទី១៩.៥ បង្ហាញពីអង្គធាតុចំលងដាក់ក្នុងដែនអគ្គិសនី។



រូបទី១៩.៥ អង្គធាតុចំលងដាក់ក្នុងដែនអគ្គិសនី

១៩.៤ ឌីប៉ូលអគ្គិសនី

ឌីប៉ូលអគ្គិសនីគឺជាចំនុចបន្ទុកមួយគូរដែលមានទំហំស្មើគ្នា និង សញ្ញាផ្ទុយគ្នា (បន្ទុកវិជ្ជ មាន q និងបន្ទុកអគ្គិសនី $-q$) ឃ្លាតគ្នាចំងាយ d។

កំលាំង និងម៉ូម៉ង់បង្វិល

ម៉ូម៉ង់បង្វិលនៃឌីប៉ូលមួយដាក់ក្នុងដែនអគ្គិសនីឯកសណ្ឋាន (រូបទី១៩.៦) មួយអាចគណនាដូចតទៅ:

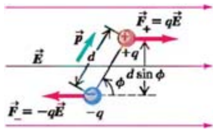
កំលាំងអគ្គិសនីមានអំពើលើឌីប៉ូលដោយកំលាំងនៃដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ ស្មើសូន្យ។ ប៉ុន្តែ កំលាំងទាំងពីរនេះមិនមានចំនុចចាប់ខុសគ្នា រឺមិននៅលើបន្ទាត់តែមួយទេ ដូចនេះម៉ូម៉ងសរុបមិនសូន្យទេ។ ម៉ូម៉ង់បង្វិលឌីប៉ូលអាចសរសេរ:

$$\tau = F_+(\frac{d}{2}\sin\phi) + F_-(\frac{d}{2}\sin\phi) = (qE)(d\sin\phi)$$

ដែល $\frac{d}{2}\sin\phi$ ហៅថាដៃឃ្នាស់

ដោយផលគុណនៃ q និង d ហៅថាម៉ូម៉ង់ឌីប៉ូលអគ្គិសនី ត្រូវបានកំណត់ដោយ:

$$p = qd$$
$$\tau = (qE)(d\sin\phi)$$
$$= pE\sin\phi$$
$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$$



រូបទី១៩.៦ ម៉ូម៉ង់កំលាំងបង្វិល

ថាមពលប៉ូតង់ស្យែលនៃឌីប៉ូល

ពេលឌីប៉ូលប្តូរទិសក្នុងដែនអគ្គិសនី នោះម៉ូម៉ង់នៃដែនធ្វើកម្មន្តលើឌីប៉ូលបណ្តាលអោយមានបំរែបំរួលថាមពលប៉ូតង់ស្យែល។ កម្មន្តធ្វើដោយម៉ូម៉ង់ដោយបំលាស់ទីមុំ $d\phi$ អោយដោយទំនាក់ទំនង:

$$dW = \tau d\phi$$

ដោយសារតែម៉ូម៉ង់នេះក្នុងទិសបន្ថយមុំ ϕ នោះយើងត្រូវតែសរសេរ:

$$\tau = -pE\sin\phi \Rightarrow dW = \tau d\phi = -pE\sin\phi d\phi$$

ចំពោះបំលាស់ទីមុំ ពី ϕ_1 ទៅ ϕ_2 នោះកម្មន្តធ្វើលើឌីប៉ូលគឺ

$$W = \int_{\phi_1}^{\phi_2} -pE\sin\phi d\phi = pE\cos\phi_2 - pE\cos\phi_1$$

កម្មន្តស្មើនឹងអវិជ្ជមាននៃបំរែបំរួលថាមពលប៉ូតង់ស្យែល:

$$W = U_1 - U_2$$

ដូចនេះនិយមន័យនៃថាមពលប៉ូតង់ស្យែល នៃប្រព័ន្ធនេះគឺ $U(\phi) = -pE\cos\phi$ ដោយ $\vec{p}\cdot\vec{E} = pE\cos\phi$ នោះយើងបាន:

$$U = -\vec{p}\cdot\vec{E}$$

(ថាមពលប៉ូតង់ស្យែលចំពោះឌីប៉ូលមួយក្នុងដែនអគ្គិសនីឯកសណ្ឋាន)

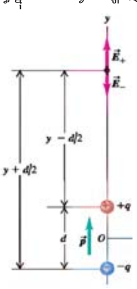
លំហាត់

១. រូបទី១បង្ហាញថាឌីប៉ូលអគ្គិសនីមួយក្នុងដែនអគ្គិសនីឯកសណ្ឋានមួយ $E = 5\times10^5 N/C$ ។ បន្ទុកទាំងពីរមានទំហំ $\pm1,6\times10^{-19}C$ ឃ្លាតពីគ្នាចំងាយ $0,125\times10^{-9}m$ ។ ចូររក

(ក) លាំងអគ្គិសនីមានអំពើដោយដែនមកលើឌីប៉ូល។**(ខ)** ទំហំ និងទិសដៅម៉ូម៉ង់ឌីប៉ូល

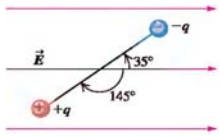
(គ) ទំហំ និងទិសដៅម៉ូម៉ង់បង្វិល។

(ឃ)ថាមពលប៉ូតង់ស្យែលនៃប្រព័ន្ធក្នុងទីតាំងដូចបង្ហាញក្នុងរូប។



រូបទី១

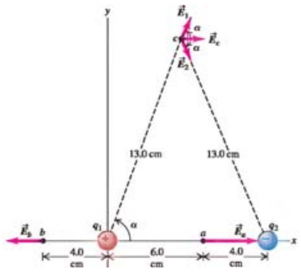
២. ក្នុងរូបទី២ ឌីប៉ូលមួយមានផ្ចិតត្រង់គល់អក្ស និង $\vec{p}$ មានទិសដៅតាមអក្ស $+y$ ។ ចូរទាញរកដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំនុចមួយលើអក្ស y ដែល $y >> d$ ។ ដោយប្រើ binomial expansion នៃសមីការ $1+x^n \cong 1+nx+n(n-1)x^2/2+\ldots \quad |x|<1$



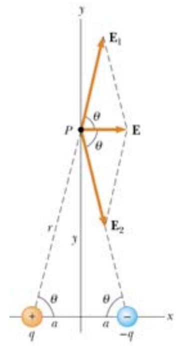
រូបទី២

៣. ឌីប៉ូលអគ្គិសនីមួយដូចរូបទី៣ មាន $q_1 = +12nC$ និង $q_2 = -12nC$ ឃ្លាតពីគ្នាចំងាយ 0,1m ។ ចូរគណនាដែនអគ្គិសនីបង្កើតដោយ q_1 ដែនបង្កើតដោយ q_2 និង ដែនបង្កើតដោយឌីប៉ូលត្រង់ចំនុច (a), (b)និង (c)។

៤. ចូរគណនាដែនអគ្គិសនីត្រង់ចំនុច Pបង្កើតដោយឌីប៉ូលអគ្គិសនីមួយដូចរូបទី៤ ដែល P មានចំងាយ y>>a ពីគល់អក្ស។



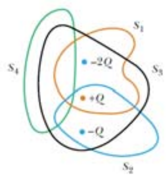
រូបទី៣



រូបទី៤

៥. ក្នុងរូបទី៥ ចូរគណនាភ្លុចអគ្គិសនីឆ្លងកាត់ផ្ទៃបិទនិមួយៗ។

៦. ក្នុងរូបទី៦ ចូរគណនាភ្លុចអគ្គិសនីឆ្លងកាត់ផ្ទៃប៉ារាបូល។



រូបទី៥

រូបទី៦

មេរៀនទី២០ ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនី

២០.១ ផលសងប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនី

ពេលបន្ទុកវិជ្ជមាន q_0 ផ្លាស់ទីពីចំនុច A ទៅ B ក្នុងដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ (រូបទី២០.១) នោះបំរែបំរួលថាមពលប៉ូតង់ស្យែលក្នុងប្រព័ន្ធ (បន្ទុក និងដែន)គឺ:

$$\Delta U = -q_0 \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

កម្មន្តធ្វើដោយកំលាំងអគ្គិសនីលើចំនុចបន្ទុកផ្លាស់ទីក្នុងដែនអ.នីត្រូវបានកំណត់ដោយបំរែបំរួលថាមពលប៉ូតង់ស្យែលអ.នី។ គេកំណត់សរសេរ:

$$W_{a \to b} = U_a - U_b$$

រូបទី២០.១ បន្ទុកផ្លាស់ទីពី A ទៅ B ក្នុងដែនអគ្គិនសី

ថាមពលប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីនៃប្រព័ន្ធបន្ទុកអ.នីពីរឃ្លាតគ្នាចំងាយ r កំណត់ដោយ

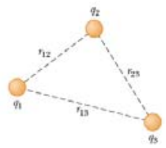
$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{qq_0}{r}$$

ថាមពលប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីនៃប្រព័ន្ធបន្ទុក អ.នី q_1, q_2, q_3, … បន្ទុកទាំងអស់ឃ្លាតពីគ្នាចំងាយមួយកំណត់ ដូចជាចំងាយរវាងបន្ទុក q_i និង q_j គឺ r_{ij}។ ថាមពលប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីសរុបកំណត់សរសេរ:

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{i<j} \frac{q_i q_j}{r_{ij}}$$

រូបទី២០.២ បង្ហាញពីប្រព័ន្ធមួយមានបន្ទុកចំនួនបី។ នោះថាមពលរបស់ប្រព័ន្ធគឺ:

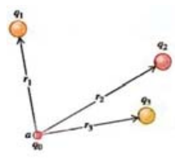
$$U = U_{12} + U_{13} + U_{23} = k_e \left(\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_3 q_2}{r_{23}} \right)$$



រូបទី២០.២ ប្រព័ន្ធបន្ទុកបី

ថាមពលប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីនៃបន្ទុក q_0 ក្នុងវត្តមានបន្ទុកអគ្គិសនី q_1, q_2, q_3 (រូបទី២០.៣) អាស្រ័យលើចំងាយរវាងq_0ទៅបន្ទុកនិមួយៗ។ គេកំណត់សរសេរ:

$$U = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} + \cdots \right) = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i}$$



រូបទី២០.៣ បន្ទុក q_o ផ្លាស់ទីចូកក្នុងប្រព័ន្ធបន្ទុក

២០.២ ផលសងប៉ូតង់ស្យែល និងប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនី

ប៉ូតង់ស្យែអគ្គិសនី $V = U / q_0$ គឺជាទំហំស្កាលែ និងមានខ្នាត J / C ដែល $1 \mathrm{J/C} \equiv 1 \mathrm{V}$

ផលសងប៉ូតង់ស្យែលរវាងចំនុច A និងចំនុច B ក្នុងដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ ត្រូវបានកំណត់ដោយ:

$$\Delta V \equiv \frac{\Delta U}{q_0} = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

ដូចនេះយើងអាចគណនាផល់សងប៉ូតង់ស្យែលរវាង A និង B បង្កើតដោយចំនុចបន្ទុកមួយ (រូបទី២០.៤) ដូចខាងក្រោម:

$$\Delta V \equiv \frac{\Delta U}{q_0} = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$V_B - V_A = -\int_A^B \vec{E} \cdot \overrightarrow{ds}$$

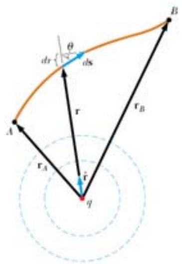
តាមរូបយើងមាន $\vec{E} \cdot \overrightarrow{ds} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{r} \cdot \overrightarrow{ds} = k_e \frac{q}{r^2} ds\, cos\theta = k_e \frac{q}{r^2} dr$

ដូចនេះ យើងបាន:

$$V_B - V_A = -\int_A^B k_e \frac{q}{r^2} dr = k_e q \left[\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A}\right]$$

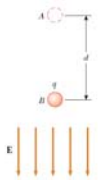
បើយើងកំណត់ $V_A = 0$ ពេល $r_A \to \infty$ និង $V_B = 0$ ពេល $r_B \to \infty$ នោះប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីបង្កើតដោយចំនុចបន្ទុកមួយត្រង់នៅចំងាយ r ពីចំនុចបន្ទុកគឺ:

$$V = k_e \frac{q}{r}$$



រូបទី២០.៤ ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិនសីបង្កើតដោយចំនុចបន្ទុក

ផលសងប៉ូតង់ស្យែលរវាងពីរចំនុច A និង ចំនុច B ក្នុងដែនអគ្គិសនីឯកសណ្ឋាន $\vec{E}$ (រូបទី២០.៥) ដែល $\vec{s}$ ជាវិចទ័រចង្អុលពី A ទៅ B ហើយកែងនឹង $\vec{E}$ គឺ $\Delta V = -Ed$



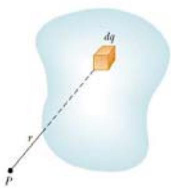
រូបទី២០.៥ បន្ទុកអគ្គិសនីផ្លាស់ទីក្នុងដែនឯកសណ្ឋាន

ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីត្រង់ចំនុចមួយបង្កើតដោយចំនុចបន្ទុកច្រើនគឺ:

$$V = \frac{U}{q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីបង្កើតដោយរបាយបន្ទុករាយស្មើសាច់ដូចរូបទី២០.៦ អោយដោយរូបមន្ត:

$$V = k_e \int \frac{dq}{r}$$



រូបទី២០.៦ ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីត្រង់ចំនុច P បង្កើតដោយរបាយបន្ទុក

២០.៣ ទំនាក់ទំនងដែនអគ្គិសនី និងប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនី

បើយើងដឹងប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីជាអនុគមន៍នៃកូអរដោនេ x, y, z យើងទទួលបានដែនអគ្គិសនីតាមកំប៉ូសង់ដូចតទៅ:

$$E_x = -\frac{dV}{dx}, E_y = -\frac{dV}{dy} \text{ និង } E_z = -\frac{dV}{dz}$$

គេកំណត់សរសេរ:

$$\vec{E} = -\left(\hat{i}\frac{\partial V}{\partial x} + \hat{j}\frac{\partial V}{\partial y} + \hat{k}\frac{\partial V}{\partial z}\right)$$

ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីនៃរបាយបន្ទុកអគ្គិសនីរាយស្មើសាច់		
របាយបន្ទុក	**ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនី**	**ទីតាំង**
កងកាំ a ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីស្មើសាច់	$k_e \frac{Q}{\sqrt{x^2 + a^2}}$	តាមអក្សកែងផ្ចិត
ថាសកាំ a ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីស្មើសាច់	$V = 2\pi k_e \sigma \left[\left(x^2 + a^2 \right)^{1/2} - x \right]$	តាមអក្សកែងផ្ចិត

ស្វែមិនចំលងអគ្គិសនីកាំ R ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីស្មើសាច់ Q	$k_e\frac{Q}{r}$	$r \geq R$
	$\frac{k_eQ}{2R}\left(3-\frac{r^2}{R^2}\right)$	$r < R$
ស្វែចំលងអគ្គិសនីកាំ R ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីស្មើសាច់ Q	$k_e\frac{Q}{r}$	$r > R$
	$k_e\frac{Q}{R}$	$r \leq R$

លំហាត់

១. ប៉ូស៊ីត្រុងមួយមានម៉ាស $9{,}11\times10^{-31}$ kg និងមានបន្ទុក $e^{+}=1{,}6\times10^{-19}$ C ។ ឧបមាថាផង់អាល់ហ្វាមួយមានបន្ទុក $+2e=2(1{,}6\times10^{-19})C$ និងមានម៉ាសស្មើនឹង 7000ដងនៃម៉ាសប៉ូស៊ីត្រុង(ពេលវានៅស្ងៀម)។ ពេលប៉ូស៊ីត្រុងឃ្លាតពីផង់អាល់ហ្វាចំងាយ $10^{-10}m$ វាផ្លាស់ទីចេញពីផង់អាល់ហ្វាដោយល្បឿន $3\times10^{6}m/s$ ។

(ក) គណនាល្បឿនរបស់ប៉ូស៊ីត្រុងពេលវានៅចំងាយ $2\times10^{-10}m$ ពីផង់អាល់ហ្វា។

ចំលើយ: $3{,}8\times10^{6}m/s$

(ខ) គណនាល្បឿនរបស់ប៉ូស៊ីត្រុងពេលវានៅឆ្ងាយណាស់ពីផង់អាល់ហ្វា។

ចំលើយ: $4{,}4\times10^{6}m/s$

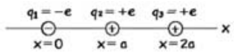
(គ) តើមានអ្វីប្រែប្រួលបើផង់ផ្លាស់ទីជាអេឡិចត្រុងវិញ។ **ចំលើយ:** $2\times10^{6}m/s$

២. ចំនុចបន្ទុកពីរដាក់លើអក្ស x ដែល $q_1=-e$ ត្រង់ $x=0$ និង $q_1=e$ ត្រង់ $x=a$ ។

(ក) គណនាកម្មន្តដែលបានធ្វើដោយកំលាំងខាងក្រៅដើម្បីនាំបន្ទុក q_3 ពីអានន្តមកត្រង់ $x=2a$ ដូចរូបទី២។

ចំលើយ: $\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 a}$

(ខ) ចូររកថាមពលប៉ូតង់ស្យែលសរុបនៃប្រព័ន្ធបន្ទុកទាំងបី។ **ចំលើយ:** $\frac{-e^2}{8\pi\varepsilon_0 a}$



រូបទី២

៣.ស្វែមិនចំលងអគ្គិសនីមួយមានកាំ 2a មានដង់ស៊ីតេក្នុងមួយខ្នាតមាឌ ρ។ ប្រហោងស្វែមួយមានកាំ a ត្រូវបានដកចេញពីស្វែកាំ 2a ដូចរូបទី៣។ ចូរបង្ហាញថាដែនអគ្គិសនីក្នុងរន្ធជាដែនឯកសណ្ឋានដែល $E_x=0$ និង $E_y=\frac{\rho a}{3\varepsilon_0}$ ។ (ការណែនាំ: ដែនក្នុងប្រហោងស្វែគឺជាផលបូកដែនបង្កើតដោយស្វែកាំ 2a និងដែនបង្កើតដោយស្វែកាំa ដែលមានបន្ទុកអវិជ្ជមាន មានដង់ស៊ីតេ $-\rho$)។

៤. **លំហាត់សារឡើងវិញ:** ដើមឡើយទំរង់អាតូមអ៊ីដ្រូសែនមួយបានណែនាំអោយស្គាល់ដោយលោក J.J. Thomson ថាហាក់ដូចជាដុំពពកមានបន្ទុក +e រាយស្មើសាច់ពេញមាឌស្វែមួយកាំ R ហើយមានអេឡិចត្រុង -e នៅត្រង់ផ្ចិត។

(ក) ដោយប្រើច្បាប់ហ្គោល ចូរបង្ហាញថា បើអេឡិចត្រុងត្រូវបានដាក់នៅចំងាយ r<R ពីផ្ចិត នោះវានឹងរងកំលាំងចូលផ្ចិត $\vec{F}=-K\vec{r}$ ដែល K ជាចំនួនថេរ។

(ខ) ចូរបង្ហាញថា $K=k_e e^2/R^3$

(គ) ចូរសរសេរកន្សោមប្រេកង់ f នៃលំយោលអាម៉ូនិចរបស់អេឡិចត្រុង បើវាត្រូវបានដាក់នៅក្បែរៗផ្ចិត។

(ឃ) ចូរគណនា R បើ $f=2{,}47\times10^{15}Hz$

៥. ប្រូតុងមួយត្រូវបានប្រលែងក្នុងដែនអ.នីឯកសណ្ឋានមួយ $E=8\times10^{4}N/m$ ដូចរូបទី៥។ ប្រូតុងផ្លាស់ទីបានប្រវែង 0,5mតាមទិសដៅរបស់ដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ ។

(ក) ចូរគណនាបំរែបំរួលប៉ូតង់ស្យែងអគ្គិសនីរវាងចំនុច A និង B។

ចំលើយ: -4 x 10^{4}V

(ខ) ចូរគណនាបំរែបំរួលថាមពលប៉ូតង់ស្យែលនៃប្រព័ន្ធ(ប្រូតុង - ដែន)ចំពោះបំលាស់ទីនេះ។ ចំលើយ: -6,4 x 10^{-15}J

(គ) គណនាល្បឿនប្រូតុងត្រង់ B ។

ចំលើយ:2,8 x 10^{6}m/s

៦. តាមឌីប៉ូលក្នុងរូបទី៦។ ចូរគណនា

(ក) ប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនីត្រង់ P។

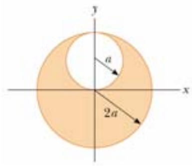
ចំលើយ: $\frac{2k_e qa}{x^2 - a^2}$

(ខ) V និង E_x ត្រង់ចំនុចមួយឆ្ងាយពីឌីប៉ូល។

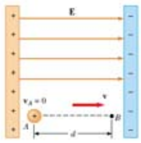
ចំលើយ: $\frac{2k_e qa}{x^2}$ $(x \gg a)$ និង $E_x = -\frac{dV}{dx} = \frac{4k_e qa}{x^3}$ $(x \gg a)$

(គ) V និង E_x ត្រង់ចំនុចមួយនៅចន្លោះឌីប៉ូល។

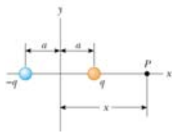
ចំលើយ: $\frac{2k_e qx}{a^2 - x^2}$ និង $E_x = -2k_e q\frac{a^2 + x^2}{(a^2 - x^2)^2}$



រូបទី៣



រូបទី៥

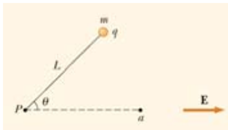


រូបទី៦

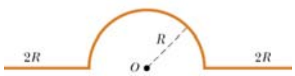
៧. ផង់មួយមានបន្ទុក $q = +2\mu C$ និងម៉ាស $m = 0,01m$ ត្រូវបានភ្ជាប់ទៅនឹងខ្សែមួយប្រវែង $L = 1,5m$ និងចុងម្ខាងត្រូវចងជាប់នឹងចំនុច Pដូចរូបទី៧។ ដោយសន្មត់ថា ផង់ ខ្សែ និងចំនុចរង្វិល P ស្ថិតនៅលើប្លង់ដេកគ្មានកកិត។ ផង់ត្រូវបានប្រលែងពីទីតាំងលំនឹងត្រង់ $\theta = 60°$ ធៀបនឹងដែន $E = 300V / m$ ។ ចូរគណនាល្បឿនរបស់ផង់ពេលខ្សែស្រប់ជាមួយដែន។

ចំលើយ: 0,3m/s

៨. ខ្សែមួយមានដង់ស៊ីតេបន្ទុកស្មើសាច់ λ ត្រូវបានពត់ជារាងដូចរូបទី៨។ ចូរគណនាដែនអគ្គិសនីត្រង់ O ។



រូបទី៧



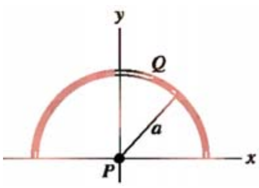
រូបទី៨

៩. បន្ទុកវិជ្ជមាន Q រាយស្មើសាច់លើកន្លះរង្វង់កាំ a មួយ ដូចរូបទី៩។ ចូរគណនាដែនអគ្គិសនីត្រង់ផ្ចិត P។

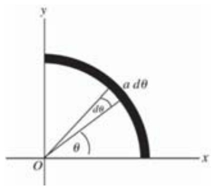
ចំលើយ: $E_y = \frac{2k_e\lambda}{a} = \frac{2k_e Q}{a^2}$

១០. បន្ទុកអវិជ្ជមាន -Q រាយស្មើសាច់លើមួយភាគបួនរង្វង់ នៅកាដ្រង់ទី១ កាំ a មួយ ដូចរូបទី១០។ ចូរគណនាដែនអគ្គិសនីត្រង់ផ្ចិត P។

ចំលើយ: $E_x = E_y = \frac{Q}{2\pi^2\varepsilon_0 a^2}$



រូបទី៩

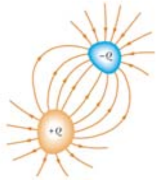


រូបទី១០

មេរៀនទី ២១ កាប៉ាស៊ីតេ និងឌីអេឡិចទ្រិច

២១.១ កុងដង់សាទ័រ និងកាប៉ាស៊ីតេ

កុងដង់សាទ័រ បង្កើតឡើងដោយអង្គធាតុចំលងពីរឃ្លាតពីគ្នាចំងាយ d នៅចន្លោះ អង្គធាតុចំលងទាំងពីរជាសារធាតុមិនចំលងអគ្គិសនី។ ពេលកុងដង់សាទ័រផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីបន្ទុកនៅលើបន្ទះទាំងពីរមានទំហំ Q ដូចគ្នា តែមានសញ្ញាផ្ទុយគ្នា ហើយផលសងប៉ូតង់ស្យែលរវាងអង្គធាតុចំលងទាំងពីរគឺ V_{ab} (រូបទី២១.១)។ កាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រអោយដោយរូបមន្ត: $C \equiv \frac{Q}{\Delta V}$



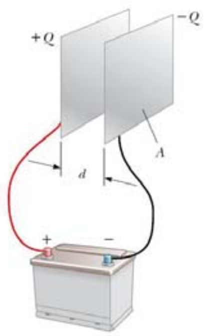
រូបទី២១.១ កុងដង់សាទ័រ

កាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រប្លង់មួយ(រូបទី២១.២) ត្រូវបានកំណត់សរសេរ:

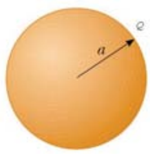
$$C = \frac{Q}{V_{ab}} = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

កាប៉ាស៊ីតេរបស់កុងដង់សាទ័រមួយចំនួន

ប្រភេទកុងដង់សាទ័រ	កាប៉ាស៊ីតេ
ប្លង់ (រូបទី២១.២)	$C = \frac{Q}{V_{ab}} = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$
ស្វៃមួយកាំ R (រូបទី២១.៣)	$C = 4\pi\varepsilon_0 a$
ស៊ីឡាំង(រូបទី២១.៤)	$C = \frac{l}{2k_e \ln(b/a)}$
ស្វៃពីរកាំ a និង b (រូបទី២១.៥)	$C = \frac{ab}{k_e(b-a)}$

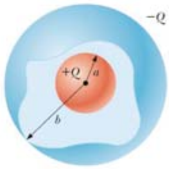


រូបទី២១.២ កុងដង់សាទ័រប្លង់



រូបទី២១.៣ កុងដង់សាទ័រស្វៃទោល

រូបទី២១.៤ កុងដង់សាទ័រស៊ីឡាំង

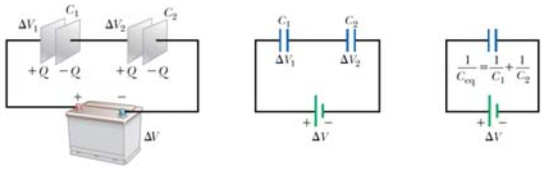


រូបទី២១.៥ កុងដង់សាទ័រស្វៃ

២១.២.កុងដង់សាទ័រជាសេរី និងខ្នែង

កាប៉ាស៊ីតេសមមូលនៃកុងដង់សាទ័រផ្គុំជាសេរីដូចរូបទី២១.៦ គឺ:

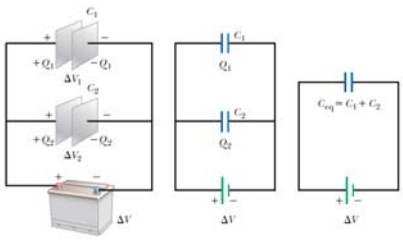
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + ...$$



រូបទី២១.៦ បង្គុំកុងដង់សាទ័រជាសេរី

កាប៉ាស៊ីតេនៃកុងដង់សាទ័រផ្គុំជាខ្នែងដូចរូបទី២១.៧ អោយដោយ:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + ...$$



រូបទី២១.៧ បង្គុំកុងដង់សាទ័រជាខ្នែង

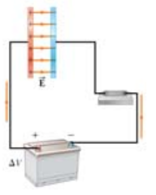
២១.៣ ថាមពលក្នុងកុងដង់សាទ័រ

ក្នុងរូបទី២១.៧បង្ហាញពីការផ្ទុកថាមពលអគ្គិសនី U ក្នុងកុងដង់សាទ័រមួយមានកាប៉ាស៊ីតេC។ ដើម្បីអោយកុងដង់ពីមានបន្ទុកស្មើសូន្យ មានផលសងប៉ូតង់ស្យែល V និងបន្ទុកQនោះថាមពលចាំបាច់ដើម្បីផ្ទុកថាមពលនេះគឺ:

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}QV$$

និងដង់ស៊ីតេថាមពល:

$$u = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$$



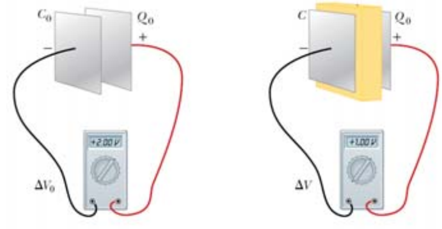
រូបទី២១.៧ ការផ្ទុកថាមពលក្នុងកុងដង់សាទ័រ

២១.៤ ឌីអេឡិចទ្រិច

ពេលចន្លោះអាម៉ាតូទាំងពីរនៃកុងដង់សាទ័រប្លង់ត្រូវបានបំពេញដោយសារធាតុឌីអេឡិចទ្រិចដូចរូបទី២១.៨ នោះកាប៉ាស៊ីតេរបស់កុងដង់សាទ័រកើនឡើងដោយមេគុណ K ដែល K ហៅថាថេរឌីអេឡិចទ្រិចរបស់សារធាតុ។ តំលៃ $\varepsilon = K\varepsilon_0$ ត្រូវបានហៅថាពែមីទីវិតេរបស់ឌីអេឡិចទ្រិច។ កាប៉ាស៊ីតេកុងដង់សាទ័រអោយដោយរូបមន្ត:

$$C = KC_0 = K\varepsilon_0\frac{A}{d} = \varepsilon\frac{A}{d}$$

$$u = \frac{1}{2}K\varepsilon_0 E^2 = \frac{1}{2}\varepsilon E^2$$



រូបទី២១.៨ កុងដង់សាទ័រប្លង់មានសារធាតុឌីអេឡិចទ្រិចនៅចន្លោះអាម៉ាតួ

លំហាត់

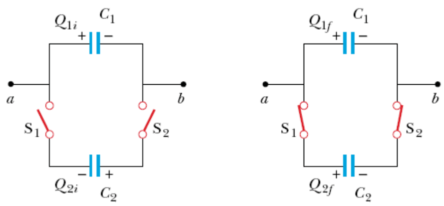
១.កុងដង់សាទ័រពីរ C_1 និង $C_2\,(C_1 > C_2)$ត្រូវបានផ្ទុកអោយមានផលសងប៉ូតង់ស្យែលដូចគ្នា ΔV_i ។ បន្ទាប់មកប្រភពតង់ស្យុងត្រូវបានដកចេញ និងបន្ទះអាម៉ាតួរបស់វាទាំងពីរត្រូវបានភ្ជាប់ផ្ទុយដូចរូបទី១។ បន្ទាប់មកកុងតាក់ S_1 និង S_2 ត្រូវបិទ។

(ក) ចូរគណនា ΔV_f រវាង a និង b បន្ទាប់ពីកុងតាក់បិទ។

ចំលើយ: $\Delta V_f = \left(\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2}\right)\Delta V_i$

(ខ) ចូរគណនាថាមពលសរុបដែលបានផ្ទុកក្នុងកុងដង់សាទ័រមុនពេលនិងក្រោយពេលកុងតាក់បិទ។

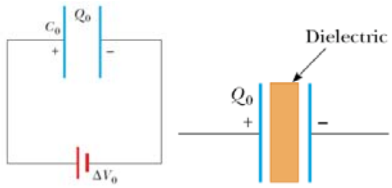
ចំលើយ: $U_i = \frac{1}{2}\ C_1 + C_2\ (\Delta V_i)^2,\ U_f = \frac{C_1 - C_2\ ^2 (\Delta V_i)^2}{2\ C_1 + C_2}$



រូបទី១

២. កុងដង់សាទ័រប្លង់មួយផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនី Q_0 ដូចរូបទី២។បន្ទាប់មកប្រភពត្រូវបានដកចេញ ហើយសារធាតុឌីអេឡិចទ្រិច មានថេរអេឡិចទ្រិច k ត្រូវបានដាក់បញ្ចូលចន្លោះអាម៉ាតួទាំងពីរ។ ចូរគណនាថាមពលសរុបដែលបានផ្ទុកក្នុងកុងដង់សាទ័រមុនពេលនិងក្រោយពេលដាក់ឌីអេឡិចទ្រិច។

ចំលើយ: $U_0 = \frac{Q_0^{\ 2}}{2C_0},\quad U = \frac{U_0}{k}$



រូបទី២

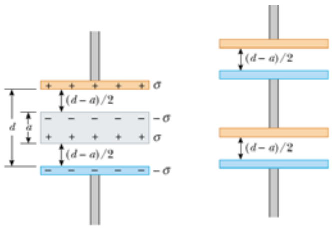
៣. កុងដង់សាទ័រប្លង់មួយមានអាម៉ាតួឃ្លាតគ្នាចំងាយ d និងផ្ទៃរបស់អាម៉ាតួ A។ បន្ទះលោហៈណឹតមួយកំរាស់ a ត្រូវបានដាក់ចំកណ្តាលចន្លោះអាម៉ាតួទាំងពីរ។

(ក) ចូរគណនាកាប៉ាស៊ីតេរបស់កុងដង់សាទ័រនេះ។

ចំលើយ: $C = \frac{\varepsilon_0 A}{d - a}$

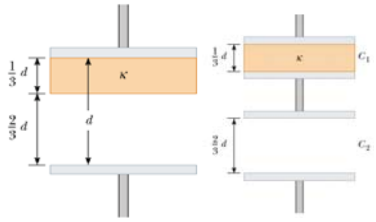
(ខ) ចូរគណនាកាប៉ាស៊ីតេរបស់កុងដង់សាទ័រ បើបន្ទះលោហៈមិនដាក់ចំកណ្តាលចន្លោះអាម៉ាតួទាំងពីរ។

ចំលើយ: $C = \frac{\varepsilon_0 A}{d - a}$



រូបទី៣

៤. កុងដង់សាទ័រប្លង់មួយមានអាម៉ាតួឃ្លាតគ្នាចំងាយ d មានកាប៉ាស៊ីតេ C_0 ពេលគ្មានវត្ថុមានសារធាតុឌីអេឡិចទ្រិច។ ចូរគណនាកាប៉ាស៊ីតេរបស់កុងដង់សាទ័របន្ទាប់ពីគេដាក់សារធាតុឌីអេឡិចទ្រិច មានថេរឌីអេឡិចទ្រិច k នៅចន្លោះអាម៉ាតួទាំងពីរដូចរូបទី៤។ ចំលើយ: $C = \left(\frac{3k}{2k+1}\right)C_0$



រូបទី៤

៥. អាម៉ាតួរបស់កុងដង់សាទ័រមួយមានផ្ទៃ 2m2 និងឃ្លាតគ្នាចំងាយ 5mm។ ផលសងប៉ូតង់ស្យែល 10000V ត្រូវបានផ្តល់អោយកុងដង់សាទ័រ។ ចូរគណនា

(ក)កាប៉ាស៊ីតេរបស់កុងដង់ (ខ) បន្ទុកអគ្គិសនីលើបន្ទះអាម៉ាតួនីមួយ

(គ)ទំហំដែនអគ្គិសនីចន្លោះអាម៉ាតួទាំងពីរ

មេរៀនទី ២២ ចរន្តជាប់ និងច្បាប់សៀគ្វី

២២.១ ចរន្ត និងដង់ស៊ីតេចរន្ត

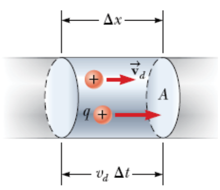
ក្នុងរូបទី២២.១ ឧបមាថា មាន n ផង់ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីក្នុងមួយខ្នាតមាឌ ហើយសន្មត់ថាផង់ទាំងអស់ផ្លាស់ទីដោយល្បឿនរសាត់ v_d ស្មើគ្នា និងក្នុងរយៈពេល dt ផង់នីមួយៗផ្លាស់ទីបានចំងាយ $v_d dt$ ។ មាឌរបស់ស៊ីឡាំង$Av_d dt$ និងចំនួនផង់ក្នុងមាឌនេះស្មើនឹង $nAv_d dt$។

បើផង់នីមួយៗមានបន្ទុក q នោះបរិមាណបន្ទុកអគ្គិសនីក្នុងមាឌនេះស្មើនឹង $qnAv_d dt$ ។ យើងបាន:

$$I = \frac{dQ}{dt} = n|q|v_d A$$

$$\vec{J} = \frac{\vec{I}}{A} = nq\vec{v}_d$$

ដែល I ជាចរន្តអគ្គិសនី និង J ជាដង់ស៊ីតេចរន្តអគ្គិសនី



រូបទី២២.១ កំនាត់ខ្សែចំលងមួយមានចរន្តឆ្លងកាត់

២២.២ រេស៊ីស្ទីវីតេ

យើងមាន: $V = EL = L\frac{\rho I}{A} = RI \Rightarrow R = \frac{\rho L}{A}$

ដោយដឹងអង្គធាតុចំលងរីកមាឌពេលដែលសីតុណ្ហភាពកើនឡើង។ ដោយរេស៊ីស្តង់របស់អង្គធាតុចំលងអាស្រ័យនឹងប្រវែង ដូចនេះ ពេលសីតុណ្ហភាពប្រែប្រួលនោះរេស៊ីស្តង់របស់វាក៏ប្រែប្រួលតាមសីតុណ្ហភាពដែរ។ គេមានទំនាក់ទំនង:

$$\rho = \frac{E}{J}, \vec{E} = \rho\vec{J}, \quad \rho(T) = \rho_0\left[1 + \alpha\ T - T_0\ \right]$$

ដូចនេះ យើងអាចសរសេរ:

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

ដែល $\alpha = \frac{1}{\rho_0}\frac{\Delta\rho}{\Delta T}$

២២.៣ ទ្រឹស្តីនៃអង្គធាតុចំលងអគ្គិសនី

យើងនឹងសិក្សាទៅលើចលនារបស់អេឡិចត្រុងក្នុងអង្គធាតុចំលងតាមរូបវិទ្យាបុរាណដោយមិនគិតពីមេកានិចកង់ទិច។ ក្នុងគំរូដ៍សាមញ្ញនៃការចំលងអគ្គិសនីក្នុងលោហៈអាតូមនីមួយៗក្នុងក្រាមលោហៈមានអេឡិចត្រុងស្រទាប់ក្រៅចំនួនមួយរឺច្រើន។ អេឡិចត្រុងទាំងនេះអាចផ្លាស់ទីដោយសេរីក្នុងក្រាមហើយពេលផ្លាស់ទីវាទង្គិចជាមួយនឹងអ៊ីយ៉ុងវិជ្ជមាននៅស្ងៀម។

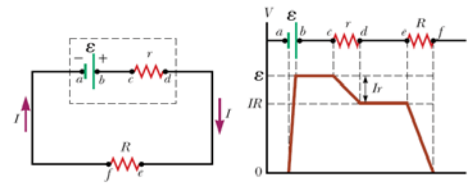
២២.៤ ចរន្ត និងកំលាំងអគ្គិសនីចលករ

រូបទី២២.២ បង្ហាញពីសៀគ្វីបិទមួយរួមមានប្រភពតង់ស្យុងមួយមានរេស៊ីស្តង់ក្នុង r និងរេស៊ីស្តង់ R មួយ។ តាមរូបយើងបាន:

$$V_{ef} = \varepsilon - Ir$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

$$I\varepsilon = I^2R + I^2r$$



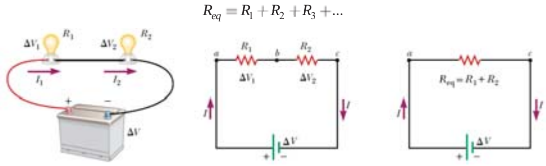
(ក) សៀគ្វីដ្យាក្រាម (ខ) ក្រាបតង់ស្យុង

រូបទី២២.២ សៀគ្វីបិទមួយដែលប្រភពមានរេស៊ីស្តង់ក្នុង

២២.៥ បន្តុំរេស៊ីស្តរ

រូបទី២២.៣ បង្ហាញពីបង្គុំរេស៊ីស្តរជាស៊េរី ដែលរេស៊ីស្តង់សមមូលនៃបង្គុំអាចសរសេរ:

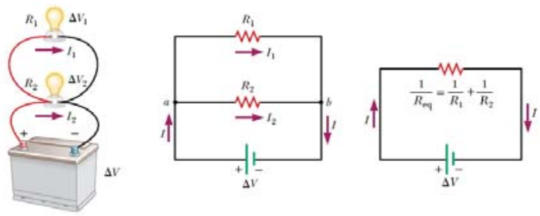
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$$



រូបទី២២.៣ រេស៊ីស្តង់សមមូលនៃបង្គុំរេស៊ីស្តរជាស៊េរី

រូបទី២២.៤ បង្ហាញពីបង្គុំរេស៊ីស្តរជាខ្នែង ដែលរេស៊ីស្តង់សមមូលនៃបង្គុំអាចសរសេរ:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$$



រូបទី២២.៤ រេស៊ីស្តង់សមមូលនៃបង្គុំរេស៊ីស្តរជាខ្នែង

២២.៦ ច្បាប់គៀរឆូស

ច្បាប់តង់ស្យុង

ផល់បូកនៃផល់សងប៉ូតង់ស្យែលរវាងប៉ូលទាំងពីរនៃធាតុអគ្គិសនីទាំងអស់ក្នុងសៀគ្វីបិទមួយមានតំលៃស្មើសូន្យ។

$$\sum_{\substack{closed \\ loop}} \Delta V = 0$$

ពេលដែលយើងអនុវត្តច្បាប់នេះ យើងត្រូវកំណត់សញ្ញានៃធាតុអគ្គិសនីដូចខាងក្រោម:

- **ចំពោះរេស៊ីស្តង់**

ដោយសារបន្ទុកអគ្គិសនីផ្លាស់ទីពីប៉ូតង់ស្យែលខ្ពស់ទៅប៉ូតង់ស្យែលទាបនៃរេស៊ីស្តង់ នោះយើងបានកំណត់ ប៉ូលនៃរេស៊ីស្តង់ដូចខាងក្រោម:

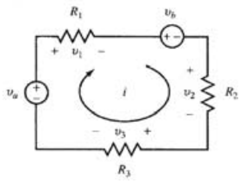
- បើទិសដៅសន្មត់នៃវង់ឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តង់មានទិសដៅដូចចរន្ត នោះផល់សងប៉ូតង់ស្យែល ΔV របស់វាគឺស្មើនឹង $-IR$ ។
- បើទិសដៅសន្មត់នៃវង់ឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តង់មានទិសដៅផ្ទុយទិសដៅចរន្ត នោះផល់សងប៉ូតង់ស្យែល ΔV របស់វាគឺស្មើនឹង $+IR$ ។

➢ **ចំពោះប្រភព**

- បើទិសដៅសន្មត់នៃវង់ឆ្លងកាត់ប្រភពមានទិសដៅពីប៉ូល (-) ទៅប៉ូល (+) នៃប្រភព នោះផល់សង ប៉ូតង់ស្យែល ΔV របស់វាគឺស្មើនឹង $+\varepsilon$ ។

- បើទិសដៅសន្មត់នៃវង់ឆ្លងកាត់ប្រភពមានទិសដៅពីប៉ូល (+) ទៅប៉ូល (-) នៃប្រភព នោះផល់សង ប៉ូតង់ស្យែល ΔV របស់វាគឺស្មើនឹង $-\varepsilon$ ។

ឧទាហរណ៍១ សរសេរសមីការ KVL ចំពោះសៀគ្វីក្នុងរូបទី២២.៥ខាងក្រោម។



រូបទី២២.៥ សៀគ្វីបិទមួយ

តាម KVL យើងបាន:

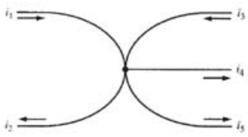
$$-v_a + v_1 + v_b + v_2 + v_3 = 0$$
$$-v_a + iR_1 + v_b + iR_2 + iR_3 = 0$$
$$v_a - v_b = i(R_1 + R_2 + R_3)$$

ច្បាប់ចរន្តរបស់គៀរឆូវ (KCL)

ផលបូកចរន្តចូលថ្នាំងស្មើនឹងផលបូកចរន្តចេញពីថ្នាំង។

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

ឧទាហរណ៍ ២ សរសេរសមីការ KCL ចំពោះសៀគ្វីក្នុងរូបទី២២.៦ខាងក្រោម។



រូបទី២២.៦ ចរន្តត្រង់ថ្នាំង

តាម KCL យើងបាន:

$$i_1 - i_2 + i_3 - i_4 - i_5 = 0$$
$$i_1 + i_3 = i_2 + i_4 + i_5$$

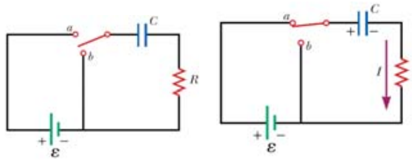
២២.៧ សៀគ្វី *RC*

ការផ្ទុកកុងដង់សាទ័រ

ក្នុងសៀគ្វីនៃរូបទី២២.៧ ដើមឡើយកុងដង់សាទ័រគ្មានបន្ទុក បន្ទាប់ពីកុងតាក់បិទបានរយៈពេល t យើងបានបន្ទុកក្នុងកុងដង់សាទ័រ និងចរន្តក្នុងសៀគ្វីអោយដូចខាងក្រោម:

$$q = C\varepsilon\left(1 - e^{-t/RC}\right) = Q\left(1 - e^{-t/RC}\right)$$

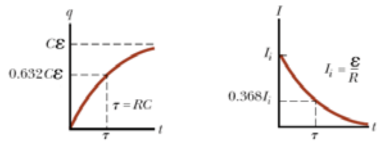
$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon}{R}e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC}$$



(ក) សៀគ្វី RC (សៀគ្វីចំហ) (ខ) សៀគ្វី RC ពេលសៀគ្វីបិទ

រូបទី២២.៧ សៀគ្វី RC ពេលផ្ទុក

ក្រាបបន្ទុក និងចរន្តត្រូវបានបង្ហាញដូចរូបទី២២.៨។

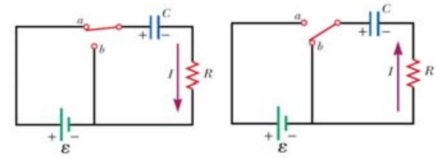


រូបទី២២.៨ ក្រាបបន្ទុកប្រែប្រួលតាមពេល និងក្រាបចរន្តក្នុងសៀគ្វី

ការផ្ទេរតុងដង់សាទ័រ

ក្នុងសៀគ្វីនៃរូបទី២២.៩ ដើមឡើយកុងដង់សាទ័រមានបន្ទុកពេញQ បន្ទាប់ពីកុងតាក់បិទបានរយៈពេល t យើងបានបន្ទុកក្នុងកុងដង់សាទ័រ និងចរន្តក្នុងសៀគ្វីអោយដូចខាងក្រោម:

$$q = Qe^{-t/RC}$$
$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{Q}{RC}e^{-t/RC} = I_0e^{-t/RC}$$



រូបទី២២.៩ សៀគ្វី RC ពេលផ្ទេរ

លំហាត់

១. ខ្សែចំលងមួយមានអង្កត់ផ្ចិត $d=1,02\text{mm}$ ឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $1,67\text{A}$។ ដង់ស៊ីតេអេឡិចត្រុងសេរីមានចំនួន $8,5\times10^{28}$ អេឡិចត្រុងក្នុងមួយម៉ែតគូប។ ចូរគណនា

(ក) ដង់ស៊ីតេចរន្តឆ្លងកាត់ខ្សែចំលង។ចំលើយ: $2,04\times10^{6} A/m^{2}$

(ខ) ល្បឿនរសាត់របស់អេឡិចត្រុង។ ចំលើយ:$1,5\times10^{-4} m/s$

២. ខ្សែចំលងមួយមានអង្កត់ផ្ចិត $d=1,02\text{mm}$ ឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត $1,67\text{A}$។ ប្រភេទខ្សែចំលងនេះមានរេស៊ីស្ទីវីតេ $\rho=1,72\times10^{-8}\Omega\cdot\mathbf{m}$។ ចូរគណនា

(ក) អាំងតង់ស៊ីតេដែនអគ្គិសនីក្នុងខ្សែចំលង។

ចំលើយ: 0,035V/m

(ខ) ផលសងប៉ូតង់ស្យែលរវាងពីរចំនុចនៃខ្សែចំលងចំងាយ 50mពីគ្នា។

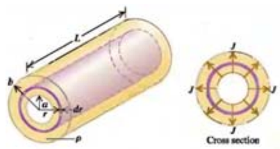
ចំលើយ: 1,75V

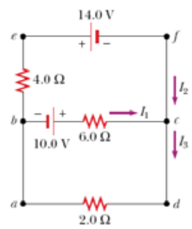
(គ) រេស៊ីស្តង់ខ្សែចំលងប្រវែង 50m។ចំលើយ: 1,05 អូម

៣. ស៊ីឡាំងប្រហោងមួយដូចរូបទី៣ មានប្រវែង L និងមានកាំខាងក្នុង a និងកាំខាងក្រៅ b។ ខ្សែនេះធ្វើពីសារធាតុមិនមានរេស៊ីស្ទីវីតេ ρ។ ខ្សែនេះមានផលសងប៉ូតង់ស្យែលរវាងកាំក្នុង និងកាំក្រៅដូចនេះមានចរន្តរត់ក្នុងស៊ីឡាំងពីa ទៅb។ ចូរគណនារេស៊ីស្តង់ចំពោះចរន្តនេះ។

ចំលើយ: $R = \frac{\rho}{2\pi L}\ln\frac{b}{a}$

៤. ចូរគណនាចរន្តរត់ក្នុងសៀគ្វីនៃរូបទី៤។

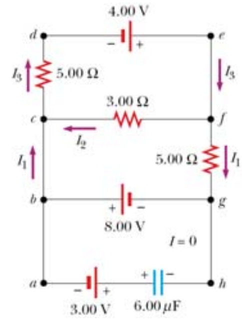




រូបទី៣ រូបទី៤

៥. ក្នុងរូបទី៥ ក្នុងលក្ខខ័ណលំនឹងចរន្ត ចូរគណនា ចរន្តក្នុងសៀគ្វី រួចគណនាបន្ទុកក្នុងកុងដង់សាទ័រ។

៦. ក្នុងដង់មិនទាន់ផ្ទុកបន្ទុកមួយ និងរេស៊ីស្តរមួយត្រូវបានភ្ជាប់ទៅនិងប្រភពតង់ស្យុងមួយដូចរូបទី៦ ដែល $\varepsilon=12V,C=5\mu F$ និង $R=8\times10^{5}\Omega$។ ចូរគណនាថេរពេលនៃសៀគ្វី បន្ទុកអតិបរិមារបស់កុងដង់ ចរន្តអតិបរិមាឆ្លងកាត់សៀគ្វី និង បន្ទុកនិងចរន្តជាអនុគមន៍នៃពេល។

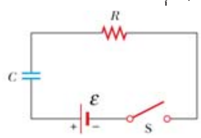


រូបទី៥

៧. កុងដង់សាទ័រមួយមានកាប៉ាស៊ីតេ C ផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីពេញត្រូវបានផ្ទេបន្ទុកតាមរយៈ រេស៊ីស្តរ R មួយ។

(ក)តើរយៈពេលប៉ុន្មានថេរពេលបានជាបន្ទុកនៅក្នុងកុងដង់ស្មើ1/4បន្ទុកដើម។

(ខ) តើរយៈពេលប៉ុន្មានថេរពេលបានជាថាមពលនៅក្នុងកុងដង់ស្មើ1/4ថាមពលដើម។



រូបទី៦

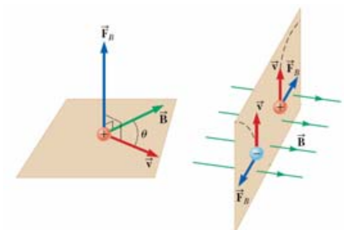
មេរៀនទី ២៣ ដែនម៉ាញ៉េទិច

២៣.១ កំលាំងម៉ាញ៉េទិច

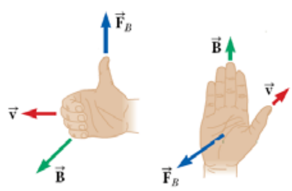
បើបន្ទុកអគ្គិសនីមួយ q ផ្លាស់ទីក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិច នោះវារងនូវកំលាំងម៉ាញ៉េទិច ដែលកំលាំងម៉ាញ៉េទិចមានអំពើលើបន្ទុកអគ្គិសនីផ្លាស់ទីក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិចអោយដោយរូបមន្ត:

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

ដែលទិសដៅកំលាំងម៉ាញ៉េទិចមានអំពើលើបន្ទុកត្រូវបានបង្ហាញដូចរូបទី២៣.១។ និងរូបទី២៣.២ បង្ហាញពីវិធានរកទិសដៅដែនម៉ាញេទិច។



រូបទី២៣.១ ទិសដៅកំលាំងម៉ាញ៉េទិច



រូបទី២៣.២ ទិសដៅកំលាំងម៉ាញ៉េទិចរកតាមវិធានកណ្តាប់ដៃស្តាំ

២៣.២ ចលនាបន្ទុកក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិច

បើបន្ទុកផ្លាស់ទីកែងនឹងដែនម៉ាញ៉េទិចឯកសណ្ឋាន នោះវារងនូវកំលាំងម៉ាញ៉េទិចថេរ មានទិសដៅកែងនឹង $\vec{v}$ និង $\vec{B}$។ ដូចនេះ បន្ទុកផ្លាស់ទីក្រោមគន្លងជារង្វង់មានកាំ r ក្រោមកំលាំងចូលផ្ចិតនៃកំលាំងម៉ាញ៉េទិច (រូបទី២៣.៣)។ ដូចនេះ យើងបាន:

$$F_B = qvB = \frac{mv^2}{r}$$

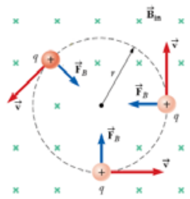
$$r = \frac{mv}{qB}$$

ល្បឿនមុំនៃបន្ទុកអគ្គិសនីអាចសរសេរ:

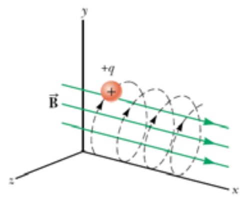
$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$$

ខួបនៃចលនារបស់បន្ទុកអគ្គិសនីអោយដោយរូបមន្ត:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$



រូបទី២៣.៣ បន្ទុកផ្លាស់ទីដោយល្បឿន$\vec{v}$ ចូលក្នុងដែន និងកែងនឹងដែនម៉ាញ៉េទិច

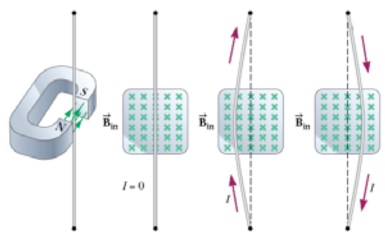


រូបទី២៣.៤ បន្ទុកផ្លាស់ទីដោយល្បឿន$\vec{v}$ ចូលក្នុងដែន តែមិនកែងនឹងដែនម៉ាញ៉េទិច

បើបន្ទុកអគ្គិសនីផ្លាស់ទីដោយល្បឿន$\vec{v}$ បង្កើតបានមុំណាមួយជាមួយនឹងទិសដៅដែនម៉ាញ៉េទិច នោះគន្លងនៃចលនាមានរាងជាស្ព្រៀរាល់ដូចរូបទី២៣.៤។

២៣.៣. កំលាំងម៉ាញ៉េទិចមានអំពើលើខ្សែចំលង

រូបទី២៣.៥ បង្ហាញពីខ្សែចំលងដាក់ក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិច។ តាមរូបយើងឃើញថា ខ្សែមានចរន្តអគ្គិសនីឆ្លងកាត់ នោះវារងនូវកំលាំងម៉ាញ៉េទិច ឯខ្សែដែលគ្មានចរន្តឆ្លងកាត់វាមិនរងនូវកំលាំងម៉ាញ៉េទិចទេ។



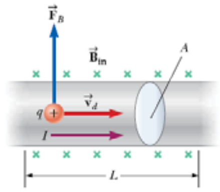
រូបទី២៣.៥ កំលាំងម៉ាញ៉េទិចមានអំពើលើខ្សែចំលងឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី

រូបទី២៣.៦ បង្ហាញពីកំណាត់ខ្សែប្រវែង L មួយឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត I ដាក់ក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិចឯកសណ្ឋាន$\vec{B}_{in}$ នោះកំលាំងម៉ាញ៉េទិចមានអំពើលើបន្ទុក q មួយផ្លាស់ទីដោយល្បឿន$\vec{v}_d$ គឺ $q\vec{v}_d \times \vec{B}$ ។ ដើម្បីរកកំលាំងសរុបមានអំពើលើខ្សែ យើងគុណកំលាំង $q\vec{v}_d \times \vec{B}$ និងចំនួនបន្ទុកក្នុងខ្សែ។ ដោយខ្សែមានមាឌ AL ហើយចំនួនបន្ទុកក្នុងខ្សែស្មើ នឹង nAL ដែល n ជាចំនួនបន្ទុកក្នុងមួយខ្នាតមាឌ។ ដូចនេះ កំលាំងសរុបមានអំពើលើខ្សែចំលងអាចសរសេរ:

$$\vec{F}_B = (q\vec{v}_d \times \vec{B})nAL$$

ដោយ ចរន្ត $I = nqv_dA$ ។ ដូចនេះ ខ្សែចំលងត្រង់ឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី I ក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិច$\vec{B}$ នោះវារងនូវកំលាំងម៉ាញ៉េទិច:

$$\vec{F}_B = I\vec{L} \times \vec{B}$$



រូបទី២៣.៦ ខ្សែចំលងនៅក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិចឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី

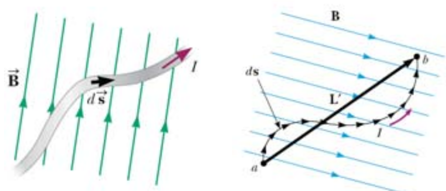
ចំពោះខ្សែចំលងមានរាងកោងឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត I ដាក់ក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិច (រូបទី២៣.៧) នោះកំលាំងម៉ាញ៉េទិចមានអំពើលើខ្សែអាចគណនាដូចខាងក្រោម:

អង្គន់ខ្សែខ្សែចំលងជាខ្លីៗdsឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី I នោះកំលាំងម៉ាញ៉េទិចមានអំពើលើខ្សែប្រវែងdsគឺ

$$d\vec{F}_B = Id\vec{s} \times \vec{B}$$

នោះកំលាំងម៉ាញ៉េទិចមានអំពើលើខ្សែប្រវែងab មួយ (រូបទី២៣.៨) គឺ

$$\vec{F}_B = I\int_a^b d\vec{s} \times \vec{B} = I\vec{L}' \times \vec{B}$$

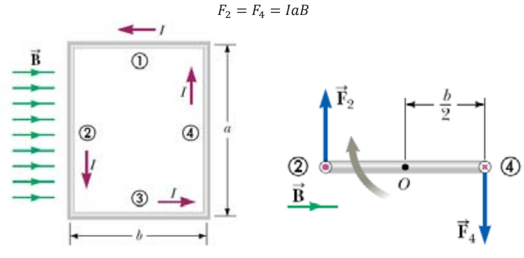


រូបទី២៣.៨ ខ្សែរាងកោងឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនីដាក់ក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិច

២៣.៤ ម៉ូម៉ង់ម៉ាញ៉េទិច

ខ្សែចតុកោណមួយមានទទឹង b បណ្តោយ a ឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី I ដាក់ក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិចដូចរូបទី២៣.៩។ កំណាត់ខ្សែទី (1) និង (3) រងនូវកំលាំងស្មើសូន្យ។ ហើយកំលាំងម៉ាញ៉េទិចមានអំពើលើកំណាត់ខ្សែទី (2) និង (4)គឺ:

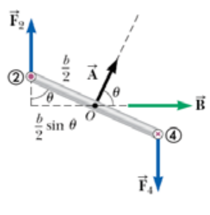
$$F_2 = F_4 = IaB$$



រូបទី២៣.៩ កំលាំងម៉ាញ៉េទិចមានអំពើលើខ្សែចតុកោណឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត

ម៉ូម៉ង់នៃកំលាំងម៉ាញ៉េទិចអាចគណនាដូចខាងក្រោម:

$$\tau_{max} = F_2\frac{b}{2} + F_4\frac{b}{2} = (IaB)\frac{b}{2} + (IaB)\frac{b}{2} = IabB = IAB$$



រូបទី២៣.១០ វិចទ័រផ្ទៃបង្កើតបានមុំ θជាមួយនឹង $\vec{B}$

ដូចនេះយើងបានម៉ូម៉ង់បង្វិលបង្កើតដោយកំលាំងម៉ាញ៉េទិចមានអំពើលើខ្សែគឺ:

$$\tau = F_2\frac{b}{2}sin\theta + F_4\frac{b}{2}sin\theta = (IaB)\frac{b}{2}sin\theta + (IaB)\frac{b}{2}sin\theta$$
$$= IabBsin\theta = IABsin\theta$$

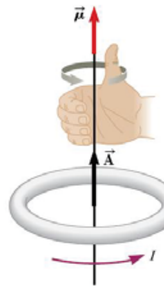
យើងអាចសរសេរម៉ូម៉ង់បង្វិលក្រោមទំរង់:

$$\vec{\tau} = I\vec{A} \times \vec{B}$$

ដោយម៉ូម៉ង់ឌីប៉ូលម៉ាញ៉េទិច $\vec{\mu} = I\vec{A}$ ដូចនេះម៉ូម៉ង់បង្វិល $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$ ដែលទិសដៅម៉ូម៉ង់ឌីប៉ូលម៉ាញ៉េទិចត្រូវបានរកតាមរូបទី២៣.១១។

ថាមពលប៉ូតង់ស្យែលនៃប្រព័ន្ធអោយដោយរូបមន្ត

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$



រូបទី២៣.១១ ទិសដៅម៉ូម៉ង់ឌីប៉ូលម៉ាញ៉េទិច

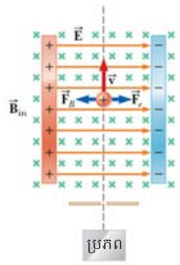
២៣.៥ ការអនុវត្តន៍ចលនារបស់បន្ទុកក្នុងដែនឯកសណ្ឋាន

បើបន្ទុក $q > 0$ ផ្លាស់ទីចូលដែនម៉ាញ៉េទិចផង និងកំលាំងអគ្គិសនីផងដូចរូបទី២៣.១២ នោះវារងនូវកំលាំងម៉ាញ៉េទិចផង និងកំលាំងអគ្គិសនីផង ហើយបន្ទុកផ្លាស់ទីត្រង់ទៅមុខលុះត្រាតែកំលាំងទាំងពីរមានម៉ូឌុលស្មើគ្នា។ ដូចនេះ យើងបាន:

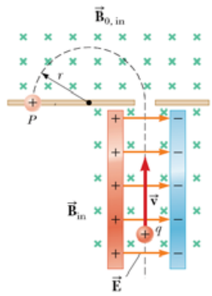
$$qE = qvB$$
$$v = \frac{E}{B}$$

ម៉ាសស្ប៉ិចត្រូម៉ែតជាឧបករណ៍បែងចែកប្រភេទអ៊ីយ៉ុងតាមផលធៀបម៉ាស និងបន្ទុករបស់វា។ រូបទី២៣.១៣ បង្ហាញពីម៉ាសស្ប៉ិចត្រូវម៉ែត ដែលបន្ទុកចេញពីឧបករណ៍ជ្រើសរើសល្បឿនរួចហើយ វាចូលទៅក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិច$\vec{B}_0$មួយទៀត។ ដូចនេះ យើងបាន:

$$\frac{m}{q} = \frac{rB_0}{v} = \frac{rB_0B}{E}$$



រូបទី២៣.១២ ឧបករណ៍ជ្រើសរើសល្បឿន

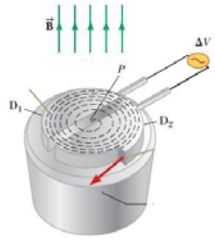


រូបទី២៣.១៣ ម៉ាសស្ប៉ិចត្រូវម៉ែត

២៣.៦ ស៊ីក្លូត្រុង

ស៊ីក្លូត្រុងជាឧបករណ៍អាចបង្កើនល្បឿនរបស់ផង់ ដែលថាមពលស៊ីនេទិចពេលផង់ចេញពីស៊ីក្លូត្រុងគឺ:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{q^2B^2R^2}{2m}$$



រូបទី២៣.១៤ ស៊ីក្លូត្រុង

២៣.៧ ផល Hall

ចរន្តអគ្គិសនីផ្លាស់ទីក្នុងបន្ទះលោហៈដាក់ក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិច នោះកំលាំងម៉ាញ៉េទិចមានអំពើលើបន្ទុកទាំងពីរប្រភេទមានទិសដៅដូចរូបទី២៣.១៥។

បន្ទុកផ្លាស់ទីត្រង់ទៅមុខលុះត្រាតែ កំលាំងមានអំពើលើបន្ទុក q អាចសរសេរ:

$$qv_dB = qE_H \Rightarrow v_dB = E_H$$

បើ d ជាទទឹងអង្គធាតុចំលង នោះយើងបាន:

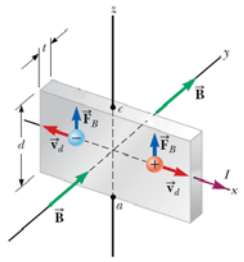
$$\Delta V_H = E_Hd \Rightarrow v_dBd$$

យើងមាន $v_d = \dfrac{I}{nqA} \Rightarrow \Delta V_H = \dfrac{IBd}{nqA}$

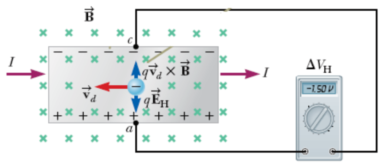
បើ $A = td$ ដែល t ជាកំរាស់អ.ធចំលង។ យើងបាន

$$\Delta V_H = \frac{IB}{nqt} = \frac{R_HIB}{t}$$

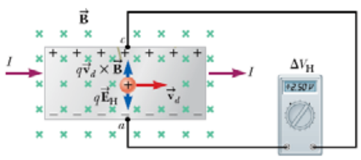
ដែល $R_H = 1/nq$ ហៅថាមេគុណ Hall។



រូបទី២៣.១៥ បន្ទះលោហៈឆ្លងកាត់ដោយចរន្តដាក់ក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិច



រូបទី២៣.១៦ សញ្ញាតង់ស្យុង Hall អាស្រ័យនឹងសញ្ញាបន្ទុកអគ្គិសនី



រូបទី២៣.១៧ សញ្ញាតង់ស្យុង Hall អាស្រ័យនឹងសញ្ញាបន្ទុកអគ្គិសនី

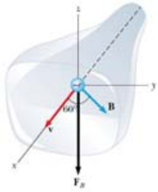
លំហាត់

១. អេឡិចត្រុងក្នុងកញ្ចក់ទូរទស្សន៍មួយផ្លាស់ទីដោយល្បឿន $8\times10^6 m/s$ តាមអ័ក្សx (រូបទី១)។ ជុំវិញករទូរទស្សន៍ជារបុំនៃខ្សែចំលងបង្កើតដែន $0,025T$ មានទិស 60° ធៀបអ័ក្ស x ក្នុងប្លង់ xy ។

(ក) គណនាកំលាំងម៉ាញ៉េទិចមានអំពើលើអេឡិចត្រុង។ ចំលើយ: $2,8\times10^{-14}N$

(ខ)ចូរសរសេរកន្សោមវិចទ័រនៃកំលាំងនេះ។

ចំលើយ: $(-2,8\times10^{-14}N)\vec{k}$



រូបទី១

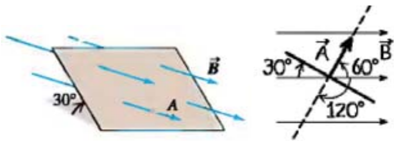
២. ក្នុងពិសោធន៍មួយធ្វើឡើងដើម្បីវាស់ទំហំដែនម៉ាញ៉េទិច។អេឡិចត្រុងមួយត្រូវបានធ្វើអោយមានចលនាស្ទុះពីនៅស្ងៀមឆ្លងកាត់ឆ្លងកាត់ផលសងប៉ូតង់ស្យែល 350V។ អេឡិចត្រុងផ្លាស់ទីក្រោមគន្លងជារង្វង់បើដែនម៉ាញ៉េទិចកែងនិងបាច់អេឡិចត្រុង។

(ក) ចូរគណនាទំហំដែនម៉ាញ៉េទិច។

ចំលើយ: $8,4\times10^{-4}T$

(ខ) គណនាល្បឿនមុំរបស់អេឡិចត្រុង។**ចំលើយ:** $1,5\times10^{8}$ **rad/s**

៣.ក្នុងរូបទី៣ ផ្ទៃ A=3cm² នៅក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិចឯកសណ្ឋាន។ បើភ្លុចម៉ាញ៉េទិចឆ្លងកាត់ផ្ទៃនេះស្មើនិង 0,9mWb ចូរគណនាទំហំដែនម៉ាញ៉េទិច។ ចំលើយ: 6T

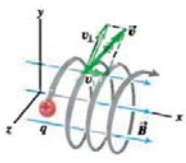


រូបទី៣

៤.ក្នុងរូបទី៤ ប្រូតុងមួយ និងដែនម៉ាញ៉េទិចឯកសណ្ឋាន0,5T។ ត្រង់ t=0 ប្រូតុងមានល្បឿន $v_x=1,5\times10^5 m/s, v_y=0$ និង $v_z=1,5\times10^5 m/s$។

(ក) ត្រង់t=0 ចូរគណនាកំលាំងមានអំពើលើប្រូតុង និងសន្ទុះរបស់វា។ចំលើយ: $\vec{F}_B=(1,6\times10^{-14}N)\hat{j}, a=(9,58\times10^{12}m/s^2)\hat{j}$

(ខ) ចូរគណនាកាំនៃគន្លង និងល្បឿនមុំរបស់ប្រូតុង។ ចំលើយ: $\omega=4,79\times10^{7}$ **rad/s**



រូបទី៤

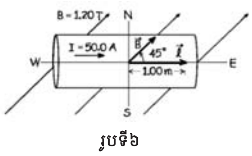
៥. ប្រព័ន្ធក្នុង microwave ovenមួយ បន្សាយរលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិចក្រោមប្រេកង់ $f=2450Hz$។ តើអាំងតង់ស៊ីតេដែនម៉ាញ៉េទិចមានទំហំប៉ុន្មានចាំបាច់ដើម្បីអោយអេឡិចត្រុងផ្លាស់ទីក្រោមគន្លងជារង្វង់ក្រោមប្រេកង់នេះ។ **ចំលើយ:** $0,0877T$

៦. ខ្សែទង់ដែងត្រង់មួយដាក់តាមអ័ក្សដេកក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិចឯកសណ្ឋាន $B=1,2T$ ឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត 50A ដូចរូបទី៦។ចូរគណនាកំលាំងម៉ាញ៉េទិចមានអំពើលើកំណាត់ខ្សែ1 m។ចំលើយ: $\vec{F}_B=(42,4N)\hat{k}$

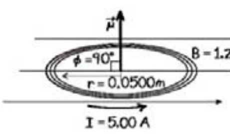
៧. ក្នុងរូបទី៧ ចូរគណនាកំលាំងមានអំពើលើខ្សែចំលងឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត។ ក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិចឯកសណ្ឋាន។ ចំលើយ: $\vec{F}_B=IB(L+2R)\hat{j}$

៨. បូប៊ីនមួយមានកាំ 0,05m មាន 30ជុំដាក់ក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិច 1,2T ដូចរូបទី៨។ បូប៊ីនឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត 5A។ ចូរគណនាម៉ូម៉ង់ម៉ាញ៉េទិច និងម៉ូម៉ង់បង្វិលលើបូប៊ីន។

ចំលើយ: $\mu=3,93\times10^{-2}A\cdot m, \tau=1,41N\cdot m$

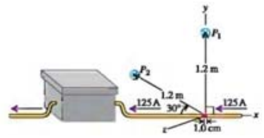


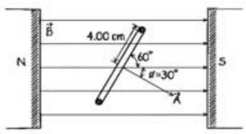
រូបទី៦



រូបទី៨

៩. ក្នុងរូបទី៩ ខ្សែចំលងឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត 125A។ ចូរគណនាដែនម៉ាញ៉េទិចបង្កើតដោយខ្សែប្រវែង 1cm ត្រង់ P_1 និងP_2។ ចំលើយ: $B_{P1}=8,7\times10^{-8}T, B_{P2}=4,3\times10^{-8}T$

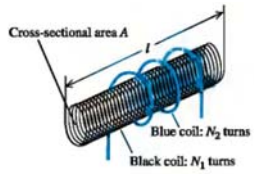




រូបទី៩ រូបទី៩

១០. បូប៊ីនមួយមានកាំ 4cm និងមាន 500ជុំត្រូវបានដាក់ក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិចដូចរូបទី១០។ អត្រាដែនថយចុះស្មើនឹង 0,2T/s។ គណនាកំលាំងអគ្គិសនីចលករក្នុងបូប៊ីន។ ចំលើយ: 0,435V

១១. សូលេណូអ៊ីតមួយប្រវែង *l=0,5m* និងផ្ទៃមុខកាត់ A=10cm² រុំ N_1 =1000ជុំ។ បូប៊ីនមួយទៀតមាន N_2 =10ជុំ រុំពីលើសូលេណូអ៊ីតដូចរូបទី១១។ គណនាអាំងឌុចតង់ទៅវិញទៅមក។ ចំលើយ: $M=25\times10^{-6}Wb/A=25\times10^{-6}H$



រូបទី១១

១២. តើអ្នកត្រូវបង្កើតបូប៊ីនមួយមានអាំងឌុចតង់ប៉ុន្មាន ដើម្បីផ្ទុកថាមពល 1kWh បើបូប៊ីនត្រូវបានឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត 200A។ ចំលើយ: 180H

មេរៀនទី ២៤ ប្រភពដែនម៉ាញ៉េទិច

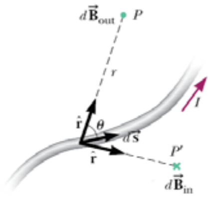
២៤.១ ច្បាប់ Biot-Asvart

ដែនម៉ាញ៉េទិច $d\vec{B}$ ត្រង់ចំនុច P មួយបង្កើតដោយខ្សែប្រវែង $d\vec{s}$ ឆ្លងកាត់ដោយចរន្តថេរ I គឺ:

$$d\vec{B}=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Id\vec{s}\times\hat{r}}{r^2}$$

ដូចនេះដែនម៉ាញ៉េទិចបង្កើតដោយខ្សែចំលងដូចរូបទី២៤.១ អោយដោយរូបមន្ត:

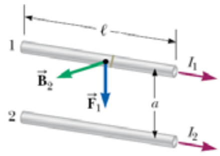
$$\vec{B}=\frac{\mu_0 I}{4\pi}\int\frac{d\vec{s}\times\hat{r}}{r^2}$$



រូបទី២៤.១ ដែនម៉ាញ៉េទិចបង្កើតដោយខ្សែចំលងឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី

កំលាំងម៉ាញ៉េទិចក្នុងមួយខ្នាតប្រវែងរវាងខ្សែចំលងពីរឃ្លាតគ្នាចំងាយ a ឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត I_1 និង I_2 ដូចរូបទី២៤.២ មានទំហំ:

$$\frac{F_B}{l}=\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}$$

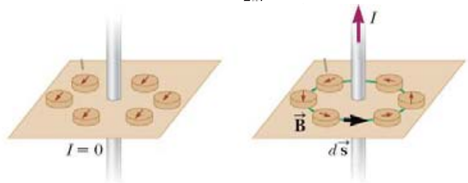


រូបទី២៤.២ ខ្សែពីរឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី

២៤.២ ច្បាប់អាំពែ

អាំងតេក្រាល $\vec{B}\cdot d\vec{s}$ ជុំវិញខ្សែបិទមួយស្មើនឹង $\mu_0 I$ ដែល I ជាចរន្តក្នុងខ្សែបិទ។ គេកំណត់សរសេរ:

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{s} = B\oint ds = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}\ 2\pi r = \mu_0 I$$



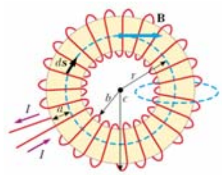
រូបទី២៤.៣ ម្ជុលមេដែកប្រែប្រួលទិសដៅពេលមានចរន្តឆ្លងកាត់ខ្សែ

ដោយប្រើច្បាប់អាំពែ ដែនម៉ាញ៉េទិចបង្កើតដោយខ្សែត្រង់ឆ្លងកាត់ដោយចរន្ត I គឺ

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

ដោយប្រើច្បាប់អាំពែដែនម៉ាញ៉េទិចក្នុង Toroid គឺ

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$



រូបទី២៤.៤ បូប៊ីនសំប៉ែត (Toroid)

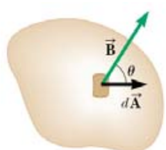
ដែនម៉ាញ៉េទិចក្នុងសូលេណូអ៊ីតគឺ

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I = \mu_0 n I$$

២៣.៣ ដែនម៉ាញ៉េទិច និងភ្លុច

រូបទី២៤.៥បង្ហាញពីការគណនាភ្លុចម៉ាញ៉េទិចឆ្លងកាត់ផ្ទៃA។ ភ្លុចម៉ាញ៉េទិចឆ្លងកាត់ផ្ទៃមួយអោយដោយ:

$$\phi_B \equiv \int \vec{B}\cdot d\vec{A}$$



រូបទី២៤.៥ ដែនម៉ាញ៉េទិចឆ្លងកាត់ផ្ទៃមួយ

ភ្លុចម៉ាញ៉េទិចឆ្លងកាត់ផ្ទៃបិទ

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{A} = 0$$

២៤.៤ ម៉ូម៉ង់ម៉ាញ៉េទិចនៃអាតូម

ចរន្តបង្កើតឡើងដោយចលនាអេឡិចត្រុងវិលផ្លាសទីដោយល្បឿន $v = 2\pi r / T$ ជុំវិញ្ញេយ៉ូគឺស្មើនឹង e/T ។

ដោយ $T = 2\pi/\omega$ ហើយ $\omega = v/r$ នោះយើបាន:

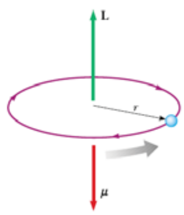
$$I = e/T = e\omega/2\pi = ev/2\pi r$$

ដោយ $\mu = IA$ ហើយ $A = \pi r^2$ ដូចនេះយើងបាន:

$$\mu = IA = \left(\frac{ev}{2\pi r}\right)\pi r^2 = \frac{1}{2}evr$$

ដោយ $L = m_e v r$

ដូចនេះយើងបាន $\mu = \left(\frac{e}{2m_e}\right)L$



រូបទី២៤.៦ ទិសដៅម៉ូម៉ង់ម៉ាញ៉េទិច

ដែនម៉ាញ៉េទិចបង្កើតដោយខ្សែចំលងឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី

ខ្សែចំលង	ទីតាំងនៃដែន	ដែនម៉ាញ៉េទិច
ខ្សែចំលងវែង	ចំងាយ r ពីខ្សែចំលង	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$
ខ្សែរង់កាំ a	លើអ័ក្សនៃរង់	$B = \frac{\mu_0 I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}}$
	ត្រង់ផ្ចិតនៃរង់	$B = \frac{\mu_0 I}{2a}$
ស៊ីឡាំងវែងកាំ R	$r < R$	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\frac{r}{R^2}$
	$r > R$	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$
សូលេណូអ៊ីត	ក្បែរអ័ក្ស	$B = \mu_0 n I$
	ក្រៅសូលេណូអ៊ីត	$B \approx 0$

មេរៀនទី ២៥ ច្បាប់ផារាដេ

២៥.១ ច្បាប់ផារាដេ

រូបទី២៥.១ បង្ហាញពីពិសោធន៍របស់ផារាដេ។ តាមពិសោធបញ្ជាក់ថា ពេលមានបំរែបំរួលភ្លុចឆ្លងកាត់របុំខ្សែចំលង នោះក្នុងខ្សែចំលងកកើតចរន្តអគ្គិសនី។

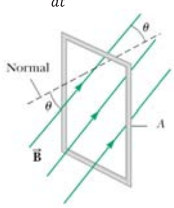
រូបទី២៥.១ មានចរន្តក្នុងបូប៊ីនពេលមេដែកផ្លាស់ទី

ច្បាប់ផារាដេប៉ូលថា កំលាំងអគ្គិសនីចលករកើតឡើងក្នុងសៀគ្វីមួយសមាមាត្រទៅនឹងបំរែបំរួលភ្លុចធៀបនិងពេលឆ្លងកាត់ផ្ទៃមុខកាត់បូប៊ីន(រូបទី២៥.២)។ និយមន័យ:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

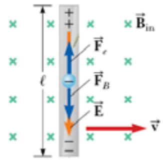
ដោយយើងមាន $\phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BAcos\theta$ដូចនេះយើងបាន:

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}(BAcos\theta)$$



រូបទី២៥.២ របុំខ្សែចំលងដាក់ក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិច

ពេលរបាអង្គធាតុចំលងប្រវែង l មួយផ្លាស់ទីដោយល្បឿន $\vec{v}$ ក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិចឯកសណ្ឋាន $\vec{B}$ ដូចរូបទី២៥.៣ ដែល $\vec{B}$ កែងនិង $\vec{v}$ នោះផលសងប៉ូតង់ស្យែលចុងសងខាងក្នុងរបា គឺ $\Delta V = Blv$ ។



រូបទី២៥.៣ របាលោហៈផ្លាស់ទីក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិច

ក្នុងរូបទី២៥.៤ របាផ្លាស់ទីលើរបាពីរដោយកំលាំ $\vec{F}_{app}$ នោះយើងបាន:
ភ្លុចឆ្លងកាត់ផ្ទៃ $\Phi_B = Blx$ ហើយ $dx/dt = v$ ។ដូចនេះយើងបាន

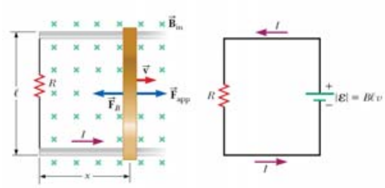
$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -Blv$$

និងចរន្តឆ្លងកាត់សៀគ្វីបិទ:

$$I = \frac{|\varepsilon|}{R} = \frac{Blv}{R}$$

អានុភាពផ្តល់ដោយកំលាំងខាងក្រៅ:

$$P = F_{app}v = (IlB)v = \frac{B^2l^2v^2}{R} = \frac{\varepsilon^2}{R}$$



រូបទី២៥.៤ របាផ្លាស់ទីលើរបាពីរដោយកំលាំ $\vec{F}_{app}$ និងសៀគ្វីសមមូល

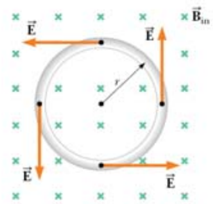
២៥.២ ទំរង់ច្បាប់ទូទៅរបស់ផារាដេ

ក្នុងរូបទី២៥.៥ បើសិនជាដែនម៉ាញ៉េទិចប្រែប្រួល នោះតាមច្បាប់ផារាដេ ក្នុងកងកើតមានកំលាំងអគ្គិសនីចលករ:

$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

កម្មន្តធ្វើដោយដែនអគ្គិសនីពេលបន្ទុក ផ្លាស់ទីបាន មួយជុំរង្វង់គឺ:

$$q\varepsilon = qE(2\pi r) \Rightarrow E = \frac{\varepsilon}{2\pi r}$$



រូបទី២៥.៥ កងមួយកាំ r ក្នុងដែនម៉ាញ៉េទិច

២៥.៣ សមីការម៉ាក់ស្វែល

ពេលដែលយើងប្រើកំលាំងរបស់ Lorentz $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$ នោះសមីការម៉ាក់ស្វែលអាចពិណនាគ្រប់បាតុភូតអេឡិចត្រូម៉េញ៉េទិចទាំងអស់:

$$\oint_s \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\varepsilon_0}$$

$$\oint_s \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_E}{dt}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

២៥.៤ កំលាំងអគ្គិសនីច្រាស់ចលករក្នុងបូប៊ីន

ពេលដែលចរន្តឆ្លងកាត់ប្រែប្រួលបូប៊ីន នោះកំលាំងអគ្គិសនីច្រាស់ចលករនឹងកើតមានក្នុងបូប៊ីន។ កំលាំងអគ្គិសនីច្រាស់ចលករគឺស្មនឹងបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញ៉េទិច:

$$\varepsilon_L = -L\frac{di}{dt}$$

យើងបានអាំងឌុចតង់នៃបូប៊ីនគឺ: $L = \frac{N\Phi_B}{I}$

និងអាំងឌុចតង់នៃសូលេណូអ៊ីតគឺ: $L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l}$

មេរៀនទី ២៦ សៀគ្វីចរន្តឆ្លាស់ស៊ីនុយសូអ៊ីត

២៦.១ សេចក្តីផ្តើម

ក្នុងជំពូកនេះយើងនឹងសិក្សាទៅលើទំនាក់ទំនងស៊ីញ៉ាល់ច្រកចេញ និងស៊ីញ៉ាល់ច្រកចូលស៊ីនុយសូអ៊ីតនៃសៀគ្វីលីនេអ៊ែមួយចំនួន។ យើងនឹងសិក្សាពីអនុគមន៍ខួបមួយដែលជាបណ្តុំនៃអនុគមន៍ស៊ីនុយសូអ៊ីតជាច្រើន (ស៊េរី Fourier)នៅក្នុងវិភាគអគ្គិសនីភាគទី២នេះ។

២៦.២ ទំនាក់ទំនងចរន្ត និងតង់ស្យុង

ទំនាក់ទំនងចរន្ត និងតង់ស្យុងនៃធាតុអគ្គិសនីរបស់ R, L និងC យើងបានសិក្សារួចមកហើយក្នុងមេរៀនទី២ ហើយបានសង្ខេបក្នុងតារាង២៦.១។ ក្នុងជំពូកនេះចរន្ត និងតង់ស្យុងមានទំរង់ជាអនុគមន៍ស៊ីនុស រឺកូស៊ីនុស។

២៦.២.១ ចំពោះរេស៊ីស្តរ (R)

យើងមានសៀគ្វីមួយរួមមានប្រភពតង់ស្យុងចរន្តឆ្លាស់មួយ និងរេស៊ីស្តរមួយដូចរូបទី២៦.១ យើងបានទំនាក់ទំនងចរន្តក្នុងសៀគ្វី និងតង់ស្យុងប៉ូលសងខាងរបស់រេស៊ីស្តរអាចសរសេរ:

$$\Delta v = \Delta v_R = \Delta V_{\max} \sin \omega t$$

$$i_R = \frac{\Delta v_R}{R} = \frac{\Delta v_R}{R} \sin \omega t = I_{\max} \sin \omega t$$

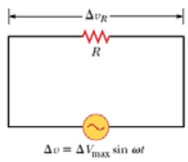
$$I_{\max} = \frac{\Delta V_{\max}}{R}$$

ដូច្នេះយើងបាន: $\Delta v_R = I_{\max} R \sin \omega t$

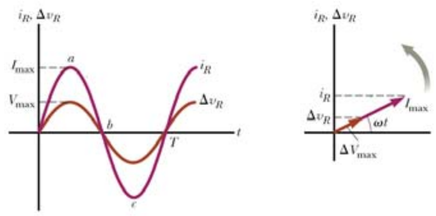
យើងឃើញថាចរន្ត និងតង់ស្យុងឆ្លងកាត់រេស៊ីស្តរមានផាស់ស្របគ្នាដូចបានបង្ហាញក្នុងរូបទី២៦.២។

២៦.២.២ ចំពោះបូប៊ីន (L)

យើងមានសៀគ្វីមួយរួមមានប្រភពតង់ស្យុងចរន្តឆ្លាស់មួយ និងបូប៊ីនមួយដូចរូបទី២៦.៣ យើងបានទំនាក់ទំនងចរន្តក្នុងសៀគ្វី និងតង់ស្យុងប៉ូលសងខាងរបស់បូប៊ីនអាចសរសេរ:



រូបទី២៦.១ សៀគ្វីរេស៊ីស្តង់ក្នុងចរន្តឆ្លាស់



រូបទី២៦.២សំណាង់ក្រាភិច និងសំណាង់ប្រេណែលរវាងចរន្ត និងតង់ស្យុង

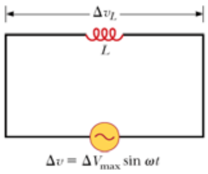
អនុវត្តន៍ KVL ចំពោះសៀគ្វីបិទយើងបាន:

$$\Delta v_L = L\frac{di}{dt} = \Delta V_{\max} \sin \omega t$$

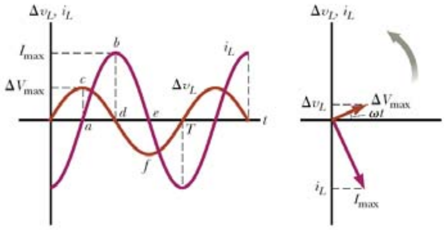
$$i_L = \frac{\Delta V_{\max}}{L} \int \sin \omega t \, dt = -\frac{\Delta V_{\max}}{L\omega} \cos \omega t$$

ដោយ $\cos \omega t = -\sin(\omega t - \pi / 2)$ ។ នោះយើងបាន

$$i_L = I_{\max} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$



រូបទី២៦.៣ បូប៊ីនក្នុងចរន្តឆ្លាស់



រូបទី២៦.៤ សំណាង់ក្រាភិច និងសំណាង់ប្រេណែលរវាងចរន្ត និងតង់ស្យុង

យើងឃើញថាចំពោះប្រភពតង់ស្យុងស៊ីនុយសូអ៊ីត ចរន្តតែងតែយឺតផាសជាងតង់ស្យុងប៉ូលសងខាងរបស់បូប៊ីន 90° ជានិច្ច ដូចបានបង្ហាញក្នុងរូបទី២៦.៤។

យើងតាង $I_{max} = \dfrac{\Delta V_{max}}{L\omega}$

ហើយរេអាក់តង់ វី អាំប៉េដង់របស់បូប៊ីន

$$X_L \equiv L\omega \quad (\Omega) \Rightarrow I_{max} = \frac{\Delta V_{max}}{X_L}$$

ដូច្នេះតង់ស្យុងរបស់បូប៊ីនគឺ

$$\Delta v_L = -L\frac{di}{dt} = -\Delta V_{max} \sin \omega t = -I_{max} X_L \sin \omega t$$

២៦.២.៣ ចំពោះកុងដង់សាទ័រ (C)

យើងមានសៀគ្វីមួយរួមមានប្រភពតង់ស្យុងចរន្តឆ្លាស់មួយ និងកុងដង់សាទ័រមួយដូចរូបទី២៦.៥ យើងបានទំនាក់ទំនងចរន្តក្នុងសៀគ្វី និងតង់ស្យុងប៉ូលសងខាងរបស់កុងដង់សាទ័រអាចសរសេរ:

អនុវត្តន៍ KVL ចំពោះសៀគ្វីបិទយើងបាន:

$$\Delta v = \Delta v_C = \Delta V_{max} \sin \omega t$$

តាមនិយមន័យរបស់កុងដង់សាទ័រ $C = q / \Delta v_C$ នោះយើងបាន:

$$q = C\Delta V_{max} \sin \omega t$$

ដោយ $i = dq/dt$ យើងបាន: $i_c = \dfrac{dq}{dt} = C\omega \Delta V_{max} \cos \omega t$

ដោយ $\cos \omega t = \sin(\omega t + \pi/2)$ នោះយើងបាន:

$$i_C = C\omega \Delta V_{max} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

យើងឃើញថាចំពោះប្រភពតង់ស្យុងស៊ីនុយសូអ៊ីត ចរន្តតែងតែលឿនផាសជាងតង់ស្យុងប៉ូលសងខាងរបស់កុងដង់សាទ័ 90° ជានិច្ច ដូចបានបង្ហាញក្នុងរូបទី២៦.៦។

យើងតាង

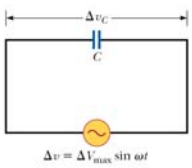
$$I_{max} = \omega C \Delta V_{max} = \frac{\Delta V_{max}}{1/\omega C}$$

ហើយរេអាក់តង់វីអាំប៉េដង់របស់កុងដង់សាទ័រ

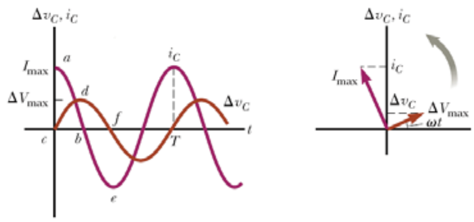
$$X_C \equiv 1/C\omega \Rightarrow I_{max} = \frac{\Delta V_{max}}{X_C}$$

ដូច្នេះយើងបានតង់ស្យុងប៉ូលសងខាងរបស់កុងដង់សាទ័រអាចសរសេរ:

$$\Delta v_C = \Delta V_{max} \sin \omega t = I_{max} X_C \sin \omega t$$



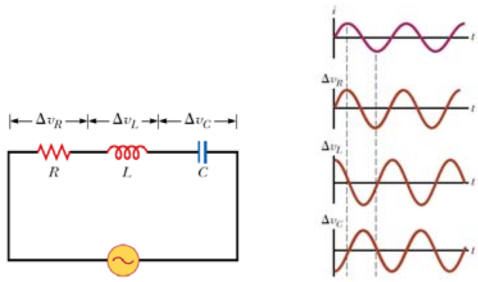
រូបទី២៦.៥ កុងដង់សាទ័រក្នុងចរន្តឆ្លាស់



រូបទី២៦.៦ សំណង់ក្រាភិច និងសំណង់ប្រេណែលរវាងចរន្ត និងតង់ស្យុង

២៦.២.៤ ចំពោះ RLC តជាស៊េរី

រូបទី២៦.៨ ជាសៀគ្វីមួយរួមមានរេស៊ីស្តរមួយ បូប៊ីនមួយ និងកុងដង់សាទ័រមួយ ត្រូវបានតជាស៊េរីទៅនឹងប្រភពតង់ស្យុងស៊ីនុយសូអ៊ីតមួយ ដែលមានតង់ស្យុង $\Delta v = \Delta V_{max}\sin\omega t$ និងចរន្តឆ្លងកាត់សៀគ្វី $i = I_{max}\sin(\omega t-\phi)$ ដែល ϕ ជាមុំគំលាតផាស់រវាងចរន្ត និងតង់ស្យុង។ រូបទី២៦.៨ ជាក្រាបតង់ស្យុងនៃធាតុអគ្គិសនីនិមួយៗជាអនុគមន៍នៃពេល។



រូបទ២៦.៨ សៀគ្វី RCL តជាស៊េរី និងក្រាបតង់ស្យុងរបស់វា

តាមទំនាក់ទំនងផាស់ខាងលើ យើងបានតង់ស្យុងប៉ូលសងខាងរបស់គ្រឿងអគ្គិសនីទាំងបីដូចខាងក្រោម:

$$\Delta v_R = I_{max}R\sin\omega t = \Delta V_R\sin\omega t$$

$$\Delta v_L = I_{max}X_L\sin(\omega t+\frac{\pi}{2}) = \Delta V_L\cos\omega t$$

$$\Delta v_C = I_{max}X_C\sin(\omega t-\frac{\pi}{2}) = -\Delta V_C\cos\omega t$$

ដែល ΔV_R ΔV_L និង ΔV_C ជាតង់ស្យុអតិបរមាប៉ូលសងខាងរបស់ធាតុទាំងបី ដែល

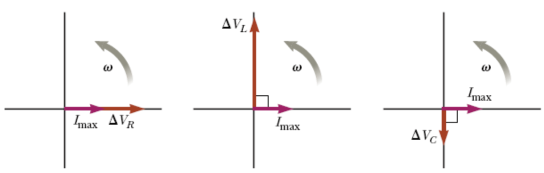
$$\Delta V_R = I_{max}R,\ \Delta V_L = I_{max}X_L,\ \Delta V_C = I_{max}X_C$$

តាម KVL ចំពោះសៀគ្វីបិទ យើងបាន:

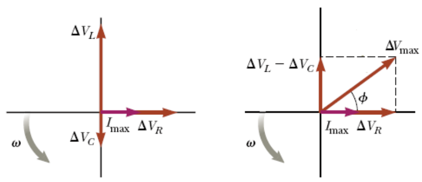
$$\Delta v = \Delta v_R + \Delta v_L + \Delta v_C$$

តាមសំណង់វិចទ័រដូចរូបទី២៦.៩

យើងបានវិចទ័រផ្តួបនៃតង់ស្យុងអតិបរមាដូចរូបទី២៦.១០



រូបទី២៦.៩ សំណង់ប្រេណែល



រូបទី២៦.១០ ផលបូកវ៉ិចទ័រផាស

តាមរូបទី២៦.១០ យើងបាន:

$$\Delta V_{max} = \sqrt{\Delta V_R^2 + (\Delta V_L - \Delta V_C)^2} = I_{max}\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

យើងអាចគណនាអាំប៉េដង់សមមូលនៃសៀគ្វី RLC ជាស៊េរីដូចខាងក្រោម:

$$Z \equiv \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

យើងអាចសរសេរក្រោមទំរង់: $\Delta V_{max} = I_{max} Z$

២៦.៣ សៀគ្វី RL

- R និង Lតជាស៊េរីនិងប្រភពតង់ស្យុងមួយ នោះគេបាន: $I = \frac{\varepsilon}{R}(1 - e^{-t/\tau})$
- R និង L តជាស៊េរីគ្មានប្រភព នោះគេបាន: $I = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/\tau}$
- ថាមពលផ្ទុកក្នុងបូប៊ីន: $U = \frac{1}{2} L i^2$
- ដង់ស៊ីតេថាមពល: $u_B = \frac{B^2}{2\mu_0}$

២៦.៤ អាំងឌុចតង់ទៅវិញទៅមកនៃប្រព័ន្ធបូប៊ីនពីរ

- កាលណាមានចរន្តប្រែប្រួលក្នុងបូប៊ីននៅក្បែរនោះយើងបាន:

$$M_{12} = \frac{N_2 \Phi_{12}}{I_1} = M_{21} = \frac{N_1 \Phi_{21}}{I_2} = M, \quad \varepsilon_2 = -M\frac{dI_1}{dt} \text{ និង } \varepsilon_1 = -M\frac{dI_2}{dt}$$

២៦.៥ លំយោល LC សុទ្ធ និងលំយោល RLC

- បន្ទុកក្នុងកុងដង់ និងចរន្តក្នុងសៀគ្វីនៅខណ:ពេលt

$Q = Q_{max}\cos(\omega t + \phi)$, $\quad I = \frac{dQ}{dt} = -\omega Q_{max}\sin(\omega t + \phi)$ ដែល $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

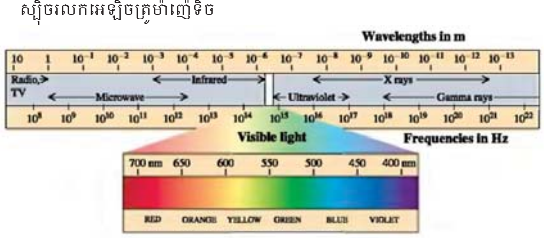
ថាមពលសរុបនៃសៀគ្វី LCគឺ $U = U_C + U_L = \frac{Q^2_{max}}{2C}\cos^2 \omega t + \frac{LI^2_{max}}{2}\sin^2 \omega t$

- លំយោល RLC: $Q = Q_{max} e^{-Rt/2L}\cos \omega_d t$, $\quad \omega_d = \left[\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2\right]^{1/2}$

មេរៀនទី ២៧ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិច

២៧.១ សមីការម៉ាក់ស្វែល និងរលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិច

ស្ប៉ិចរលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិច

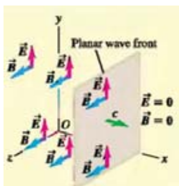


រូបទី២៧.១ បង្ហាញពីស្ប៉ិចរកលអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិច

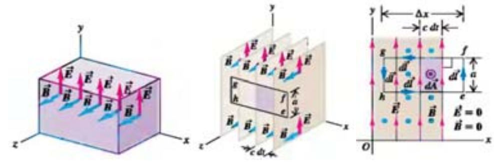
- សមីការម៉ាក់ស្វែលបញ្ជាក់ថារកលអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិចដែលផ្លាស់ទីក្នុងសុញ្ញកាសដោយល្បឿនពន្លឺ c។ ស្ប៉ិចម៉ាញ៉េទិចមានប្រេកង់ចន្លោះពី 1 ទៅ10^{24}Hz។

- យើងអនុវត្តន៍សមីការម៉ាក់ស្វែលចំពោះដែននេះ
  - **សមីការទី១ និងទី២**របស់ម៉ាកស្វែលគឺ:

$E = B = 0 \quad (q_{in} = 0)$



រូបទី២៧.២ ប្លង់រលក



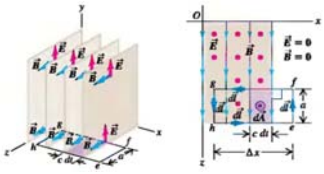
រូបទី២៧.៣ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិចដាល

សមីការទី៣របស់ម៉ាក់ស្វែលគឺ: $\oint \vec{E}\cdot d\vec{l} = -Ea$

ក្នុងរយៈពេល dt មុខរលកផ្លាស់ទីបានចំងាយ $c\,dt$ ហើយពាសបានក្រឡាផ្ទៃ $a\,c\,dt$ និងចតុកោន $efgh$។ដូចនេះភ្លុចក្នុងផ្ទៃ$efgh$ កើនឡើង $d\Phi_B = B\,ac\,dt$ នោះបំរែបំរួលភ្លុចឆ្លងកាត់ផ្ទៃ$efgh$ គឺ $\frac{d\Phi_B}{dt} = Bac$

យើងបាន $-Ea = caB \Rightarrow E = cB$

សមីការទី៤របស់ម៉ាក់ស្វែលគឺ $\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \varepsilon_0\mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$ (ព្រោះចរន្ត $I=0$)



រូបទី២៧.៤ អនុវត្តច្បាប់អំពែ

យើងមាន $\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = Ba$

ក្នុងរយៈពេល dt ភ្លុចអគ្គិសនីឆ្លងកាត់ផ្ទចតុកោនកើនឡើង $\Phi_E = E\,ac\,dt$

នោះយើងបាន $\frac{d\Phi_E}{dt} = Eac$ ដូចនេះយើងបាន

$$Ba = \varepsilon_0\mu_0 caE \Rightarrow B = \varepsilon_0\mu_0 cE, \quad \Rightarrow c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = 3\times10^8\,m/s$$

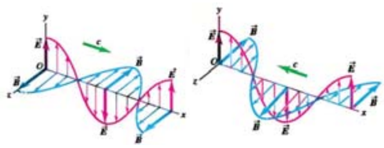
លក្ខណៈរលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិច

- ជារលកទទឹង ដែលមាន $\vec{E}$ និង $\vec{B}$ កែងនិងទិសដំណាល។
- ផលធៀបរវាងដែន $\vec{E}$ និង $\vec{B}$ ជាតំលៃមួយកំណត់: $E = cB$
- រលកដាលក្នុងសុញ្ញកាសមានល្បឿនថេរ
- មិនដូចរលកមេកានិចដែលត្រូវការមជ្ឈដ្ឋានដូចជាទឹក រឺខ្យល់ដើម្បីបញ្ជូនរលក។ ដំណាលរលកម៉ាញ៉េទិចមិនត្រូវការមជ្ឈដ្ឋានទេ (ក្នុងសុញ្ញកាសក៏អាចដាលបានដែរ)

២៧.២ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិចស៊ីនុយសូអ៊ីត

គេអាចពិពណ៌នារលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិចដោយអនុគមន៍រលក:

$$y(x,t) = A\cos(kx - \omega t)$$



រូបទី២៧.៥ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិចស៊ីនុយសូអ៊ីត

❖ ប្លង់រលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិចដាលក្នុងសុញ្ញកាសតាមអ័ក្ស+xគឺ:

$$\vec{E}(x,t) = \hat{j}E_{max}\cos(kx - \omega t)$$
$$\vec{B}(x,t) = \hat{k}B_{max}\cos(kx - \omega t)$$
$$E_{max} = cB_{max}$$

❖ បើរលកម៉ាញ៉េទិចផ្លាស់ទីក្នុងទិសដៅ -x គឺ:

$$E_y(x,t) = E_{max}\cos(kx + \omega t)$$
$$B_z(x,t) = B_{max}\cos(kx + \omega t)$$

២៧.៣ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិចក្នុងរូបធាតុ

ពេលដែលរលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិចដាលឆ្លងកាត់សារធាតុឌីអេឡិចទ្រិច ល្បឿនរបស់វា v យឺតជាងល្បឿនពន្លឺដាលក្នុងសុញ្ញកាស c។ គេបាន:

$$E = vB, \quad B = \varepsilon\mu vE, \quad \mu = K_m\mu_0$$

ដែល K_m ជាពែមីទីវីទេធៀបនៃថេរឌីអេឡិចទ្រិច

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{KK_m}}\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{KK_m}}$$

២៧.៤ ថាមពល និងបរិមាណចលនាក្នុងរលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិច

ដង់ស៊ីតេថាមពលក្នុងលំហាទទេមួយដែលមានដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញ៉េទិចគឺ:

$$u = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

យើងមានទំនាក់ទំនងរវាងដែនទាំងពីរ:

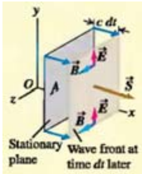
$$B = \frac{E}{c} = \sqrt{\varepsilon_0\mu_0}\ E$$

នោះយើងបាន:

$$u = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0}\ \sqrt{\varepsilon_0\mu_0}\,E^{\ 2} = \varepsilon_0 E^2$$

ក្នុងមាឌ $dV = Acdt$ ដូចរូបទី២៧.៦ នោះបំរែបំរួលថាមពលក្នុងតំបន់(មាឌ) គឺ:

$$dU = udV = \varepsilon_0 E^2 \quad Ac\,dt$$



រូបទី២៧.៦ ប្លង់រលកបន្ទាប់ពីរលកដាលក្នុងរយៈពេល dt

លំហូរថាមពលក្នុងមួយខ្នាតពេលក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃអោយដោយវិចទ័រ Poynting $\vec{S}$ គឺ:

$$S = \frac{1}{A}\frac{dU}{dt} = \varepsilon_0 cE^2 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}E^2 = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}E^2 = \frac{EB}{\mu_0}$$

គេអាចកំណត់សរសេរ:

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E}\times\vec{B}$$

លំហូថាមពលសរុបក្នុងមួយខ្នាតពេល (អានុភាព P) ចេញពីផ្ទៃបិទមួយគឺ:

$$P = \oint \vec{S}\cdot d\vec{A},$$

$$\vec{S}(x,t) = \frac{1}{\mu_0}\left[\hat{j}E_{\max}\cos\ kx - \omega t\ \right]\times\left[\hat{k}B_{\max}\cos\ kx - \omega t\ \right]$$

$$\Rightarrow S_x(x,t) = \frac{E_{\max}B_{\max}}{\mu_0}\cos^2\ kx - \omega t\ = \frac{E_{\max}B_{\max}}{\mu_0}\ 1 + \cos 2(kx - \omega t)$$

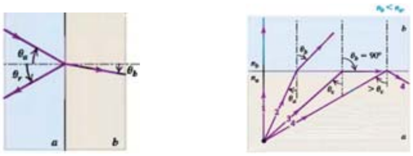
$$I = S_{av} = \frac{E_{\max}B_{\max}}{2\mu_0} = \frac{E^2{}_{\max}}{2\mu_0 c} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\ E^2{}_{\max} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 cE^2{}_{\max}$$

មេរៀនទី ២៨ ធម្មជាតិនៃពន្លឺ និងអុបទិចធរណីមាត្រ

២៨.១. ធម្មជាតិនៃពន្លឺ

- ❖ ពន្លឺមានលក្ខណៈជារលកផង($v = l\ f$) និងជាផង់ផង($E = hf$)
- ❖ ដែលល្បឿនពន្លឺដាលក្នុងមជ្ឈដ្ឋានមួយមានសន្ទស្ស៍ n គឺ: $v = \frac{c}{n}$
- ❖ ប្រេកង់ និងជំហានរលកនៃពន្លឺ: $f = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n}$
- ❖ មុំចាំងផ្លាត និងមុំចាំងបែរ: $q_a = q_r$ និង $n_a\sin\theta_a = n_b\sin\theta_b$
- ❖ មុំកំរិតគឺជាមុំចាំងប៉ះពេលដែលមុំចាំងបែរស្មើនឹង 90° :

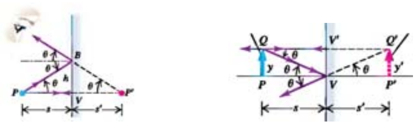
$$n_a\sin\theta_c = n_b\sin\theta_b = n_b\sin 90^o = n_b \Rightarrow \sin\theta_c = \frac{n_b}{n_a}$$



រូបទី២៨.១ ចាំណាំងផ្លាត និងចំណាំងបែរនៃពន្លឺ

- ❖ បាតុភូតចាំងផ្លាតទាំស្រុងកើតមានឡើងពេលដែលមុំចាំងផ្លាតធំជាងមុំកំរិត។

២៨.២ ការកកើតរូបភាពដោយកញ្ចក់ប្លង់

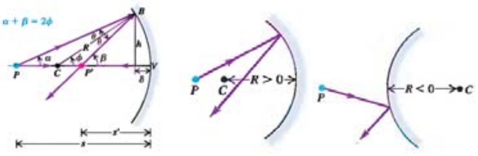


(s សញ្ញាវិជ្ជមាន និង s′សញ្ញាអវិជ្ជមាន)

រូបទី២៨.២ ការកកើតរូបភាព

❖ មេគុណពង្រីក: $m=\frac{y'}{y}$ ក្នុងករណីនេះ y' និង y មានសញ្ញាដូចគ្នា និងកំពស់ស្មើគ្នា ដូចនេះ ចំពោះកញ្ចក់ប្លង់ m = +1ជានិច្ច។ ក្នុងករណីរូបភាពបញ្ច្រាស y' និង y មានសញ្ញាផ្ទុយគ្នា ដូចនេះមេគុណពង្រីក $m<0$។

២៨.៣ កញ្ចក់ស្វែផត



(ក) (ខ) (គ)

(ក) កញ្ចក់ស្វែផតបង្កើតបានរូបភាពពិត P' ដែល s និង s′មានតំលៃវិជ្ជមាន

(ខ) ផ្ចិតរបស់ស្វែនៅខាងកាំចាំងផ្លាត យក R > 0 (គ)

ផ្ចិតរបស់ស្វែមិននៅខាងកាំចាំងផ្លាត យក R < 0

រូបទី២៧.៣ កញ្ចក់ស្វែផត

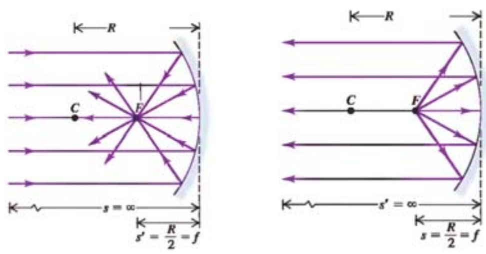
❖ តាមរូប(ក) យើងបាន: $\phi=\alpha+\theta,\ \beta=\phi+\theta\Rightarrow\alpha+\beta=2\phi$

❖ ចំងាយរូបភាព: យើងមាន: $\tan\alpha=\frac{h}{s-\delta},\ \tan\beta=\frac{h}{s'-\delta},\ \tan\phi=\frac{h}{R-\delta}$

❖ បើa ជាមុំតូច នោះ b និងf ក៏តូចដែរ ហើយ $d \ll s', s, R$ដូចនោះយើងបាន:

$$\alpha=\frac{h}{s},\ \beta=\frac{h}{s'},\ \phi=\frac{h}{R}\Rightarrow\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{2}{R}$$ (ទំនាក់ទំនងចំងាយវត្ថុ និងរូបភាព)

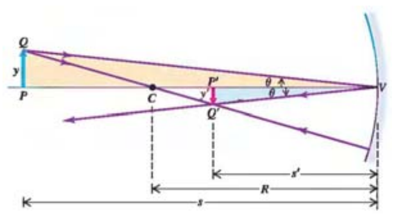
❖ ពេលវត្ថុនៅឆ្ងាយ ¥ កាំពន្លឺស្របតាមអ័ក្ស នោះយើងបាន: $\frac{1}{\infty}+\frac{1}{s'}=\frac{2}{R}\Rightarrow s'=\frac{R}{2}$



(ក) (ខ)

រូបទី២៨.៤ កាំពន្លឺពិសេសៗក្នុងស្វែផត

❖ បើពន្លឺដាលពី¥ នោះកាំចាំងផ្លាតកាត់តាមកំនុំ F [រូប(ក)] ហើយបើវត្ថុនៅត្រង់ចំនុចកំនុំ $s=f=\frac{R}{2}$[រូប(ខ)] នោះយើងបាន: $\frac{2}{R}+\frac{1}{s'}=\frac{2}{R}\Rightarrow\frac{1}{s'}=0\Rightarrow s'=\infty$



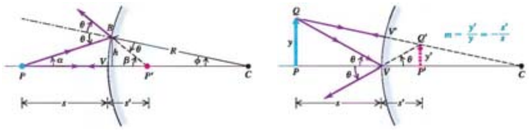
រូបទី២៨.៤ ការករកើតរូបភាពដោយស្វែផត

❖ រូបភាពបង្កើតដោយស្វែផត: ក្នុងត្រីកោនកែង PVQ និង P′VQ′យើងបាន:

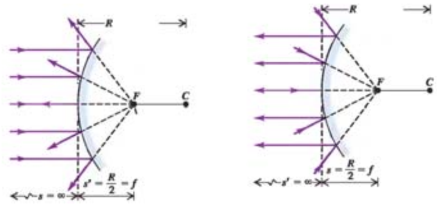
$y/s=-y'/s'\Rightarrow m=\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}$(សញ្ញា (-)បញ្ជាក់ថា រូបភាពច្រាស់ពីវត្ថុ)។

២៨.៤ កញ្ចក់ស្វែប៉ោង

❖ រូបមន្តស្វែប៉ោងក៏ដូចស្វែផតដែរ: $\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{2}{R}$ក៏ប៉ុន្តែក្នុងករណីនេះ R <0



(ក) $s > 0$, $s' < 0$ និង $R < 0$ (ខ) $m = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$



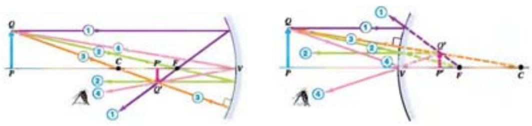
(ក) ពេលកាំចាំងប៉ះស្របអ័ក្សមេ $s \to \infty$ កាំចាំងផ្លាតកាត់តាមកំនុំ

(ខ) ពេលកាំចាំងប៉ះកាត់តាមកំនុំ $s' \to \infty$ កាំចាំងផ្លាតស្របអ័ក្សមេ

រូបទី២៨.៦ កញ្ចក់ស្វៃប៉ោង

❖ កាំពន្លឺសំខាន់ៗក្នុងការសង់រូបភាពកើតដោយកញ្ចក់ស្វៃ

1. កាំចាំងប៉ះស្របនឹងអ័ក្សមេ នោះចាំងផ្លាតមកវិញកាត់តាមកំនុំ
2. កាំចាំងប៉ះកាត់តាមកំនុំ នោះចាំងផ្លាតមកវិញស្របនឹងអ័ក្សមេ
3. កាំចាំងប៉ះកាត់តាមផ្ចិតកញ្ចក់ស្វៃ នោះចាំងផ្លាតមកវិញតាមទិសដដែល
4. មុំចាំងប៉ះ និងមុំចាំងផ្លាតសងខាងអ័ក្សមេមានទំហំស្មើគ្នា



រូបទី២៨.៧ រូបភាពបង្កើតដោយកញ្ចក់ស្វៃ

២៨.៥ ចំនាំងបែរនៃផ្ទៃស្វៃ

កាលណាផ្ទៃស្វៃនៃសារធាតុអុបទិចពីរមានសន្ទស្សន៍ខុសគ្នាត្រូវបានដាក់ជាប់គ្នា នោះយើងអាចរកទំនាក់ទំនងរវាងចំងាយវត្ថុ និងចំងាយរូបភាពដូចតទៅ:

វត្ថុ P នៅខាងកាំចាំងប៉ះ ដូចនេះ $s > 0$ ហើយរូបភាព P' នៅខាងកាំពន្លឺដាលចេញ ដូចនេះ $s' > 0$។

ដោយ C ជាផ្ចិតស្វៃនៅខាងកាំពន្លឺដាលចេញ ដូចនេះ $R > 0$

តាមត្រីកោនកែង PBC និង P'BC យើងបាន: $\theta_a = \alpha + \beta,\ \phi = \beta + \theta_b$ យើងមាន $n_a \sin\theta_a = n_b \sin\theta_b$ $\tan\alpha = \frac{h}{s+\delta}, \tan\beta = \frac{h}{s'-\delta}, \tan\phi = \frac{h}{R-\delta}$

ដោយ q_a និង q_b ជាមុំតូច ដូចនេះយើងបាន:

$$n_a\theta_a = n_b\theta_b \Rightarrow \theta_b = \frac{n_a}{n_b}\theta_a = \frac{n_a}{n_b}(\alpha + \phi)$$

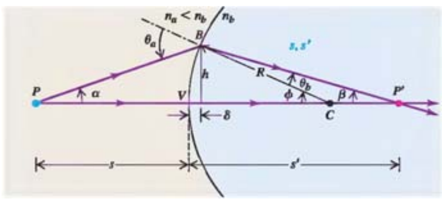
ដូចនេះយើងបាន:

$$n_a\alpha + n_b\beta = (n_b - n_a)\phi$$

ដោយ a, b, f, d ជាមុំតូច ដូចនេះយើងបាន:

$$\alpha = \frac{h}{s}, \beta = \frac{h}{s'}, \phi = \frac{h}{R}$$

ជាចុងក្រោយយើងទទួលបាន: $\frac{n_a}{s} + \frac{n_b}{s'} = \frac{n_b - n_a}{R}$ (ទំនាក់ទំនងចំងាយវត្ថុ និងរូប ភាព)



រូបទី២៨.៨ ដ្យូបស្វៃ

❖ មេគុណពង្រីកអាចគណនាតាមត្រីកោនកែង PQV និង P′Q′V ដូចតទៅ:

$$\tan\theta_a = \frac{y}{s}, \tan\theta_b = \frac{-y'}{y}$$

និង $n_a \sin\theta_a = n_b \sin\theta_b$

ករណីមុំតូច

$$\tan\theta_a = \sin\theta_a,\ \tan\theta_b = \sin\theta_b$$

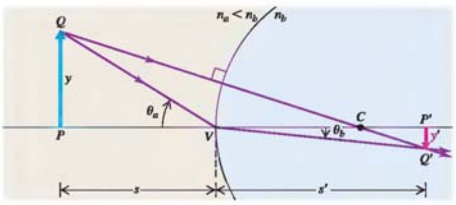
យើងបាន:

$$\frac{n_a y}{s} = -\frac{n_b y'}{s'} \Rightarrow m = \frac{y'}{y} = -\frac{n_a s'}{n_b s}$$ (មេគុណរីកនៃផ្ទៃចំនាំងបែរស្វៃ)

សំគាល់:

1. រូបមន្តទាំងនេះអាចអនុវត្តន៍បានទាំងផ្ទៃចំនាំងបែរស្វៃប៉ោង និងផត ទាំង $n_a > n_b$ រឺ $n_b > n_a$។

2. ករណីផ្ទៃចំនាំងបែរស្វៃជាប្លង់($R \to \infty$) នោះយើងបាន: $\frac{n_a}{s} + \frac{n_b}{s'} = 0$ នោះ $m = 1$។

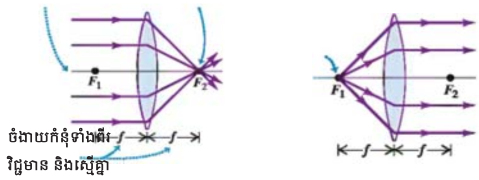


រូបទី២៨.៩ រូបភាពបង្កើតដោយដ្យូបស្វៃ

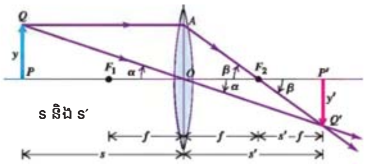
២៨.៥ ឡង់ទី

ឡង់ទីជាប្រព័ន្ធអុបទិចមួយផ្សំឡើងដោយផ្ទៃចំនាំងបែរពីរ។ ឡង់ទីសាមញ្ញបំផុតគឺជាឡង់ទីស្តើង ដែលបង្កើតឡើងដោយផ្ទៃស្វៃពីរដាក់ជាប់គ្នា ដោយមិនគិតពីចំងាយរវាងផ្ទៃស្វៃទាំងពីរ។

ឡង់ទីបង្រួម



(ក)ពន្លឺចូលស្របអ័ក្សអុបទីចចេញតាមកំនុំ F_2 (ខ) ពន្លឺចូលតាត់កំនុំ F_1ចេញស្របអ័ក្សអុបទីច

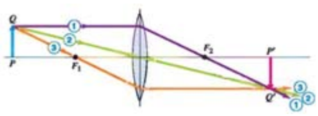


(គ) ទីតាំងរូបភាពនៃឡង់ទីបង្រួម

រូបទី២៨.១០ ឡង់ទីបង្រួម

- ❖ តាមត្រីកោនកែង PQO និង P′Q′O យើងបាន: $\frac{y}{s} = -\frac{y'}{s'} \Rightarrow \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$
- ❖ តាមត្រីកោនកែង OAF_2 និង $P'Q'F_2$ យើងបាន: $\frac{y}{f} = -\frac{y'}{s'-f} \Rightarrow \frac{y'}{y} = -\frac{s'-f}{f}$
- ❖ តាមសមីការទាំងពីរខាងលើ យើងបាន: $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$ (ទំនាក់ទំនងវត្ថុ និងរូបភាព)
- ❖ មេគុនពង្រីក: $m = -\frac{s'}{s}$ (ឡង់ទីស្តើង)

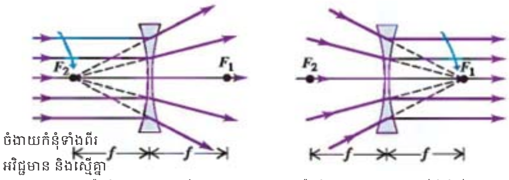
គាំពន្លឺសំខាន់ៗចំពោះឡង់ទីបង្រួម



រូបទី២៨.១១ រូបភាពដោយឡង់ទីបង្រួម

1. កាំថាំងប៉ះស្របនឹងអ័ក្សអុបទិច កាំថាំងបែរកាត់តាមកំនុំ F_2
2. កាំពន្លឺកាត់តាមផ្ចិតនៃឡង់ទីផ្លាស់ទីគ្មានលំងាក
3. កាំថាំងប៉ះកាត់តាមកំនុំ F_1 កាំថាំងបែរស្របអ័ក្សអុបទិច

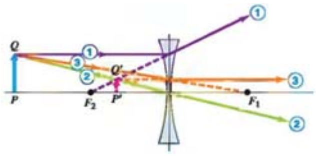
ឡង់ទីពង្រីក



(ក) ពន្លឺថាំងប៉ះស្របអ័ក្សអុបទិច (ខ) ពន្លឺថាំងប៉ះគូសចេញពីកំនុំទី១

រូបទី២៨.១២ ឡង់ទីពង្រីក

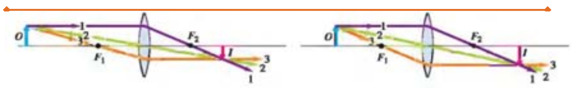
កាំពន្លឺសំខាន់ៗចំពោះឡង់ទីពង្រីក



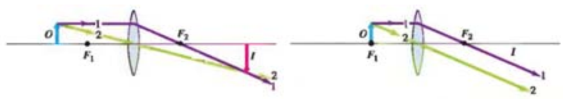
រូបទី២៨.១៣ ការគូសកាំពន្លឺនៃឡង់ទីពង្រីក

1. កាំថាំងប៉ះស្របនឹងអ័ក្សអុបទិច កាំថាំងបែរចេញពីកំនុំ F_2
2. កាំពន្លឺកាត់តាមផ្ចិតនៃឡង់ទីផ្លាស់ទីគ្មានលំងាក
3. កាំថាំងប៉ះតំរង់រកកំនុំ F_1 កាំថាំងបែរស្របអ័ក្សអុបទិច

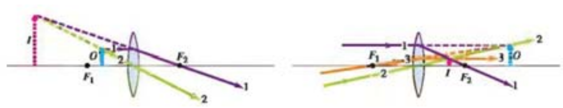
សំគាល់: រូបភាពបង្កើតដោយឡង់ទីបង្រួម



(ក) វត្ថុOនៅក្រៅកំនុំ រូបភាពជារូបភាពពិត (ខ) វត្ថុOខិតទៅរកកំនុំ រូបភាពជារូបភាពពិត នៅឆ្ងាយ



(គ) វត្ថុOខិតកាន់តែជិតកំនុំ រូបភាពពិត នៅកាត់តែឆ្ងាយ (ឃ) វត្ថុOត្រង់កំនុំ រូបភាពនៅអនន្ត

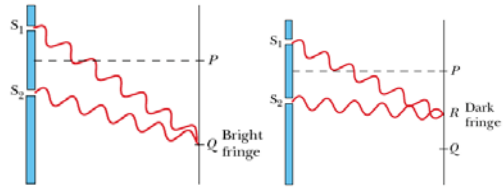


(ង) វត្ថុOក្នុងកំនុំ រូបភាពមិនពិតធំជាងវត្ថុ (ច) វត្ថុមិនពិត O

មេរៀនទី ២៩ អាំងទែផេរ៉ង់ និងឌីប្រាក់ស្យុងនៃពន្លឺ

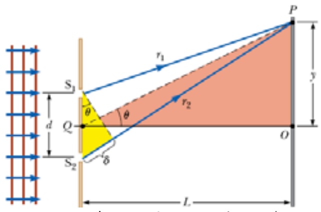
២៩.១ លក្ខខ័ណអាំងទែផេរ៉ង់

- ❖ ប្រភពត្រូវតែជាកូអេរ៉ង់ (បំរែបំរួលផាសថេរ)
- ❖ ប្រភពគួរតែម៉ូណូក្រូម៉ាទិច (ជំហានរលកទោល)



អាំងទែផេរ៉ង់សង់ អាំងទែផេរ៉ង់បំផ្លាញ

រូបទី២៩.១ អាំងទែផេរង់



រូបទី២៩.២ អាំងទែផេរង់នៃរង្វះពីរ

- ❖ ចំងាយខុសគ្នារវាងកាំពន្លឺទាំងពីរ: $\delta = r_2 - r_1 = d\sin\theta$
- ❖ បើ δ ស្មើសូន្យ រឺជាចំនួនគត់មួយគុណជាមួយជំហានរលកនោះរលកទាំងពីរស្រប ផាសគ្នាត្រង់ចំនុច Pជាលទ្ធផលបង្កើតបានជាអាំងទែផេរ៉ងសង់។ យើងបាន:

$$\delta = d\sin\theta_{\text{bright}} = m\lambda \qquad (m = 0, \pm1, \pm2, \ldots)$$

- ❖ បើ δ ជាផលគុណសេសនៃពាក់កណ្តាលជំហានរលកនោះរលកទាំងពីរផ្ទុយផាស គ្នាត្រង់ចំនុច Pជាលទ្ធផលបង្កើតបានជាអាំងទែផេរ៉ងបំផ្លាញ។ យើងបាន:

$$d\sin\theta_{\text{dark}} = \left(m + \tfrac{1}{2}\right)\lambda \qquad (m = 0, \pm1, \pm2, \ldots)$$

- ❖ លក្ខខ័ណផ្សេងទៀតគឺ: $L \gg d$ និង $d \gg \lambda$ហើយ θ ជាមុំតូច។ ក្នុងត្រីកោន OPQ:

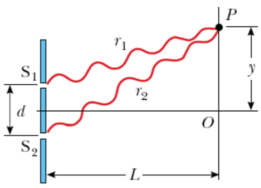
$$y = L\tan\theta \approx L\sin\theta$$

ជួសក្នុងសមីការខាងលើយើងបាន:

$$y_{\text{bright}} = \frac{\lambda L}{d} m \qquad (m = 0, \pm1, \pm2, \ldots)$$

$$y_{\text{dark}} = \frac{\lambda L}{d}\left(m + \tfrac{1}{2}\right) \qquad (m = 0, \pm1, \pm2, \ldots)$$

២៩.២ អាំងតង់ស៊ីតេនៃរលក



រូបទី២៩.៣ ទីតាំងប្រង់ភ្លឺ

- ❖ បើរលកដាលចេញពីរង្វះទាំងពីរជារលកស៊ីនុយសូអ៊ីតហើយមានមុំគំលាតផាសថេរ គឺ: $E_1 = E_0 \sin\omega t$ and $E_2 = E_0\sin(\omega t + \phi)$
- ❖ យើងបានគំលាតផាសរវាងរលកទាំងពីរ: $\frac{\delta}{\lambda} = \frac{\phi}{2\pi}$ និង $\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d\sin\theta$
- ❖ ដោយប្រើគោលការតម្រួត យើងបាន

ដែនអគ្គិសនីត្រង់ P: $E_P = E_1 + E_2 = E_0[\sin\omega t + \sin(\omega t + \phi)]$

ដោយប្រើ: $\sin A + \sin B = 2\sin\left(\frac{A+B}{9}\right)\cos\left(\frac{A-B}{2}\right)$

យើងបាន: $E_P = 2E_0\cos\left(\frac{\phi}{2}\right)\sin\left(\omega t + \frac{\phi}{2}\right)$

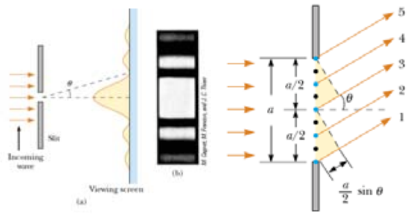
- ❖ អាំងតង់ស៊ីតេនៃរលកសមាមាត្រទៅនឹងការេនៃអាំងតង់ស៊ីតេដែនអគ្គិសនី:

$$I \propto {E_P}^2 = 4E_0^2\cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right)\sin^2\left(\omega t + \frac{\phi}{2}\right)$$

$I = I_{max}\cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right)$ រឺ $\boxed{I = I_{max}\cos^2\left(\frac{\pi d\sin\theta}{\lambda}\right)}$ $I \approx I_{max}\cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L}y\right)$

២៩.៣. ឌីប្រាក់ស្យុង

❖ ពេលដែលពន្លឺមានជំហានរលកប្រហែល រឺធំជាងរង្វះ វាដាលចេញពីរង្វះ ទៅតាមទិសដៅទៅមុខ។ បាតុភូទនេះហៅថាឌីប្រាក់ស្យុង។



គំរូនៃឌីប្រាក់ស្យុង　　　　　　　　　　រង្វះត្រូវបានចែកជាពីរ

❖ (ចំពោះរង្វះចែកជាពីរ) បើសិនជាចំងាយចរខុសគ្នានៃកាំពន្លឺទាំងពីរស្មើនឹងពាក់កណ្តាលជំហានរលក (ត្រូវនឹងគំលាតផាស់ 180°) នោះយើងបាន:

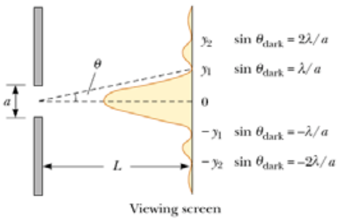
$\frac{a}{2}\sin\theta = \pm\frac{\lambda}{2}$ យើងបាន $\sin\theta = \pm\frac{\lambda}{a}$

បើរង្វះចែកជាបួន នោះយើងបាន: $\sin\theta = \pm\frac{2\lambda}{a}$

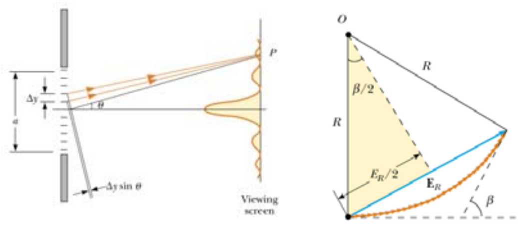
បើរង្វះចែកជាប្រាំមួយ នោះយើងបាន: $\sin\theta = \pm\frac{3\lambda}{a}$

ដូចនេះយើងបានរូបមន្តទូទៅ:

$\boxed{\sin\theta_{dark} = m\frac{\lambda}{a}}$ $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \ldots$



២៩.៤ អាំងតង់ស៊ីតេ



❖ ក្នុងរូបខាងលើយើងចែករង្វះប្រវែង a ទៅជា ប្រវែងតូចៗ យើងបានមុំគំលាតផាសរវាងកាំពន្លឺជាប់គ្នាពីរ: $\Delta\beta = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta y\sin\theta$

❖ គំលាតផាសសរុបរវាងរលកនៅចុងខាងលើ និងចុងខាងក្រោមនៃរង្វះគឺ:

$\beta = N\Delta\beta = \frac{2\pi}{\lambda}N\Delta y\sin\theta = \frac{2}{\lambda}$

❖ បើ $\beta = N\Delta\beta = 2\pi$ នោះយើងបាន: $2\pi = \frac{2\pi}{\lambda}a\sin\theta_{dark}$ $\sin\theta_{dark} = \frac{\lambda}{a}$

❖ ក្នុងរូបខាងលើយើងបាន $\sin\frac{\beta}{2} = \frac{E_R/2}{R}$

$E_R = 2R\sin\frac{\beta}{2} = 2\left(\frac{E_0}{\beta}\right)\sin\frac{\beta}{2} = E_0\left[\frac{\sin(\beta/2)}{\beta/2}\right]$

$\boxed{I = I_{max}\left[\frac{\sin(\beta/2)}{\beta/2}\right]^2}$ $I = I_{max}\left[\frac{\sin(\pi a\sin\theta/\lambda)}{\pi a\sin\theta/\lambda}\right]^2$

មេរៀនទី៣០ គូរនៃរលក និងផង់

៣០.១ ផលផូតូអគ្គិសនី

សមីការ Einstein: $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$ (ថាមពលរបស់ផូតុង)

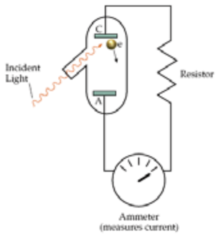
ដែល $h = 6,626\times10^{-34} J\cdot s = 4,136\times10^{-15} eV\cdot s$ ហៅថា ថេរ Planck និង f ជាប្រេកង់។

បើ ϕ ជាថាមពលចាំបាច់អប្បរមាដើម្បីផ្លាស់ទីអេឡិចត្រុងពីលោហៈ:

នោះថាមពលស៊ីនេទិចរបស់អេឡិចត្រុងបានបន្សាយគឺ:

$$K_{\max} = \left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{\max} = hf - \phi$$ (សមីការផលផូតូអគ្គិសនីរបស់ Einstein)

ដែល ϕ ហៅថាអនុគមន៍កម្មន្ត



រូបទី៣០.១ ផលផូតូអគ្គិនសី

ផូតុងដែលមានប្រេកង់តូចជាងប្រេកង់កំរិត(f_t)រឺមានជំហានរលកធំជាងជំហានរលកកំរិត($\lambda_t = c/f_t$)មិនមានថាមពលគ្រប់គ្រាន់ដើម្បីទាញអេឡិចត្រុងចេញពីលោហៈទេ។ យើងមាន:

$$\phi = hf_t = \frac{hc}{\lambda_t}$$

ដែល $hc = (4,136\times10^{-15} eV.s)(2,997\times10^{8} m/s) = 1,240\times10^{-6} eV.m = 1240 eV.nm$

៣០.២ Compton Scattering

ថាមពល និងបរិមាណចលនានៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមានទំនាក់ទំនង:

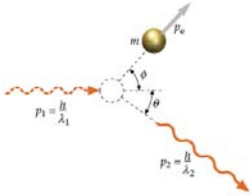
$E = pc$ ដែល $E = hf = hc/\lambda$ និង $p = E/c = hf/c = h/\lambda \Rightarrow p = h/\lambda$

(បរិមាណចលនារបស់ផូតុង)

ផូតុងទង្គិចជាមួយអេឡិចត្រុងនៅនឹង យើងបាន:

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \frac{h}{m_e c}(1-\cos\theta)$$

ដែល $\lambda_C = \frac{h}{m_e c} = \frac{hc}{m_e c^2} = 2,43\,pm$ ហៅថាប្រេកង់ Compton



រូបទី៣០.២ ផូតុងទៅទង្គិចជាមួយអេឡិចត្រុងនៅស្ងៀម

ថាមពលស៊ីនេទិច និងបរិមាណចលនានៃផង់:

$$K = \frac{p^2}{2m} \Rightarrow p = \sqrt{2mK}$$

ជំហានរលករបស់ផូតុង:

$$\lambda = h/p = \frac{h}{\sqrt{2mK}} = \frac{hc}{\sqrt{2mc^2K}} = \frac{1240 eV.nm}{\sqrt{2(0,511\times10^6 eV)K}} = \frac{1,23}{\sqrt{K}}nm$$

ដែលK គិតជា eV

៣០.៣ អនុគមន៍រលក

សមីការ Schrodinger ពិពណ៌នាពីផង់មួយ ដែលការេនៃអនុគមន៍រលកចំពោះផង់មួយគឺជាប្រូបាបនៃការរកផង់នោះក្នុងមាឌមួយ។

ប្រូបាបនៃការរកផង់ក្នុងតំបន់ dx ត្រង់ទីតាំង x មួយគឺ $\psi^2(x)dx$ ។ យើងអាចសរសេរប្រូបាបនេះជា $P(x)dx$ ដែល $P(x)$ ជាដង់ស៊ីតេប្រូបាប។ ដូចនេះ យើងបាន: $P(x) = \psi^2(x)$, ដែល ψ (psi) អានថា psi។

ប្រូបាបនៃការរកផង់ក្នុង dx ត្រង់ទីតាំង x_1 រឺ x_2 គឺជាផលបូកប្រូបាបនិមួយៗចូលគ្នា

$P(x_1)dx + P(x_2)dx$ ។

បើយើងមានផង់គ្រប់ទីកន្លែងនោះប្រូបាបក្នុងការរកផង់ត្រង់ចំនុចណាមួយ ត្រូវតែស្មើនិង 1។ យើងបាន:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi^2(x)dx = 1$$

៣០.៤. ផង់ក្នុង Box

បើbox នៅចន្លោះ $x = 0$ និង $x = L$ នោះយើងមាន $\psi = 0,\ \ x \le 0$ និង $x \ge L$ ក្នុងរូបខាងក្រោមយើងបាន:

$$L = n\frac{\lambda_n}{2},\quad n = 1,2,3,...$$

ថាមពលសរុបរបស់ផង់ក្នុង box គឺជាថាមពលស៊ីនេទិចរបស់វា:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$$

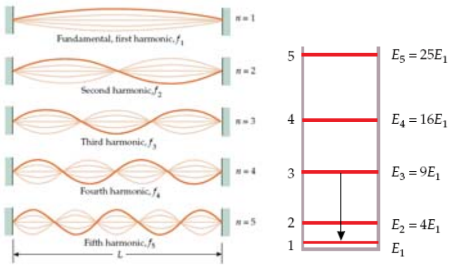
ដោយ $p_n = h/\lambda_n$ ។ ដូចនេះយើងបាន:

$$E = \frac{(h/\lambda_n)^2}{2m}$$

ដែល $\lambda_n = 2L/n$ ។ ដូចនេះយើងបាន:

$$E_n = \frac{h^2}{2m\lambda_n^2} = n^2\frac{h^2}{8mL^2} = n^2E_1$$

ដែល $E_1 = \frac{h^2}{8mL^2}$



រូបទី៣០.៣ ផង់ក្នុងប្រអប់មួយទិស និងនិវ្វថាមពលរបស់វា

បើអេឡិចត្រុងមួយនៅត្រង់និវ្វថាមពល E_i វាអាចឆ្លងពីទៅថាមពលមួយទៀត E_f បើ $E_f < E_i$ នោះវាបន្សាយថាមពល ហើយបើ $E_f > E_i$ នោះវាស្រូបថាមពល។ ថាមពលនៃបន្សាយ:

$$hf = E_i - E_f \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{hc}{E_i - E_f}$$

៣០.៥ អនុគមន៍រលកចំពោះរលកជញ្ជ្រាំ

យើងមានសមីការរលកជញ្ជ្រាំ: $y_n = A_n \sin k_n x$, ដែល $k_n = 2\pi/\lambda_n$ ហៅថាចំនួនរលក អនុគមន៍រលកនៃផង់មួយក្នុង box អាចសរសេរ:

$$\psi_n(x) = A_n \sin k_n x,$$

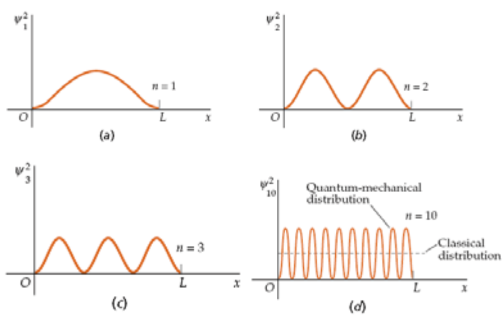
ដែល $k_n = 2\pi/\lambda_n$ និង $\lambda_n = 2L/n \Rightarrow k_n = \frac{n\pi}{L}$ ដូចនេះយើងបាន:

$$\psi_n(x) = A_n \sin\frac{n\pi}{L}x$$

អាំព្លីទូត A_n អាចរកបានតាមសមីការដូចខាងក្រោម:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi^2 dx = \int_0^L A_n^2 \sin^2\frac{n\pi x}{L}dx = 1 \Rightarrow A_n = \sqrt{\frac{2}{L}}$$

អនុគមន៍រលកខាងលើក្លាយជា: $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}}\sin\frac{n\pi}{L}x$



រូបទី៣០.៤ ក្រាបនៃអនុគមន៍រលក

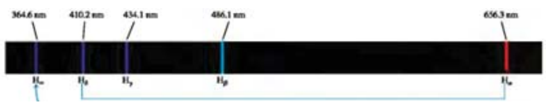
មេរៀនទី ៣១ ផូតុង អេឡិចត្រុង និងអាតូម

៣១.១ ស្ប៉ិចនៃអាតូមអ៊ីដ្រូសែន

អាតូមអ៊ីដ្រូសែនបន្សាយកាំរស្មីជាស៊េរីនៃបន្ទាត់ដូចក្នុងរូបខាងក្រោម ហើយសមីការជំហានរលកអោយដោយស៊េរី Balmerដូចខាងក្រោម:

$$\frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right),\ n=3,4,5,...$$

ដែល $R=1,097\times10^7 m^{-1}$ ហៅថា ថេរ Rydberg ។



រូបទី៣១.១ ស្ប៉ិចអាតូមអ៊ីដ្រូសែន

ថាមពលរបស់ផូតុងទាក់ទងនិងជំហានរលកនេះគឺ:

$$E=\frac{hc}{\lambda}=hcR\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right)=\frac{hcR}{2^2}-\frac{hcR}{n^2}$$

ដែល $E_i=\frac{hcR}{n^2}$ ជាថាមពលដើមនៃអាតូមនិង $\frac{hcR}{2^2}=E_f$ ជាថាមពលស្រេចនៃអាតូមពេលដែលវាបន្សាយថាមពល។

ក្នុងស៊េរី Balmer នីវូថាមពលនៃអាតូមអ៊ីដ្រូសែនគឺ: $E_n=-\frac{hcR}{n^2},\ n=1,2,3,...$

ដែល $hcR=13,60eV$

៣១.២ គំរូរបស់Bohr

យើងមានម៉ូម៉ង់ស៊ីនេទិចនៃផង់មួយផ្លាស់ទីក្រោមគន្លងជារង្វង់គឺ

$$L_n=mv_nr_n=n\frac{h}{2\pi}$$

កំលាំងអន្តរកម្មអគ្គិសនីរវាងអេឡិចត្រុង និងប្រូតុងគឺ:

$$F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r_n^2}=\frac{mv_n^2}{r_n}$$

កាំនៃគន្លង:

$$r_n=\varepsilon_0\frac{n^2h^2}{\pi me^2}$$

និងល្បឿនរបស់អេឡិចត្រុង:

$$v_n=\frac{1}{\varepsilon_0}\frac{e^2}{2nh}$$

ពេល n = 1 យើងបាន:

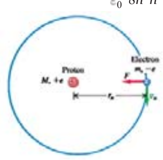
$$a_0=\varepsilon_0\frac{h^2}{\pi me^2}\Rightarrow r_n=n^2\varepsilon_0$$

ថាមពលនៃអាតូមអ៊ីដ្រូសែនពេលអេឡិចត្រុងផ្លាស់ទីក្រោមគន្លងជារង្វង់គឺ:

$$K_n=\frac{1}{2}mv_n^2=\frac{1}{\varepsilon_0^2}\frac{me^4}{8n^2h^2}$$

$$U_n=-\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r_n}=\frac{1}{\varepsilon_0^2}\frac{me^4}{4n^2h^2}$$

$$E_n=K_n+U_n=-\frac{1}{\varepsilon_0^2}\frac{me^4}{8n^2h^2}$$



រូបទី៣១.២ គំរូអាតូមរបស់ Bohr

៣១.៣ ស្ប៉ិចជាប់

ជាទូទៅរូបធាតុមួយបន្សាយថាមពលក្រោមទំរង់ជាស្ប៉ិចដាច់។ ប៉ុន្តែ ចំពោះសារធាតុក្តៅក្នុងភាពរឹងរីវបន្សាយថាមពលក្រោមស្ប៉ិចជាប់។ ផ្ទៃឥតខ្ចោះដែលស្រូបរឺបន្សាយថាមពលគ្រប់ជំហានរលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិច ហៅថាអង្គធាតុខ្មៅ។

អាំងតង់ស៊ីតេសរុបបន្សាយនៅសីតុណ្ហភាពTអោយដោយច្បាប់ Stefan-Boltzmann

$$I=\sigma T^4$$

ដែល $\sigma=5,670400(40)\times10^{-8}\frac{W}{m^2\cdot K^4}$ ជាថេរ Stefan-Boltzmann

ច្បាប់ Wien displacement:

$$\lambda_mT=2,9\times10^{-3}m\cdot K$$

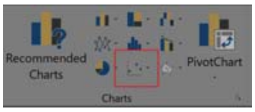
សង់ក្រាបពីទិន្នន័យ Javalab

១. ចុចត្រង់ Data Download

២. ជ្រើសរើសទិន្នន័យជួរឈរដែលអ្នកចង់សង់

Time(s)	Distance(m)
0	0
0.1	0.049
0.2	0.196
0.3	0.441
0.4	0.784
0.5	1.225
0.6	1.764
0.7	2.401
0.8	3.136
0.9	3.969
1	4.9
1.1	5.929
1.2	7.056
1.3	8.281
1.4	9.604
1.5	11.025
1.6	12.544
1.7	14.161

រួចចូល Insert រួចជ្រើសរើស



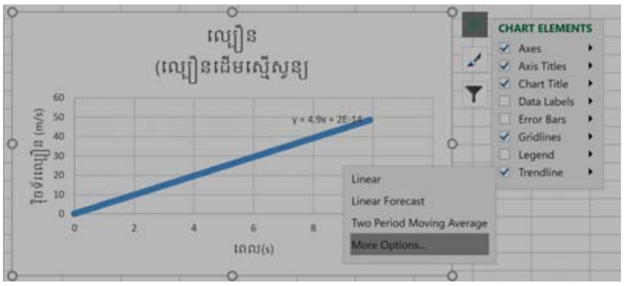
៣. វិភាគក្រាបដោយ

(ក) ចុចលើក្រាប

(ខ) រួចចុចសញ្ញាលេខបូក

(គ) រួចចុចលើក្បាលព្រួញនៅខាងស្ដាំ ពាក្យថា Trendline រួចជ្រើសរើស More Options

(ឃ) បើអ្នកយល់ថាទិន្នន័យដែលទទួលបានគឺជាបន្ទាត់លីនេអ៊ែ អ្នកអាចជ្រើសរើសពាក្យថា Linear។ បើអ្នកយល់ថាវាជាពហុធា ឧទាហរណ៍ថា ដែលមានស្វ័យគុណ ២ អ្នកជ្រើសរើសយកពាក្យថា Polynomial ហើយត្រង់ Order អ្នកជ្រើសរើសយកលេខ 2។ ដើម្បីបង្ហាញសមីការដែលតាងអោយទិន្នន័យនេះ អ្នកអាច Scroll ចុះមកក្រោមបន្តិចរួចជ្រើសរើសពាក្យថា Display Equation on Chart។ ធ្វើការពិនិត្យលើសមីការនិងទាញសេចក្ដីសន្និដ្ឋានតាមការគួរ។

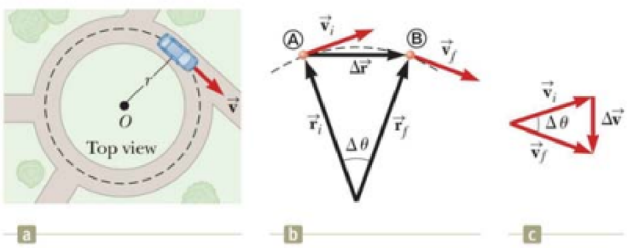

ល្បឿន
(ល្បឿនដើមស្មើសូន្យ)
y = 4.9x + 2E-14
CHART ELEMENTS
Axes
Axis Titles
Chart Title
Data Labels
Error Bars
Gridlines
Legend
Trendline
Linear
Linear Forecast
Two Period Moving Average
More Options...

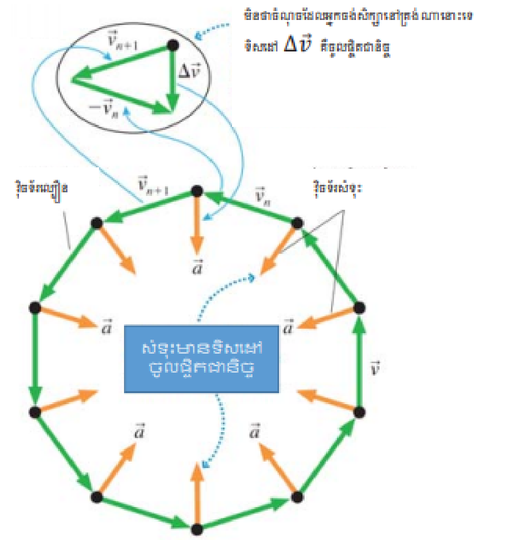

Format Trendline
Trendline Options
Linear
Logarithmic
Polynomial
Order
Power
Moving Average
Period
Trendline Name
Automatic
Custom
Forecast
Forward
Backward
periods
Set Intercept
Display Equation on chart

ចលនាវង់

ស្មើនិងប្រែប្រួលស្មើ

ចលនាវង់ស្មើ



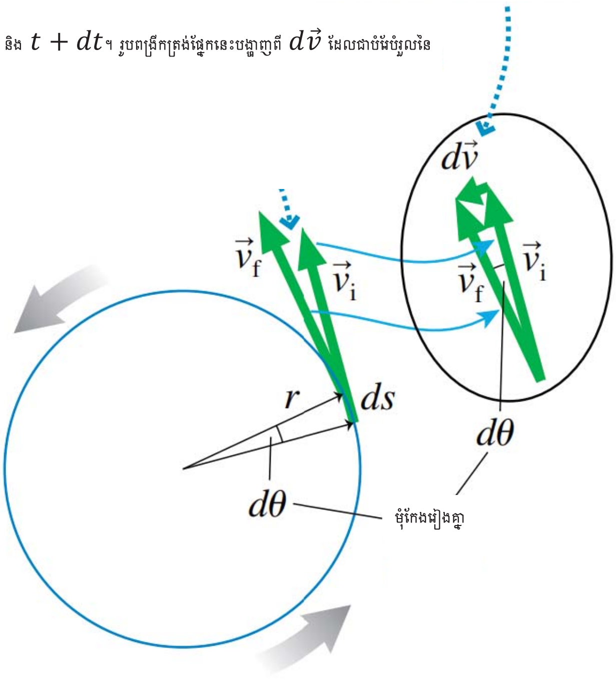


សំទុះនេះជាសំទុះដែលកើតចេញពីការផ្លាស់ប្ដូរទិសដៅនៃវុិចទ័រល្បឿន មិនមែនកើតចេញពីការផ្លាស់ប្ដូរទំហំនៃវុិចទ័រល្បឿនឡើយ

ចលនាវង់ស្មើ

$d\vec{v}$ គឺជាវ៉ិចទ័រកំណោងនៃរង្វង់ដែលមានទំហំ $dv = vd\theta$

នេះគឺជាវ៉ិចទ័រល្បឿនត្រង់ t និង $t + dt$។ រូបពង្រីកត្រង់ផ្នែកនេះបង្ហាញពី $d\vec{v}$ ដែលជាបំរែបំរួលនៃវ៉ិចទ័រល្បឿន



$$dv = |d\vec{v}| = vd\theta$$

ល្បឿនប៉ះរង្វង់ $$v = \frac{ds}{dt} = \frac{rd\theta}{dt} \Rightarrow dt = \frac{rd\theta}{v}$$

សំទុះចូលផ្ចិត $$a_c = \frac{dv}{dt} = \frac{vd\theta}{r(\frac{d\theta}{v})} \Rightarrow a = \frac{v^2}{r}$$

ចលនាវង់ស្មើនិងប្រែប្រួលស្មើ

រយះពេល១ខួប= $\frac{\text{ប្រវែងចរបានមួយជុំ}}{\text{ល្បឿនប៉ះថេរ}}$ ឬ $$T = \frac{2\pi r}{v}$$

មុំ= $\frac{\text{ប្រវែងចរតាមគន្លងនៃកំណោង}}{\text{កាំកំណោង}}$ ឬ $$\theta = \frac{\theta r}{r}$$

ល្បឿនមុំ= $\frac{\text{ល្បឿនតាមគន្លងនៃកំណោង}}{\text{កាំកំណោង}}$ ឬ $$\omega = \frac{v}{r} = \frac{2\pi}{T}$$

សំទុះចូលផ្ចិត $$\mathrm{a}_c = \frac{v^2}{r} = \frac{2\pi}{T}$$

កិច្ចការទី១

ចលនាខង់ស្មើនិងប្រែប្រួលស្មើ

1. ប៉ោលទោលមួយមានប្រវែង $r = 1.00$ m ។ ទីតាំងដេករបស់ប៉ោលទោលគឺស្ថិតនៅមុំ $\theta = 90°$ និងមុំ $\theta = 270°$ ធៀបនឹងអក្សឈរដែលល្បឿនត្រង់ទីតាំងទាំងពីរនេះស្មើនឹង 5.00 m/s ។ ចូរកំណត់ទំហំនៃ

(ក) សំទុះចូលផ្ចិតនៅត្រង់ទីតាំងទាំងពីរ

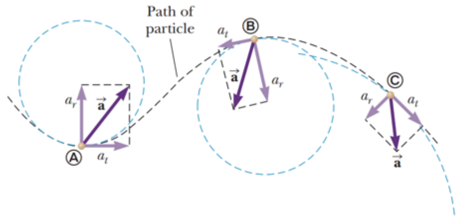
(ខ) សំទុះប៉ះនៅត្រង់ទីតាំងទាំងពីរ

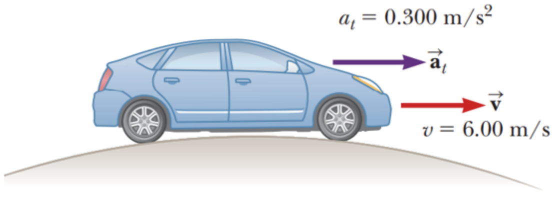
(គ) គូសដ្យាក្រាមវ៉ិចទ័រដើម្បីកំណត់ទិសដៅនៃសំទុះសរុបនៅត្រង់ទីតាំងទាំងពីរ។

(ឃ) គណនាទំហំនិងទិសដៅនៃសំទុះសរុបនៅត្រង់ទីតាំងទាំងពីរ។

ចលនាខ្សែកោង

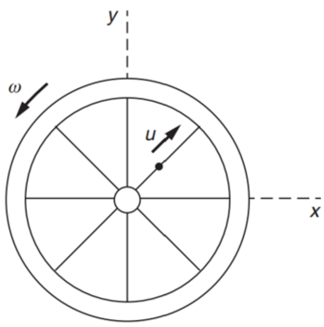
2. តាមការគណនាខាងលើយើងអាចកំណត់បាននូវសំទុះនៃចលនាវង់ឬចលនាកោងដោយចំនួនរូបអ្វី?
3. តើទំហំនិងទិសដៅសំទុះនៃឡាននៅខណៈនេះស្មើប៉ុន្មាន? បើកាំកំណោងស្មើរនឹង 500 m។





ចលនាខ្សែកោងស្មើនិងប្រែប្រួលស្មើនៃវត្ថុចល័តក្នុងលំហរ

4. គ្រាប់អង្កាំមួយផ្លាស់ទីតាមទិសរ៉ាដ្យាល់នៃកង់មួយដោយល្បឿនថេរ u ។ កង់នេះវិលដោយល្បឿនមុំថេរ ω ។ នៅខណៈពេល $t = 0$ កាំកង់ដែលមានគ្រាប់អង្កាំផ្លាស់ទីគឺស្ថិតនៅទិស x។ គណនាវ៉ិចទ័រល្បឿនត្រង់ខណៈ t ណាមួយក្នុងក្នុងកូអរដោនេដេកាត



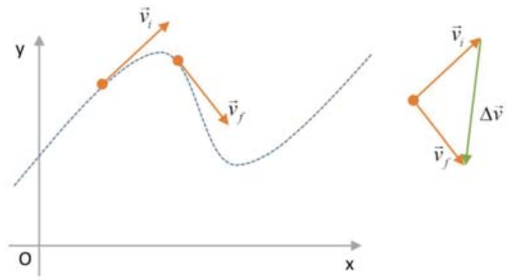
ចលនាកោង

សំទុះមធ្យម

$$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{t_f - t_i}$$

$$\vec{a}_{av} = \frac{(v_{fx} - v_{ix})}{\Delta t}\vec{i} + \frac{(v_{fy} - v_{iy})}{\Delta t}\vec{j} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}\vec{i} + \frac{\Delta v_y}{\Delta t}\vec{j}$$

$$a_{av} = \sqrt{\left(\frac{\Delta v_x}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta v_y}{\Delta t}\right)^2}$$



ចលនាកោង

សំទុះខណៈ

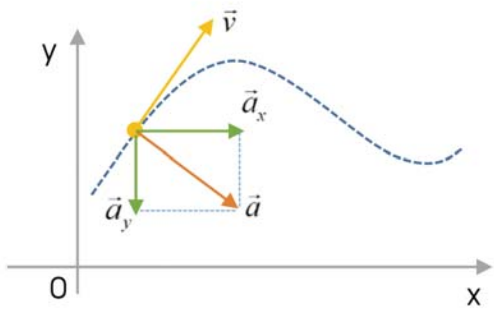
$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \vec{a}_{av} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$\vec{a} = \frac{dv_x}{dt}\vec{i} + \frac{dv_y}{dt}\vec{j}$$

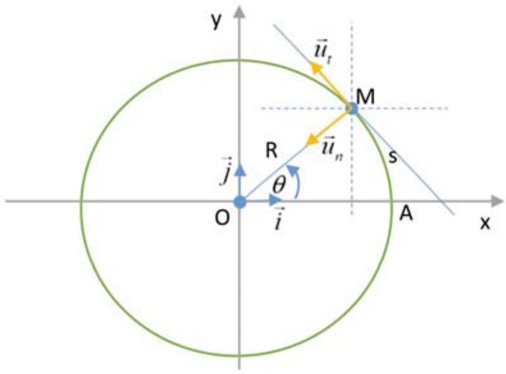
$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d\dot{x}}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x}$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d\dot{y}}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} = \ddot{y}$$

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$



ចលនាវង់ស្មើនិងប្រែប្រួលស្មើ៖ ក្នុងអរដោនេប៉ូលែ



5. ចូរបំពេញទំនាក់ទំនងខាងក្រោម $(\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt} = \omega, s = R\theta)$

   $A.\ \vec{u}_t = \qquad \vec{\imath} + \qquad \vec{\jmath}$

   $B.\ \vec{u}_n = \qquad \vec{\imath} + \qquad \vec{\jmath}$

   $C.\ \frac{d\vec{u}_t}{dt} = \qquad \vec{\imath} + \qquad \vec{\jmath}$

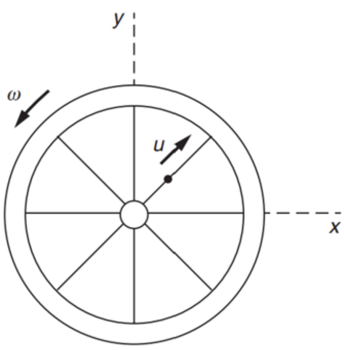
   $D.\ \frac{d\vec{u}_n}{dt} = \qquad \vec{\imath} + \qquad \vec{\jmath}$

6. ពីសំណួរទី1, បង្ហាញថា $\vec{v} = R\dot{\theta}\vec{u}_t$

7. ពីសំណួរទី2, បង្ហាញថា $\vec{a} = \frac{dv}{dt}\vec{u}_t + \frac{v^2}{R}\vec{u}_n$, តើកំប៉ូសង់នីមួយៗតំណាងអោយអ្វី?

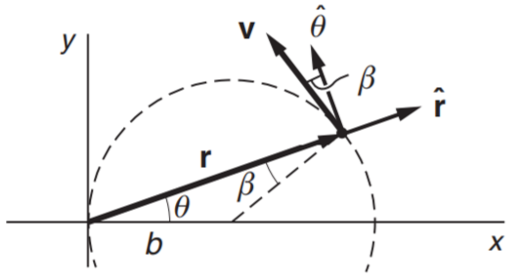
ចលនាវង់ស្មើនិងប្រែប្រួលស្មើ៖ ក្នុងអរដោនេប៉ូលែ

6. គ្រាប់អង្កាំមួយផ្លាស់ទីតាមទិសរ៉ាដ្យាល់នៃកង់មួយដោយល្បឿនថេរ u ។ កង់នេះវិលដោយល្បឿនមុំថេរ ω ។ នៅខណៈពេល $t = 0$ កាំកង់ដែលមានគ្រាប់អង្កាំផ្លាស់ទីស្ថិតនៅទិស x។ គណនាវ៉ិចទ័រល្បឿនត្រង់ខណៈ t ណាមួយក្នុងក្នុងកូអរដោនេប៉ូលែ។



ចលនាវង់ស្មើនិងប្រែប្រួលស្មើ៖ កូអរដោនេប៉ូលែ

7. ភាគល្អិតមួយផ្លាស់ទីដោយល្បឿនថេរ v នៅជុំវិញរង្វង់ដែលមានកាំ b ដែលផ្ចិតរបស់រង្វង់ស្ថិតនៅចម្ងាយ b ពីគុលអក្សជាហេតុធ្វើអោយរង្វង់នេះប៉ះនឹងអក្ស y ត្រង់គុលតម្រុយ។ ចូរកវ៉ិចទ័រល្បឿនក្នុងកូអរដោនេប៉ូលែជាអនុគមន៍នៃ v និង t។

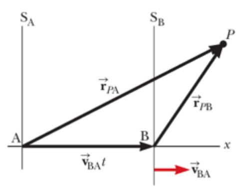


ទិចន័រល្បឿនធៀប និង សំទុះធៀប

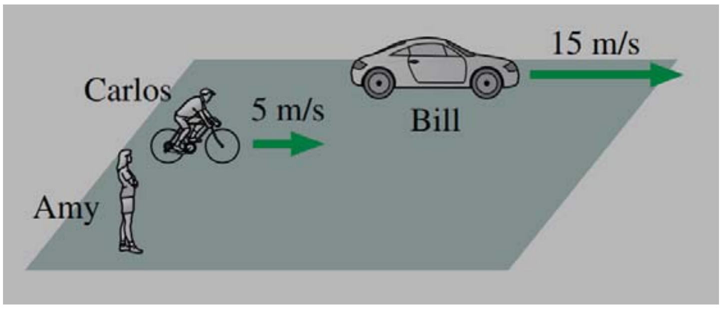
8. ច្បាស់ណាស់ថាបើផ្អែកលើរូប $\vec{r}_{PA} = \vec{r}_{PB}+\vec{v}_{BA}t$ ចូរសរសេរទំនាក់ទំនង $\vec{u}_{PA}$ ។ $\vec{u}_{PA}$ គឺជាល្បឿនរបស់ P ធៀប A.

9. ស្រដៀងគ្នាដែរ ចូរសរសេរទំនាក់ទំនង $\vec{a}_{PA}$? $\vec{a}_{PA}$ គឺជាសំទុះរបស់ P ធៀប A។

10. បើ $\vec{v}_{BA}$ តើអ្នកអាចសន្និដ្ឋានបែបណាចំពោះសំទុះនៃអ្នកសង្កេតក្នុងតម្រុយ A និង B? តើតម្រុយ B គេអោយឈ្មោះថាជាតម្រុយអ្វី (តម្រុយនេះពាក់ព័ន្ធទៅនឹងច្បាប់នៃចលនា)?



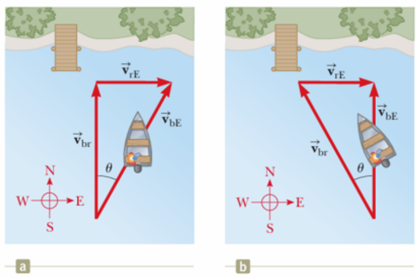
ចលនាធៀបកាលីឡេ



11. (ក) បើយោងតាម Bill, តើវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ Carlos ស្មើប៉ុន្មាន?
(ខ) បើយោងតាម Amy, តើវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ Carlos ស្មើប៉ុន្មាន?
(គ) បើយោងតាម Carlos, តើវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ Bill ស្មើប៉ុន្មាន?
(ឃ) បើយោងតាម Bill, តើវ៉ិចទ័រល្បឿនរបស់ Amy ស្មើប៉ុន្មាន?

ចលនាធៀបកាលីឡេ

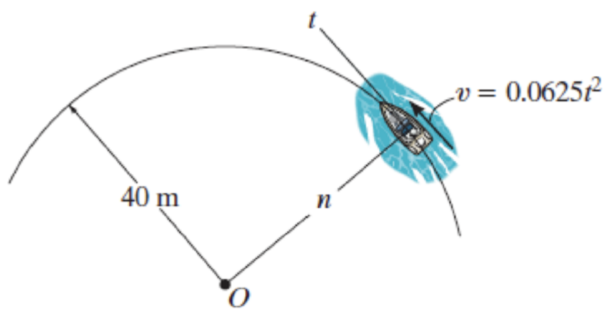
12. ទូកមួយឆ្លងកាត់ទន្លេដោយល្បឿន 10.0 km/h ធៀបនឹងទឹក។ ទឹកហូរដោយល្បឿនថេរ 5.00 km/h តាមទិសកើតធៀបនឹងដី។
(ក) បើក្បាលទូកមានទិសដៅទៅខាងជើង ចូរកំណត់វ៉ិចទ័រល្បឿននៃទូកធៀបនឹងអ្នកសង្កេតឈរនៅច្រាំង
(ខ) បើទូកផ្លាស់ទីដោយល្បឿនដដែលធៀបនឹងទឹក ហើយត្រូវធ្វើដំណើរតាមទិសជើង (ដូចរូប b) តើក្បាលទូកត្រូវបែតាមទិសដៅណា ឬតើមុំ θ ស្មើប៉ុន្មាន?
(គ) ឧបមាថាទូកក្នុងសំណួរ (ក) និង (ខ) ប្រណាំងគ្នា តើទូកមួយណាទៅដល់ច្រាំងម្ខាងទៀតមុន?



កិច្ចការទី២

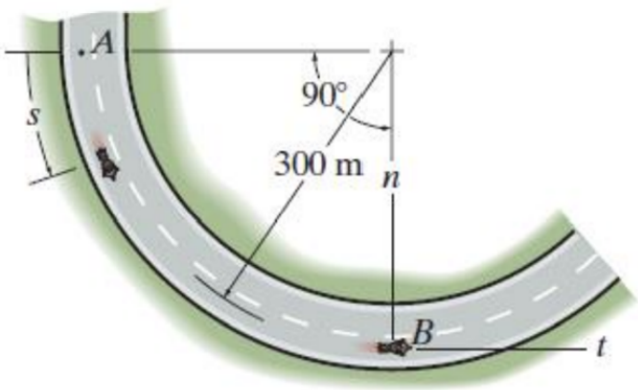
ចលនាទង់៖ ទិចន័រសំនុះ

1. ទូកមួយមានចលនាតាមផ្លូវវង់ជាមួយល្បឿន $v = (0.0625t^2)\mathrm{m/s}$ ដែល t គិតជាវិនាទី។ ចូរកំណត់តម្លៃនៃសំទុះនៅខណៈ $t = 10\mathrm{s}$។



ចលនាទ២៖ ទ្រឹចឆ័រសំទុះ

2. បើម៉ូតូមួយមានសំទុះ $a_t = -(0.001s)\mathrm{m/s}$ និងល្បឿនវានៅទីតាំង A ស្មើ $25\mathrm{m/s}$។ ចូរកំណត់តម្លៃនៃសំទុះរបស់វានៅពេលវាឆ្លងកាត់ចំណុច B។



ចលនាទ២៖ ទ្រឹចឆ័រសំទុះ

3. ចូររកខួបនៃស្ថានីអវកាសនៅលើគន្លងវង់នៅរយៈកម្ពស់ 4000km ដែលសំទុះទំនាញស្មើនឹង 89% នៃសំទុះទំនាញនៅលើផ្ទៃផែនដី

ចលនាទង់ប្រែប្រួលស្មើនិងទំនាក់ទំនងស៊ីនេម៉ាទិច

$$\boxed{\alpha = \ddot{\theta} = \text{ថេរ}}$$

យើងជ្រើសរើសនៅខណៈដើមពេល $t = 0$: $\omega = \omega_0$

$$\int_{\omega_0}^{\omega} d\omega = \int_0^t \alpha\, dt \quad \Rightarrow \quad \omega = \alpha t + \omega_0 \text{ (សមីការល្បឿនមុំ)}$$

$$\int_{\theta_0}^{\theta} d\theta = \int_0^t (\alpha t + \omega_0) dt \;\Rightarrow\; \theta = \frac{1}{2}\alpha t^2 + \omega_0 t + \theta_0$$

ទំនាក់ទំនងគ្មានពេល

$$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\alpha(\theta - \theta_0)$$

ចលនាទង់ប្រែប្រួលស្មើនិងទំនាក់ទំនងស៊ីនេម៉ាទិច

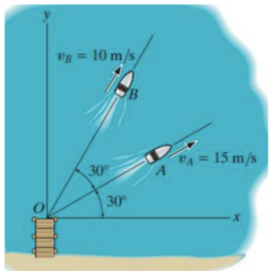
4. ចល័តមួយផ្លាស់ទីលើរង្វង់កាំ $R = 2\mathrm{m}$ ជាមួយសំទុះមុំ $\alpha = 40\ \mathrm{rad/s^2}$។ ចូរកំណត់សំទុះ និងល្បឿនប្រវែងនៃចល័តនៅខណៈ $t = 2\mathrm{s}$ និងសរសេរសមីការចលនា ដោយដឹងថា នៅខណៈ $t = 0, v_0 = 0, \theta_0 = 0$

ចលនាធៀប

5. រថយន្តពីររត់ក្នុងទិសដៅផ្ទុយគញនា។ ល្បឿនរថយន្ត A គឺ 40 km/h ហើយល្បឿនរថយន្ត B គឺ 60 km/h។ ចូរកំណត់ល្បឿនរថយន្ត B ធៀប A និង ល្បឿនរបស់ A ធៀប B

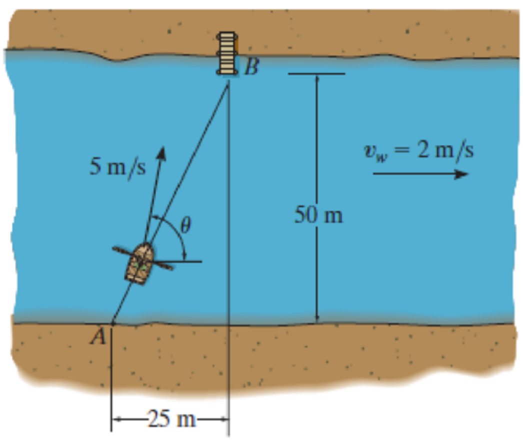
6. រថយន្តពីររត់ក្នុងទិសកែងគញនា។ ល្បឿនរថយន្ត A គឺ 40 km/h ហើយល្បឿនរថយន្ត B គឺ 60 km/h។ ចូរកំណត់ល្បឿនរថយន្ត B ធៀប A

7. ទូកពី A និង B (ដូចរូបខាងក្រោម) ធ្វើដំណើរជាមួយល្បឿនថេរ $v_A = 15\ \mathrm{m/s}$ និង $v_B = 10\ \mathrm{m/s}$ នៅពេលពួកវាចេញពីចំណុច O ក្នុងពេលតែមួយ។ គណនាចម្ងាយរវាងគ្នានៅពេល $t = 4\mathrm{s}$។



ចលនាធៀប

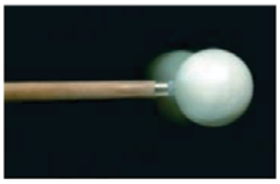
8. បុរសម្នាក់អាចចែវទូកក្នុងទឹកនឹង ជាមួយល្បឿន $5\mathrm{m/s}$ ។ បើទឹកស្ទឹងកំពុងហូរដោយល្បឿន 2 m/s។ ចូរកំណត់ល្បឿនទូក និងមុំ θ ដែលគាត់ត្រូវតម្រង់ទិសនៃក្បាលទូកដើម្បីអោយវាធ្វើដំណើរពី A ទៅ B



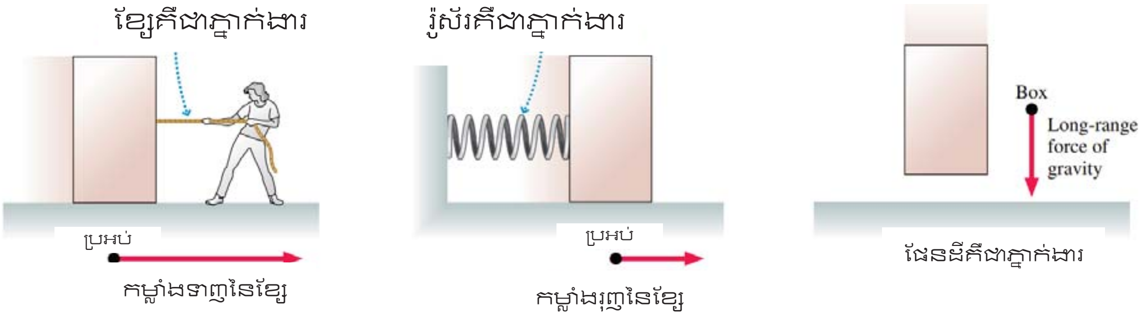
ច្បាប់នៃចលនា

មាតិការ

Force



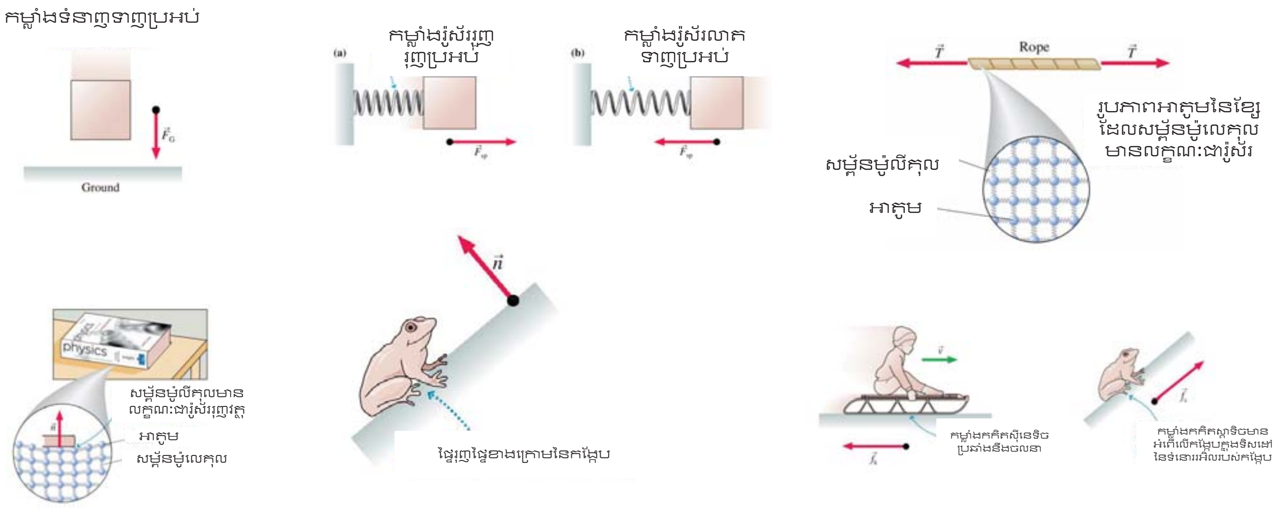
កម្លាំង



កម្លាំងផ្គួប

$$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{N} \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_N$$

កម្លាំងដែលយើងយកមកសិក្សា



ច្បាប់ទីមួយនៃចលនា

វត្ថុមួយដែលនៅស្ងៀមនិងរក្សាសភាពនៅស្រៀមរបស់វា ឬវត្ថុមួយដែលផ្លាស់ទីដោយល្បឿនថេរនឹងបន្តផ្លាស់ទីក្នុងបន្ទាត់ត្រង់ដោយវ៉ិចទ័រល្បឿនថេរប្រសិនបើកម្លាំងសរុបដែលមានអំពើលើវត្ថុនោះស្មើសូន្យ។

តើយើងអាចយល់អ្វីបន្ថែមពីកម្លាំងបើផ្អែកលើច្បាប់ទីមួយខាងលើ?

ច្បាប់ទី១ញូតុន ឬច្បាប់និចលភាព (Laws of inertia**)**

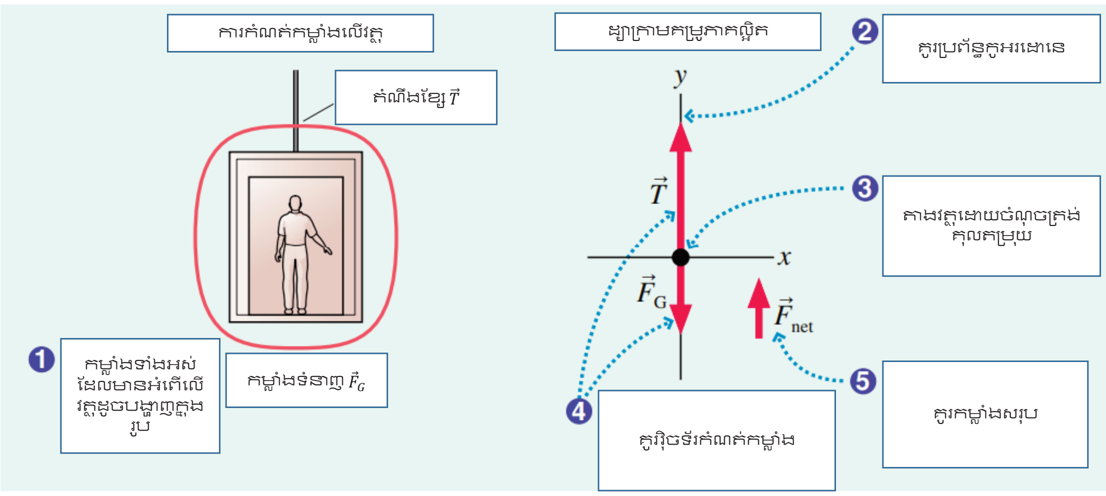
ច្បាប់ទី២

វត្ថុមួយដែលមានម៉ាស m ទទួលរងនូវកម្លាំង $\vec{F}$ វានឹងផ្លាស់ទី ដោយសំទុះ $\vec{a}$ ដែលកំណត់ដោយទំនាក់ទំនង $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$

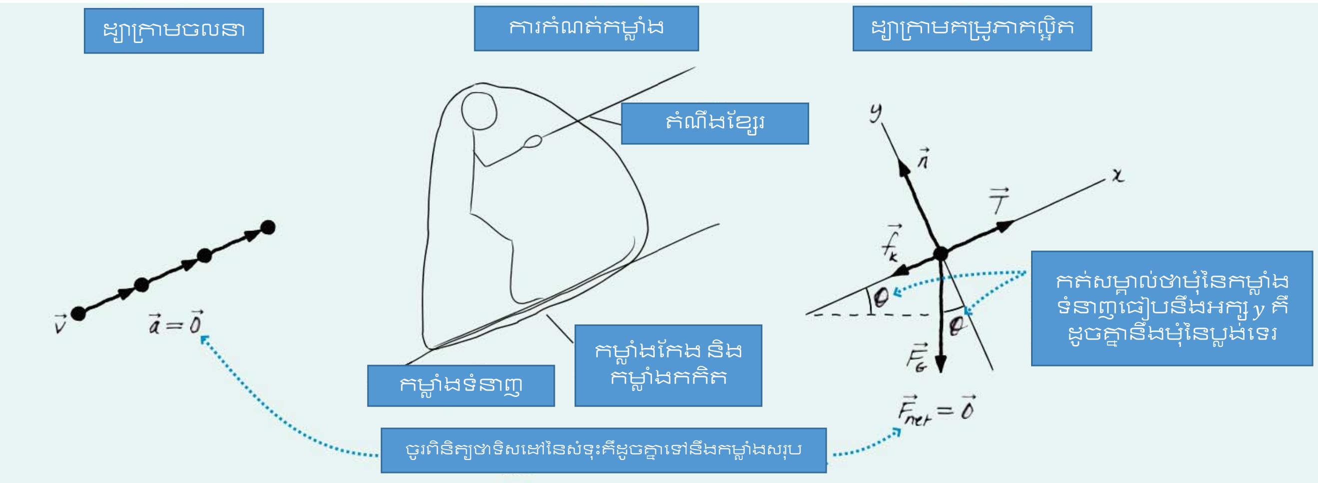
ច្បាប់ទី៣ញូតុន (Action and Reaction)

$\vec{F}_{1\to 2} = -\vec{F}_{2\to 1}$ ឬ $F_{1\to 2} = F_{2\to 1}$

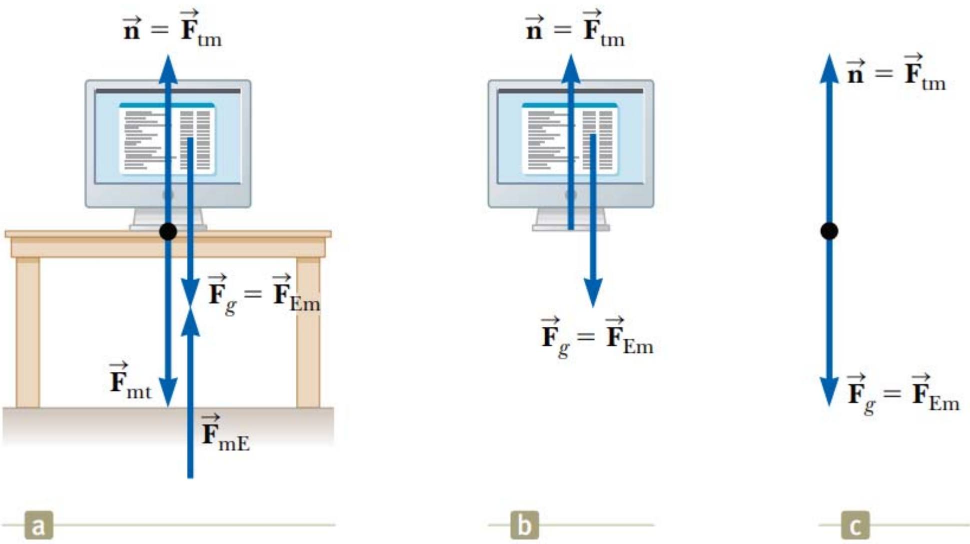
ដ្យាក្រាមគម្រូភាគល្អិត



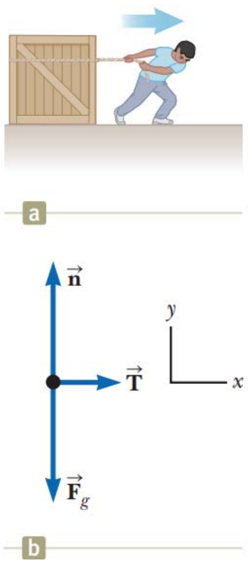
ដ្យាក្រាមគម្រូភាគល្អិត

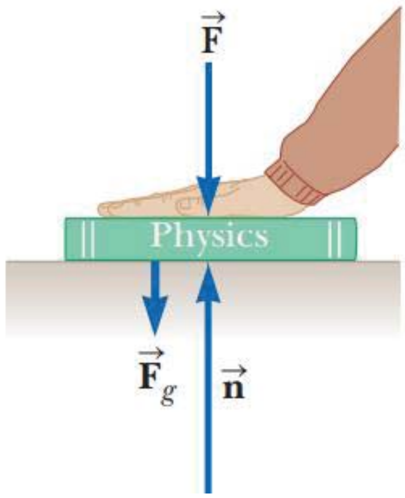


ដ្យាក្រាមគម្រូភាគល្អិត

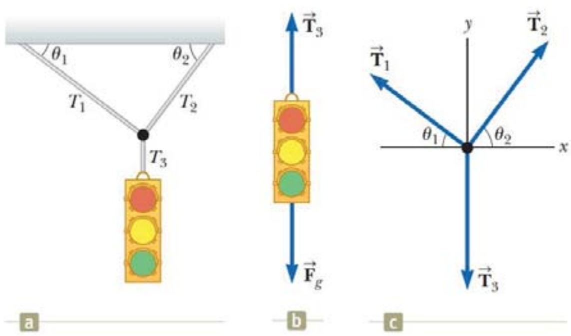


ដ្យាក្រាមគម្រូភាគល្អិត





ដ្យាក្រាមគម្រូភាគល្អិត៖ឧទាហរណ៍



$$\sum F_y = 0 \;\rightarrow\; T_3 - F_g = 0$$

$$T_3 = F_g$$

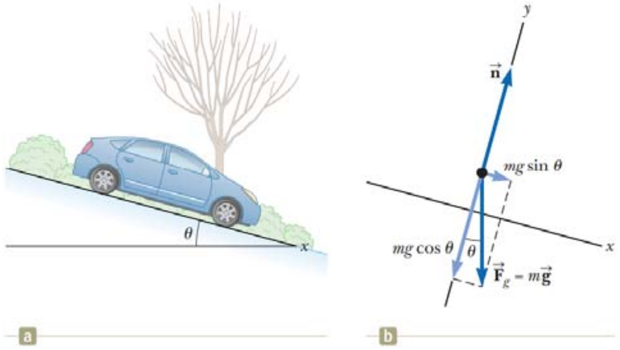
$$\sum F_x = -T_1 \cos\theta_1 + T_2 \cos\theta_2 = 0$$

$$\sum F_y = T_1 \sin\theta_1 + T_2 \sin\theta_2 + (-F_g) = 0$$

$$T_1 = \frac{122\ \text{N}}{\sin 37.0^\circ + \cos 37.0^\circ \tan 53.0^\circ} = 73.4\ \text{N}$$

$$T_2 = (73.4\ \text{N})\left(\frac{\cos 37.0^\circ}{\cos 53.0^\circ}\right) = 97.4\ \text{N}$$

ដ្យាក្រាមគម្រូភាគល្អិត៖ឧទាហរណ៍



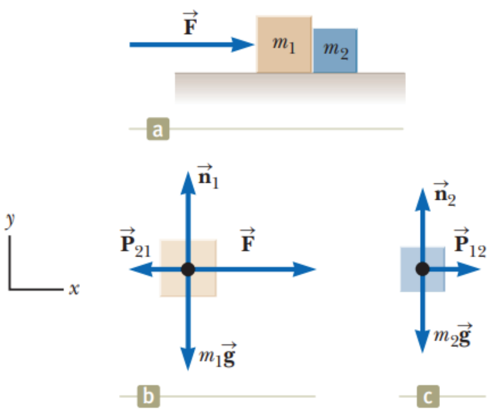
$$\sum F_x = mg\sin\theta = ma_x$$

$$\sum F_y = n - mg\cos\theta = 0$$

$$a_x = \boxed{g\sin\theta}$$

$$t = \sqrt{\frac{2d}{a_x}} = \boxed{\sqrt{\frac{2d}{g\sin\theta}}}$$

ដ្យាក្រាមគម្រូភាគល្អិត៖ឧទាហរណ៍



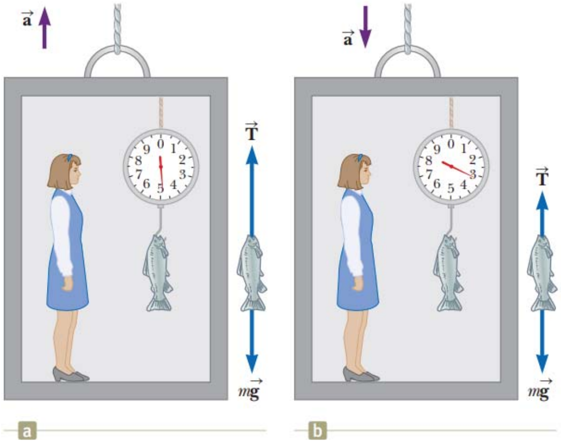
$$\sum F_x = F = (m_1 + m_2)a_x$$

$$(1)\quad a_x = \boxed{\frac{F}{m_1 + m_2}}$$

$$\sum F_x = P_{12} = m_2 a_x$$

$$P_{12} = m_2 a_x = \boxed{\left(\frac{m_2}{m_1 + m_2}\right)F}$$

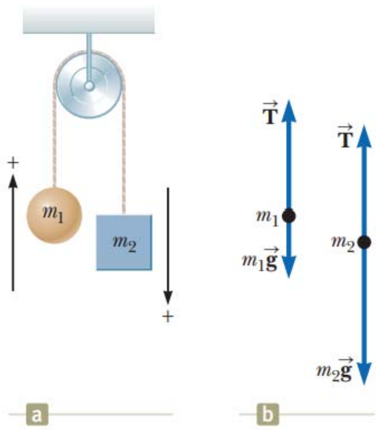
ដ្យាក្រាមគម្រូភាគល្អិត៖ឧទាហរណ៍



$$\sum F_y = T - mg = ma_y$$

$$(1)\quad T = ma_y + mg = mg\left(\frac{a_y}{g} + 1\right) = F_g\left(\frac{a_y}{g} + 1\right)$$

ដ្យាក្រាមគម្រូភាគល្អិត៖ឧទាហរណ៍



$$\sum F_y = T - m_1 g = m_1 a_y$$

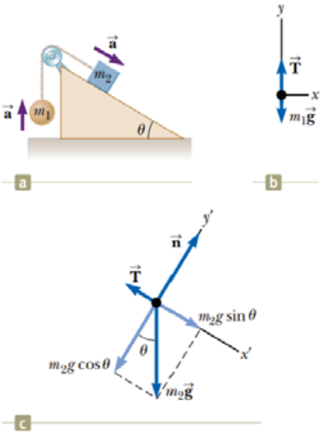
$$\sum F_y = m_2 g - T = m_2 a_y$$

$$-m_1 g + m_2 g = m_1 a_y + m_2 a_y$$

$$a_y = \boxed{\left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right)g}$$

$$T = m_1(g + a_y) = \boxed{\left(\frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2}\right)g}$$

ដ្យាក្រាមគម្រូភាគល្អិតៈឧទាហរណ៍



$$\sum F_y = T - m_1 g = m_1 a_y = m_1 a$$

$$\sum F_{x'} = m_2 g \sin\theta - T = m_2 a_{x'} = m_2 a$$

$$\sum F_{y'} = n - m_2 g \cos\theta = 0$$

$$T = m_1(g + a)$$

$$m_2 g \sin\theta - m_1(g + a) = m_2 a$$

$$a = \left(\frac{m_2 \sin\theta - m_1}{m_1 + m_2}\right) g \qquad T = \left(\frac{m_1 m_2(\sin\theta + 1)}{m_1 + m_2}\right) g$$

អ្នកនឹងអនុវត្តនូវរាល់ច្បាប់ទាំងនេះក្នុងកិច្ចការបន្ទាប់

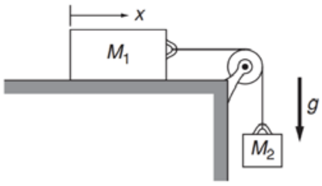
កិច្ចការក្រុម

1. កម្លាំងអាស្រ័យពេលៈ វត្ថុមួយមានម៉ាស m ទទួលរងនូវកម្លាំង $\vec{F} = \left(4t^2\hat{\imath} - 3t\hat{\jmath}\right)N$ ដែល t គិតជាវិនាទី។ វាចាប់ផ្តើមពីនៅស្ងៀមត្រង់គល់តម្រុយនៅពេល $t = 0$។ រក
   (ក) ល្បឿនរបស់វត្ថុ
   (ខ)ទីតាំងរបស់វា
   (គ) រក $\vec{r} \times \vec{v}$
2. ម៉ាសពីរនិងខ្សែៈ ដុំពីរមានម៉ាស M_1 និង M_2 ដូចបង្ហាញក្នុងរូប ត្រូវបានភ្ជាប់ជាមួយនឹងខ្សែដែលមិនគិតម៉ាស។

(ក) គូសដ្យាក្រាមកម្លាំង

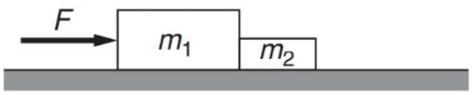
(ខ) តើសំទុះនៃដុំទាំងពីរស្មើគ្នាឬទេ បើស្មើចូរស្រាយបញ្ជាក់

(ខ) បើប្រព័ន្ធត្រូវបានព្រលែងពីនៅស្ងៀម តើម៉ាស M_1 ផ្លាស់ទីបានចម្ងាយប៉ុន្មានក្នុងរយៈពេល t



កិច្ចការក្រុម

3. ដុំម៉ាស២នៅលើតុៈ ដុំម៉ាសពីដាក់ជាប់គ្នានៅលើតុ។ កម្លាំងតាមអក្សដេកត្រូវបានអនុវត្តលើដុំម៉ាស m_1 ដូចរូប។ បើ $m_1 = 2\text{kg}, m_2 = 1\text{ kg}$ និង កម្លាំង $F = 3\text{N}$ ចូររកកម្លាំងកម្លាំងអន្តរកម្មរវាងដុំម៉ាសទាំងពីរ



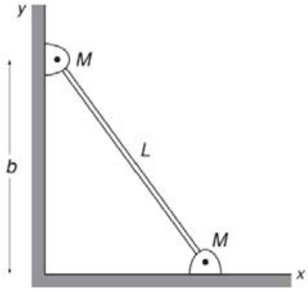
4. ភាគល្អិតមានចលនាវង់និងកម្លាំងៈ ភាគល្អិតពីរមានម៉ាស m និង M ទទយលរងនូវចលនាវង់ស្មើជុំវិញគ្នាដែលមានកម្លាត R ដោយសារតែឥទ្ធិពលនៃកម្លាំងទាញថេរ F ។ វ៉ិចទ័រល្បឿនមុំ ω គិតជា rad/s។ បង្ហាញថា $R = \frac{F}{\omega^2}\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{M}\right)$

កិច្ចការក្រុម

5. របារមួយមានម៉ាសអាចចោលបានត្រូវបានផ្អែកលើជញ្ជាំងមួយដោយបង្កើតបានមុំ .... ជាមួយនឹងផ្ទៃដេក។

(ក) ចូររកទំនាក់ទំនងរវាងសំទុះតាមអក្សដេកនឹងតាមអក្សឈរ។

(ខ) ឧបមាថា នៅខាងចុងនៃរបារគឺបានភ្ជាប់ទៅនឹងម៉ាស ....។ ចូររកសំទុះដើមតាមអក្សឈរនិងតាមអក្សដេកនៃម៉ាសនេះបើវាផ្លាសទីតាមជញ្ជាំងនិងផ្ទៃដេកដោយគ្មានកកិត។ សន្មត់ថានៅខណៈដំបូងនៃចលនា កម្លាំងដែលមានអំពើលើរបារមានទិសដៅតាមរបារ។



កិច្ចការក្រុម

6. បុរសពីរនាក់ទាញព្រាត់ក្នុងលំហរអាកាស។ សុភាពគឺជាបុរសដែលមានកម្លាំងខ្លាំងជាងសុខា។ F_A គឺជាកម្លាំងអតិបរិមាដែលសុភាពអាចទាញបាន ហើយ F_B គឺជាកម្លាំងអតិបរិមាដែលសុខាអាចទាញបាន ដូចនេះ $F_A > F_B$។ សុភាពមានម៉ាស m_A ហើយសុខាមានម៉ាស m_B ហើយម៉ាសរបស់ខ្សែព្ររគឺសន្មត់ថាអាចចោលបាន។

(ក) ចូរវិភាគលើកម្លាំងដែលបុរសទាំងពីរទាញគ្នាទៅវិញទៅមក។

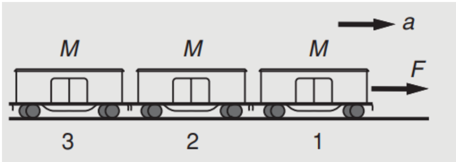
(ខ) ចូរកំណត់សំទុះរបស់បុរសទាំងពីរ។

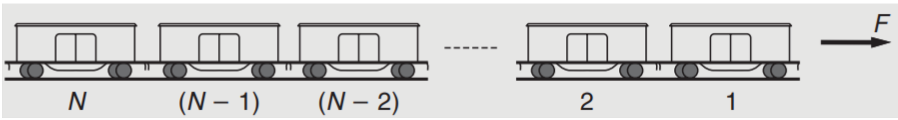
កិច្ចការក្រុម

7. ទូររទេះភ្លើង៣ដែលទូរនីមួយៗមានម៉ាស M ត្រូវបានទាញដោយកម្លាំង F ។ មិនគិតកម្លាំងកកិត ចូររក

(ក) កម្លាំងដែលមានអំពើលើទូរនីមួយៗ

(ខ) ផ្អែកលើលទ្ធផលនៃខ្ទង់ (ក), ចូរកំណត់កម្លាំងដែលមានអំពើលើទូរទី n ណាមួយនៃរថភ្លើងដែលមាន N ទូរ។





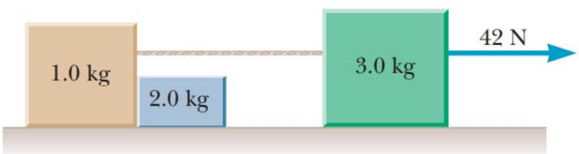
កិច្ចការក្រុម

8. សន្មត់ថាយើងមានដុំម៉ាស ៣ (ដូចក្នុងរូប) ផ្លាស់ទីលើផ្ទៃមិនកកិតហើយកម្លាំង 42N ត្រូវបានអនុវត្ត លើដុំម៉ាស 3.0 kg ។ គណនា

(ក) សំទុះនៃប្រព័ន្ធ

(ខ) តំណឹងខ្សែដែលផ្ជាប់រវាងដុំម៉ាស 3.0 kg និង 1.0 kg

(គ) កម្លាំងដែលមានអំពើលើដុំម៉ាស 1.0 kg មានអំពើលើដុំម៉ាស 2.0 kg

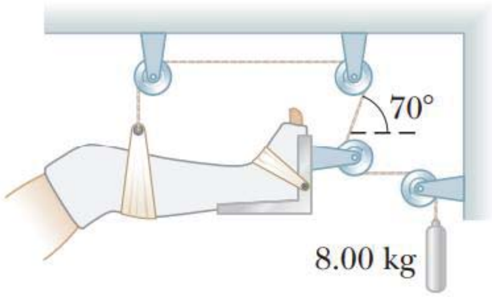


កិច្ចការក្រុម

9. ការរៀបចំរបស់គ្រូពេទ្យសម្រាប់ការព្យាបាលជើងអ្នកជម្ងឺដោយការអនុវត្តកម្លាំងតាមទិសដេកទៅលើជើង។

(ក) គណនាកម្លាំងនៃតំណឹងខ្សែដែលទ្រជើង

(ខ) តើកម្លាំងដែលមានទាញជើងទៅស្តាំតាមអក្សដេកស្មើប៉ុន្មាន?



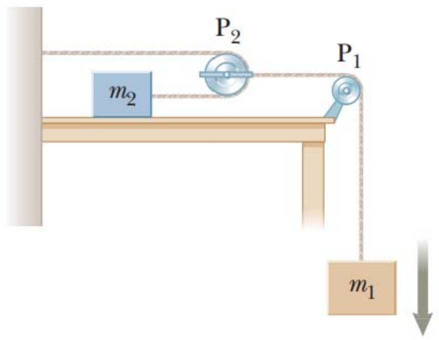
កិច្ចការក្រុម

10. ដុំម៉ាស m_1 ត្រូវបានភ្ជួរដោយខ្សែដែលឆ្លងកាត់រ៉កស្រាល P_1 មួយ (ដូចរូប)។ មានខ្សែមួយទៀតត្រូវបានភ្ជាប់ទៅនឹងរ៉ក P_2 ។ ខ្សែទីពីរដែលឆ្លងកាត់រ៉កទីពីរ ចុងម្ខាងរបស់វាត្រូវបានចងភ្ជាប់ទៅនឹងជញ្ជាំង ហើយម្ខាងទៀតភ្ជាប់ទៅនឹងដុំម៉ាស m_2 ដែលផ្លាស់ទីលើផ្ទៃមិនកកិត។

(ក) បើសំទុះ a_1 និង a_2 ជាសំទុះរៀងគ្នានៃម៉ាស m_1 និង m_2 ចូររកទំនាក់ទំនងរវាងសំទុះទាំងពីរ។

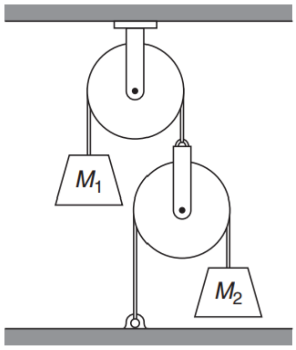
(ខ) រកតំនឹងនៃខ្សែទាំងពីរ

(គ) សំទុះ a_1 និង a_2 ជាអនុគមន៍នៃ m_1, m_2 និង g



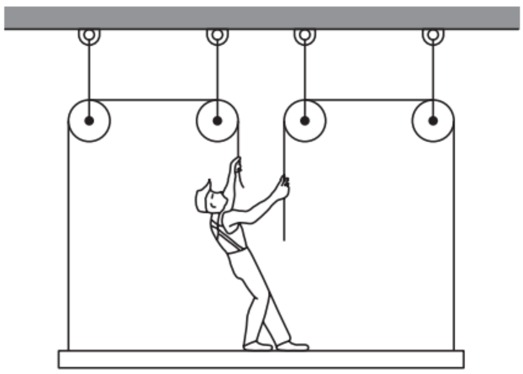
កិច្ចការក្រុម

11. ម៉ាស M_1 និង M_2 ត្រូវបានចងភ្ជាប់ក្នុងប្រព័ន្ធរ៉កនិងខ្សែ (ដូចរូប)។ ខ្សែមិនយឺតនិងមិនគិតម៉ាស ហើយរ៉កមិនគិតម៉ាសនិងកកិត។ រកសំទុះនៃដុំម៉ាស M_1។



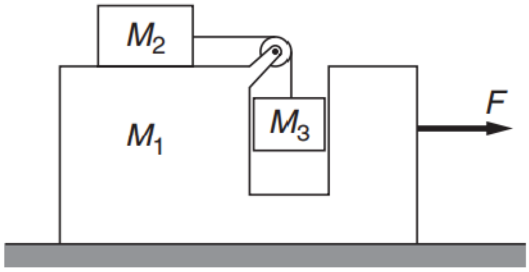
កិច្ចការក្រុម

12. បុរសមានម៉ាស M ឈរលើរបារដែលមានម៉ាស m បានទាញខ្លួនឯងឡើងអោយឡើងលើ។ គាត់បានទាញខ្សែពួរនីមួយៗដោយកម្លាំង F ហើយគាត់ក៏ស្ទុះទៅលើដោយសំទុះ a។ រកសំទុះ a របស់គាត់ជាអនុគមន៍នៃតំណឹងខ្សែ ម៉ាស និងសំទុះទំនាញ



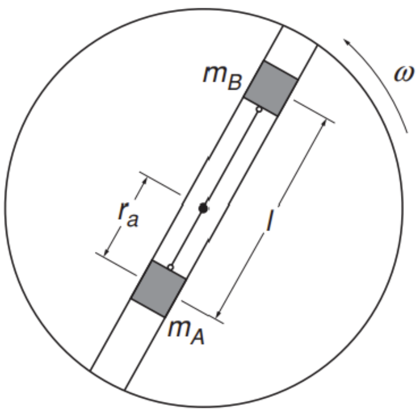
កិច្ចការក្រុម

13. ផ្អែកលើរូបខាងក្រោមចូររកកម្លាំង F ដែលមានអំពើលើម៉ាស .... ដើម្បីធ្វើអោយម៉ាស....... មិនធ្លាក់ចុះ និងមិនផ្លាស់ទីទៅលើ។



កិច្ចការក្រុម

14. ថាសមួយវិលដោយល្បឿនមុំថេរ . (ដូចរូប)។ ម៉ាសពីរ m_A និង m_B រំកិលដោយគញមានកកិតកាត់តាមផ្ចិតនៃថាស។ ម៉ាសទាំងពីរត្រូវបានភ្ជាប់គ្នាដោយខ្សែស្រាលមួយដែលមានប្រវែង l ដែលនៅខណៈដើមម៉ាស m_A ស្ថិតនៅចម្ងាយ r_a ពីផ្ចិត។ នៅខណៈ $t = 0$ ដុំត្រូវបានព្រលែងហើយម៉ាសអាចផ្លាស់ទីដោយសេរី។ រកសំទុះ $\ddot{r}_a$ នៅពេលគេព្រលែងម៉ាសភ្លាមៗ។

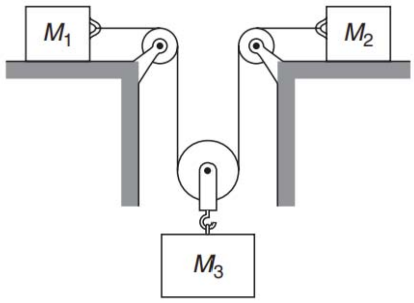


កិច្ចការក្រុម

15. ម៉ាសៗ ដូចបង្ហាញក្នុងរូប។ ចូរ

(ក) គូរដ្យាក្រាមកម្លាំង

(ខ) រកទំនាក់ទំនងសំទុះនៃម៉ាសទាំងបី



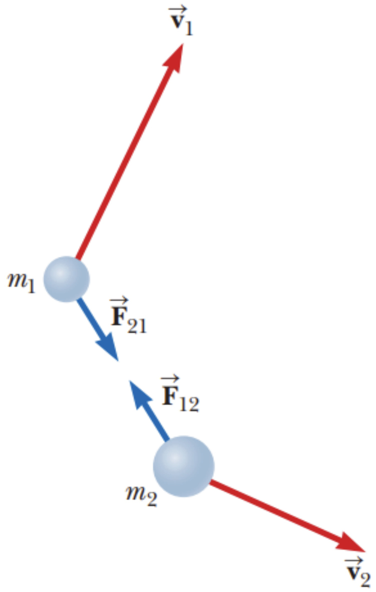
បរិមាណចលនាលីនេអ៊ែនិងខន្លិច

បរិមាណចលនាលីនេអ៊ែ

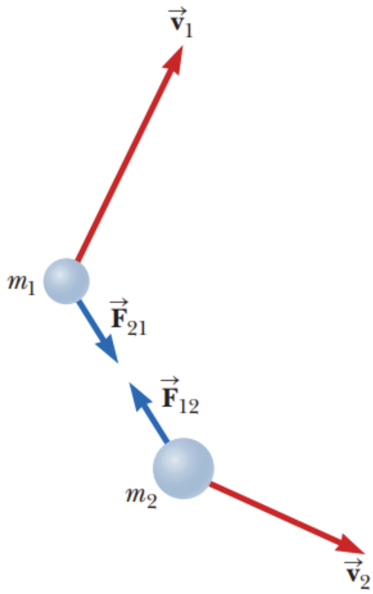
ចេញពីច្បាប់ទី៣យើងមាន

$$\vec{F}_{21} + \vec{F}_{12} = 0$$

ចូរបង្ហាញថា បរិមាណចលនារក្សា។ ចុះអ្នកសង្កេតដែលផ្លាស់ទីដោយល្បឿនថេរនឹងសង្កេតឃើញថាបរិមាណចលនារក្សាឬមិនរក្សា។ ចុះអ្នកសង្កេតដែលផ្លាស់ទីដោយវិចទ័រល្បឿនប្រែប្រួល?



បរិមាណចលនាលីនេអ៊ែ



បរិមាណចលនារក្សានៅក្នុងប្រព័ន្ធត្រមោចក្នុងចន្លោះពេលណាមួយមានន័យថា

$$\Delta\vec{p}_{\text{tot}} = 0$$

ឬ

$$\vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i} = \vec{p}_{1f} + \vec{p}_{2f}$$

បរិមាណចលនាលីនេអ៊ែ៖ ឧទាហរណ៍

អ្នកបាញ់ព្រួញមានម៉ាស 60kg ម្នាក់ឈរនៅស្មៀមលើផ្ទៃដែលគ្មានកកិតហើយបាញ់ព្រួញដែលមានម៉ាស 0.030 kg តាមអក្សដេកដោយល្បឿន 85 m/s (ដូចរូប)។ តើអ្នកបាញ់ព្រួញផ្លាស់ទីដោយរិចទ័រល្បឿនប៉ុន្មានបន្ទាប់ពីបាញ់ព្រួញ?

$$\Delta\vec{\mathbf{p}} = 0 \quad \rightarrow \quad \vec{\mathbf{p}}_f - \vec{\mathbf{p}}_i = 0$$

$$\vec{\mathbf{p}}_f = \vec{\mathbf{p}}_i \quad \rightarrow \quad m_1\vec{\mathbf{v}}_{1f} + m_2\vec{\mathbf{v}}_{2f} = 0$$

$$\vec{\mathbf{v}}_{1f} = -\frac{m_2}{m_1}\vec{\mathbf{v}}_{2f} = -\left(\frac{0.030\text{ kg}}{60\text{ kg}}\right)(85\,\hat{\mathbf{i}}\text{ m/s}) = \boxed{-0.042\,\hat{\mathbf{i}}\text{ m/s}}$$

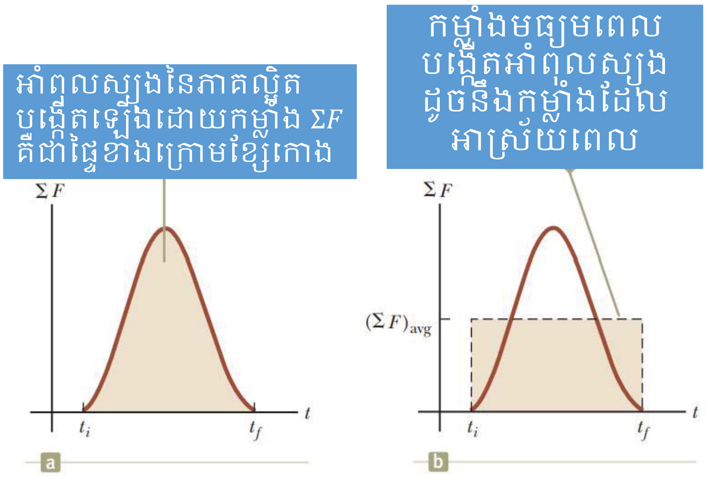
បរិមាណចលនាលីនេអ៊ែរ៖ ករណីប្រព័ន្ធមិនត្រមោច

$$d\vec{\mathbf{p}} = \sum \vec{\mathbf{F}}\, dt$$

$$\Delta\vec{\mathbf{p}} = \vec{\mathbf{p}}_f - \vec{\mathbf{p}}_i = \int_{t_i}^{t_f} \sum \vec{\mathbf{F}}\, dt$$

$$\vec{\mathbf{I}} \equiv \int_{t_i}^{t_f} \sum \vec{\mathbf{F}}\, dt$$

$$\left(\sum \vec{\mathbf{F}}\right)_{\text{avg}} \equiv \frac{1}{\Delta t}\int_{t_i}^{t_f} \sum \vec{\mathbf{F}}\, dt$$



បរិមាណចលនាលីនេអ៊ែរ៖ ករណីប្រព័ន្ធមិនត្រមោច

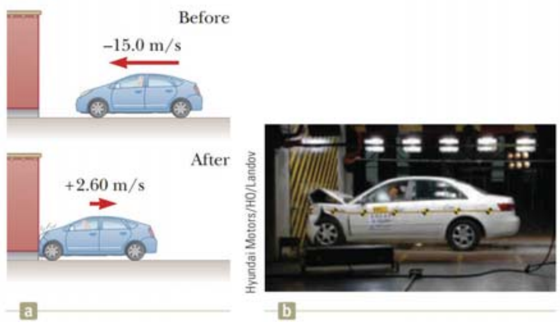
ក្នុងការធ្វើតេស្តសុវត្ថិភាពយានយន្តដែលមានម៉ាស 1500 kg រថយន្តត្រូវបានបើទៅបុកជាមួយនឹងជញ្ជាំង (ដូចរូប)។ ល្បឿនមុននឹងក្រោយពេលទង្គិចនៃឡានគឺត្រូវបានកំណត់ដូចបង្ហាក្នុងរូប។ បើការទង្គិចកើតឡើងក្នុងរយៈពេល 0.150 s ចូររកអាំពុលស្យុងដែលកើតឡើងដោយការទង្គិចនេះ និងរកកម្លំងមធ្យមសរុបដែលមានអំពើលើឡាន។ បើឡានមិនខ្ទាតហើយឡានប្រើពេលដដែលពីផ្លាស់ទីរហូតដល់នៅស្ងៀម តើអាំពុលស្យុងស្មើប៉ុន្មាន? តើលទ្ធផលនេះសមហេតុផលឬទេ? ចូរពន្យល់។

$$\vec{\mathbf{I}} = \Delta\vec{\mathbf{p}} = \vec{\mathbf{p}}_f - \vec{\mathbf{p}}_i = m\vec{\mathbf{v}}_f - m\vec{\mathbf{v}}_i = m(\vec{\mathbf{v}}_f - \vec{\mathbf{v}}_i)$$

$$= (1\,500\text{ kg})[2.60\hat{\mathbf{i}}\text{ m/s} - (-15.0\hat{\mathbf{i}}\text{ m/s})] = \boxed{2.64 \times 10^4\hat{\mathbf{i}}\text{ kg}\cdot\text{m/s}}$$

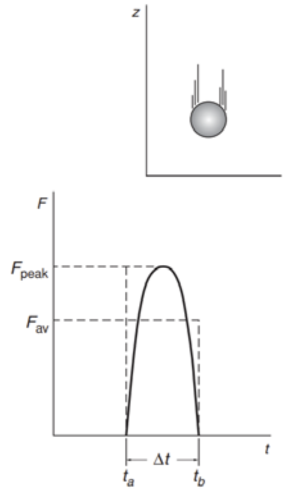
$$\left(\sum \vec{\mathbf{F}}\right)_{\text{avg}} = \frac{\vec{\mathbf{I}}}{\Delta t} = \frac{2.64 \times 10^4\hat{\mathbf{i}}\text{ kg}\cdot\text{m/s}}{0.150\text{ s}} = \boxed{1.76 \times 10^5\hat{\mathbf{i}}\text{ N}}$$

$$\vec{\mathbf{I}} = \Delta\vec{\mathbf{p}} = \vec{\mathbf{p}}_f - \vec{\mathbf{p}}_i = 0 - (1\,500\text{ kg})(-15.0\hat{\mathbf{i}}\text{ m/s}) = 2.25 \times 10^4\hat{\mathbf{i}}\text{ kg}\cdot\text{m/s}$$



បរិមាណចលនាលីនេអ៊ែរ៖ ករណីប្រព័ន្ធមិនត្រូវមោច

បាល់កៅស៊ូមួយមានម៉ាស 0.2 kg ធ្លាក់លើដី។ បាល់បានប៉ះជាមួយនឹងដីដោយល្បឿន 8 m/s ហើយបានលោតឡើងលើដោយល្បឿនដដែល។ កាមេរ៉ាល្បឿនលឿនបានបង្ហាញថាបាល់ប៉ះជាមួយនឹងដីក្នុងរយៈពេល $\Delta t = 10^{-3}$s។ ពិពណ៌នាពីកម្លាំងអាស្រ័យពេលដូចដែលបានក្នុងក្រាប (ចូរសង្កេតមើលថាតើកម្លាំងនេះមានរាប់បញ្ចូលកម្លាំងទំនាញឬមិនមាន)។ ចូរគណនាកម្លាំងសរុបមធ្យមដែលមានអំពើលើដី។



$$\vec{F}_{av}\Delta t = \int_{t_a}^{t_b} \vec{F}dt = \Delta\vec{p} = \vec{p}_b - \vec{p}_a = 3.2\,\hat{\mathrm{k}}\,\mathrm{kg}\cdot\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

$$\Rightarrow F_{av} = \frac{3.2\,\hat{k}\,\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m/s}}{10^{-3}\mathrm{s}} = 3200\,\hat{\mathrm{k}}\,\mathrm{N}$$

ទង្គិចស្ទក់និងខ្ទាត

$$\Delta\vec{\mathbf{p}} = 0 \quad \rightarrow \quad \vec{\mathbf{p}}_i = \vec{\mathbf{p}}_f \quad \rightarrow \quad m_1\vec{\mathbf{v}}_{1i} + m_2\vec{\mathbf{v}}_{2i} = (m_1 + m_2)\vec{\mathbf{v}}_f$$

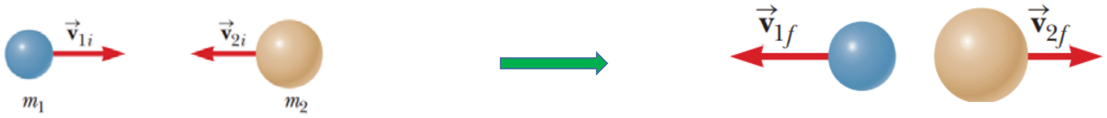
$$\vec{\mathbf{v}}_f = \frac{m_1\vec{\mathbf{v}}_{1i} + m_2\vec{\mathbf{v}}_{2i}}{m_1 + m_2}$$

ថាមពលស៊ីនេទិចមិនរក្សាក្នុងករណីទង្គិចស្ទក់

ទង្គិចស្ទក់និងខ្ទាត

$$p_i = p_f \quad \rightarrow \quad m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

$$K_i = K_f \quad \rightarrow \quad \tfrac{1}{2} m_1 {v_{1i}}^2 + \tfrac{1}{2} m_2 {v_{2i}}^2 = \tfrac{1}{2} m_1 {v_{1f}}^2 + \tfrac{1}{2} m_2 {v_{2f}}^2$$



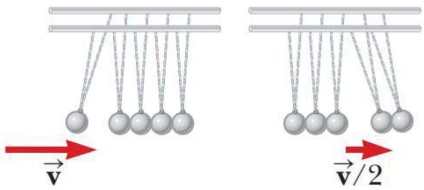
ទង្គិចខ្ទាត៖ ថាមពលស៊ីនេទិច និងបរិមាណចលនារក្សា

ដោយប្រើសមីការទាំងពីខាងលើ ចូរបង្ហាញថា

$$\begin{cases} v_{1f} = \left(\dfrac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right) v_{1i} + \left(\dfrac{2m_2}{m_1 + m_2}\right) v_{2i} \\ v_{2f} = \left(\dfrac{2m_1}{m_1 + m_2}\right) v_{1i} + \left(\dfrac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right) v_{2i} \end{cases}$$

ទង្គិចស្ទក់និងខ្ទាត

ចូរបង្ហាញថាបាតុភូតដូចរូបនេះគឺមិនអាចទៅរួចដោយប្រើប្រាស់លក្ខណៈនៃទង្គិចខ្ទាត (បាល់ទាំងពីរមិនបិតជាប់គ្នានោះទេ)។ បើបាល់ទី៤និង៥បិតជាប់គ្នាវិញ តើល្បឿននៃបាល់ទីមួយនិងបាល់ទី៤និង៥ស្មើប៉ុន្មានធៀបនឹងល្បឿនដើមនៃបាល់ទី១?



$$m(v/2) + m(v/2) = mv$$

$$K_i = \tfrac{1}{2} m v^2$$

$$K_f = \tfrac{1}{2} m (v/2)^2 + \tfrac{1}{2} m (v/2)^2 = \tfrac{1}{4} m v^2$$

$$p_i = p_f$$

$$m v_{1i} = m v_{1f} + 2 m v_{4,5}$$

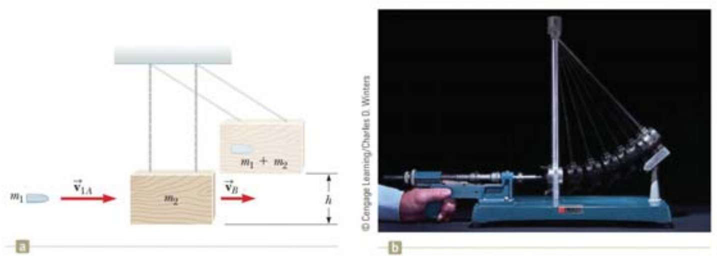
$$K_i = K_f$$

$$\tfrac{1}{2} m {v_{1i}}^2 = \tfrac{1}{2} m {v_{1f}}^2 + \tfrac{1}{2}(2m) {v_{4,5}}^2$$

$$v_{4,5} = \tfrac{2}{3} v_{1i} \qquad v_{1f} = -\tfrac{1}{3} v_{1i}$$

ទង្គិចស្អិតនិងខ្ទាត

ប៉ោលទោល (ដូចរូប) មួយត្រូវបានប្រើដើម្បីធ្វើជាឧបករណ៍ពិសោធន៍វាស់ល្បឿននៃគ្រាប់កាំភ្លើង។ គ្រាប់ដែលមានម៉ាស m_1 ត្រូវបានបាញ់ចូលក្នុងដុំម៉ាសឈើដែលមានម៉ាស m_2 ដែលត្រូវបានព្យួរដោយខ្សែស្រាលមួយ។ បន្ទាប់ពីគ្រាប់ផ្ទុះចូលក្នុងដុំឈើ វាបានយោលដល់កំពស់ h។ រកល្បឿននៃគ្រាប់កាំភ្លើង។ ចំណាំ៖ $\Delta K + \Delta U = 0$



$$v_B = \frac{m_1 v_{1A}}{m_1 + m_2}$$

$$K_B = \tfrac{1}{2}(m_1 + m_2)v_B^2 \quad \Rightarrow \quad K_B = \frac{m_1^2 v_{1A}^2}{2(m_1 + m_2)}$$

$$\Delta K + \Delta U = 0 \quad \rightarrow \quad (K_C - K_B) + (U_C - U_B) = 0$$

$$\left(0 - \frac{m_1^2 v_{1A}^2}{2(m_1 + m_2)}\right) + [(m_1 + m_2)gh - 0] = 0$$

$$v_{1A} = \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1}\right)\sqrt{2gh}$$

ទង្គិចក្នុងពីរវិមាត្រ

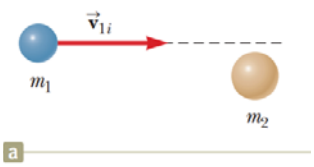
$$m_1 v_{1ix} + m_2 v_{2ix} = m_1 v_{1fx} + m_2 v_{2fx}$$

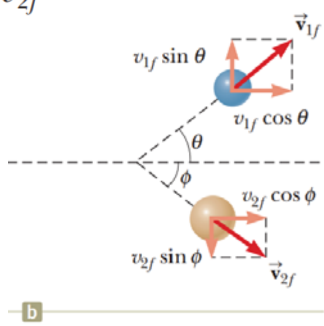
$$m_1 v_{1iy} + m_2 v_{2iy} = m_1 v_{1fy} + m_2 v_{2fy}$$

$$\Delta p_x = 0 \quad \rightarrow \quad p_{ix} = p_{fx} \quad \rightarrow \quad m_1 v_{1i} = m_1 v_{1f} \cos\theta + m_2 v_{2f} \cos\phi$$

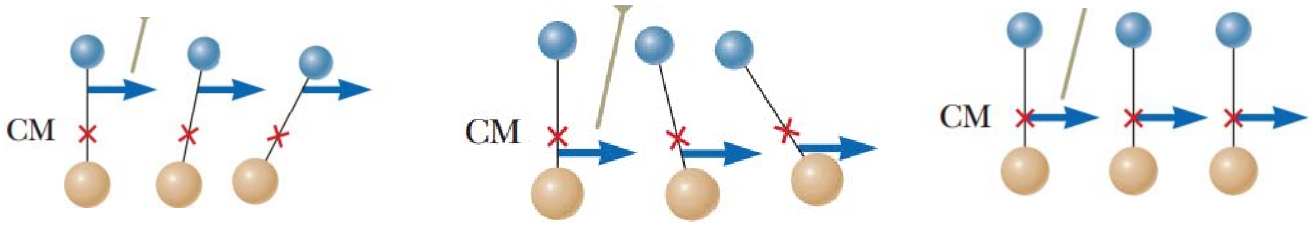
$$\Delta p_y = 0 \quad \rightarrow \quad p_{iy} = p_{fy} \quad \rightarrow \quad 0 = m_1 v_{1f} \sin\theta - m_2 v_{2f} \sin\phi$$

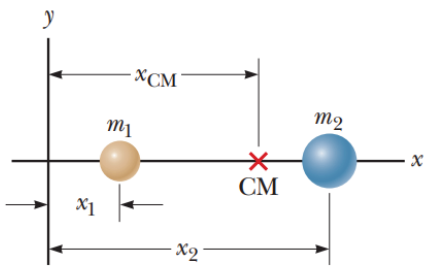
$$K_i = K_f \quad \rightarrow \quad \tfrac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 = \tfrac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \tfrac{1}{2} m_2 v_{2f}^2$$





ផ្ចិតម៉ាស





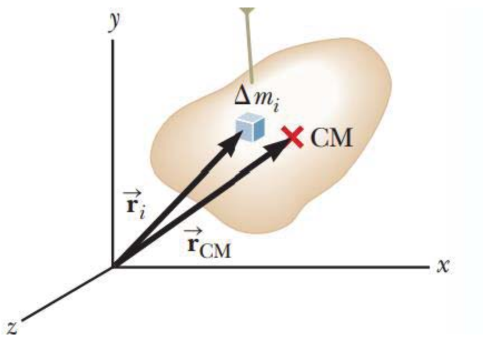
$$x_{CM} \equiv \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + \cdots + m_nx_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \cdots + m_n} = \frac{\sum_i m_ix_i}{\sum_i m_i} = \frac{\sum_i m_ix_i}{M} = \frac{1}{M}\sum_i m_ix_i$$

$$y_{CM} \equiv \frac{1}{M}\sum_i m_iy_i \quad \text{and} \quad z_{CM} \equiv \frac{1}{M}\sum_i m_iz_i$$

$$\vec{\mathbf{r}}_{CM} = x_{CM}\hat{\mathbf{i}} + y_{CM}\hat{\mathbf{j}} + z_{CM}\hat{\mathbf{k}} = \frac{1}{M}\sum_i m_ix_i\hat{\mathbf{i}} + \frac{1}{M}\sum_i m_iy_i\hat{\mathbf{j}} + \frac{1}{M}\sum_i m_iz_i\hat{\mathbf{k}}$$

$$\vec{\mathbf{r}}_{CM} \equiv \frac{1}{M}\sum_i m_i\vec{\mathbf{r}}_i$$

ផ្ចិតម៉ាស

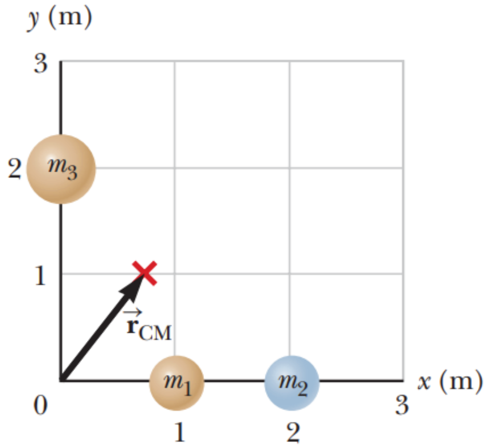


$$x_{CM} = \lim_{\Delta m_i \to 0} \frac{1}{M}\sum_i x_i\,\Delta m_i = \frac{1}{M}\int x\,dm$$

$$y_{CM} = \frac{1}{M}\int y\,dm \quad \text{and} \quad z_{CM} = \frac{1}{M}\int z\,dm$$

$$\boxed{\vec{\mathbf{r}}_{CM} = \frac{1}{M}\int \vec{\mathbf{r}}\,dm}$$

ផ្ចិតម៉ាស៖ ឧទាហរណ៍



$$x_{CM} = \frac{1}{M}\sum_i m_i x_i = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$= \frac{(1.0\text{ kg})(1.0\text{ m}) + (1.0\text{ kg})(2.0\text{ m}) + (2.0\text{ kg})(0)}{1.0\text{ kg} + 1.0\text{ kg} + 2.0\text{ kg}} = \frac{3.0\text{ kg}\cdot\text{m}}{4.0\text{ kg}} = 0.75\text{ m}$$

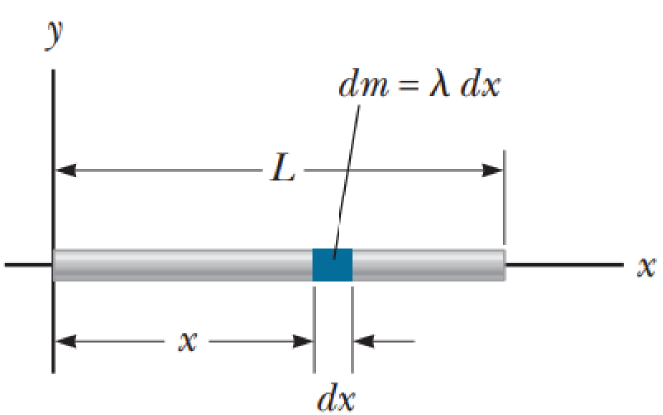
$$y_{CM} = \frac{1}{M}\sum_i m_i y_i = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + m_3y_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$= \frac{(1.0\text{ kg})(0) + (1.0\text{ kg})(0) + (2.0\text{ kg})(2.0\text{ m})}{4.0\text{ kg}} = \frac{4.0\text{ kg}\cdot\text{m}}{4.0\text{ kg}} = 1.0\text{ m}$$

$$\vec{\mathbf{r}}_{CM} \equiv x_{CM}\hat{\mathbf{i}} + y_{CM}\hat{\mathbf{j}} = \boxed{(0.75\hat{\mathbf{i}} + 1.0\hat{\mathbf{j}})\text{ m}}$$

ផ្ចិតម៉ាសរបស់របាប្រវែង L

(ក) បង្ហាញថាផ្ចិតម៉ាសនៃរបាស្មើសាច់នេះគឺស្ថិតនៅចំកណ្តាលនៃរបា។
(ខ) រកទីតាំងផ្ចិតម៉ាសជាអនុគមន៍នៃ L បើរបាមិនស្មើសាច់ហើយមានដង់ស៊ីតេប្រវែង $\lambda = \alpha x$។



$$x_{CM} = \frac{1}{M}\int x\,dm = \frac{1}{M}\int_0^L x\lambda\,dx = \frac{\lambda}{M}\frac{x^2}{2}\bigg|_0^L = \frac{\lambda L^2}{2M}$$

$$x_{CM} = \frac{L^2}{2M}\left(\frac{M}{L}\right) = \boxed{\tfrac{1}{2}L}$$

$$x_{CM} = \frac{1}{M}\int x\,dm = \frac{1}{M}\int_0^L x\lambda\,dx = \frac{1}{M}\int_0^L x\alpha x\,dx$$

$$= \frac{\alpha}{M}\int_0^L x^2\,dx = \frac{\alpha L^3}{3M}$$

$$M = \int dm = \int_0^L \lambda\,dx = \int_0^L \alpha x\,dx = \frac{\alpha L^2}{2}$$

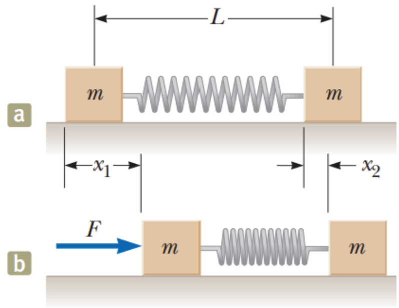
$$x_{CM} = \frac{\alpha L^3}{3\alpha L^2/2} = \boxed{\tfrac{2}{3}L}$$

ផ្ចិតម៉ាសរបស់របារប្រវែង L

រ៉ូស័រមិនគិតម៉ាស ប្រវែងរ៉ូស័រក្នុងទ្រង់ទ្រាយដើមស្មើ L ។ នៅចន្លោះពេល Δt កម្លាំងថេរដែលមានទំហំ F មានអំពើលើដុំម៉ាសខាងឆ្វេងធ្វើអោយវាផ្លាស់ទីបានចម្ងាយ x_1 (ដូចរូប)។ ក្នុងចន្លោះពេលនេះ ដុំម៉ាសខាងស្តាំផ្លាស់ទីបានចម្ងាយ x_2។ នៅចុងនៃចន្លោះពេលនេះកម្លាំងលែងមានអំពើលើដុំម៉ាសខាងឆ្វេងភ្លាមៗ។

(ក) គណនាល្បឿនផ្ចិតម៉ាស $\vec{v}_{CM}$ នៃប្រព័ន្ធ។

(ខ) រកថាមពលសរុបនៃលំយោលនៃរ៉ូស័រជុំវិញផ្ចិតម៉ាស។



$$\Delta p_x = I_x \quad \rightarrow \quad (2m)(v_{CM} - 0) = F\Delta t$$

$$2mv_{CM} = F\Delta t$$

$$\Delta t = \frac{\frac{1}{2}(x_1 + x_2)}{v_{CM,avg}} \xrightarrow{\text{ស្មុះស្មើ}} \Delta t = \frac{\frac{1}{2}(x_1 + x_2)}{\frac{1}{2}(0 + v_{CM})} = \frac{(x_1 + x_2)}{v_{CM}}$$

$$\Rightarrow \quad 2mv_{CM} = F\frac{(x_1 + x_2)}{v_{CM}}$$

$$v_{CM} = \boxed{\sqrt{F\frac{(x_1 + x_2)}{2m}}}$$

បំរែបំរួលថាមពលមេកានិចនៃប្រព័ន្ធមិនត្រមោច

$$\Delta K_{CM} + \Delta K_{vib} + \Delta U_{vib} = W$$

ថាមពលមេកានិចនៅខណៈដើមស្មើសូន្យ

$$K_{CM} + E_{vib} = W = Fx_1$$

ថាមពលសរុបនៃរ៉ូស័រជំវិញផ្ចិតម៉ាសគឺ

$$E_{vib} = Fx_1 - K_{CM} = Fx_1 - \tfrac{1}{2}(2m)v_{CM}^2 = \boxed{F\frac{(x_1 - x_2)}{2}}$$

កិច្ចការត្រូវអនុវត្តដើម្បីសម្រេចលទ្ធផលសិក្សារំពឹងទុក៖

- ក្រោយពីបញ្ចប់ការសិក្សាមុខវិជ្ជានេះដោយជោគជ័យអ្នកសិក្សានឹង៖
    ១. កិច្ចការទី ១៖............
    ២. កិច្ចការទី ២៖............
    ៣. កិច្ចការទី ៣៖............
    ៤. កិច្ចការទី ៤៖............
    ៥. កិច្ចការទី ៥៖............