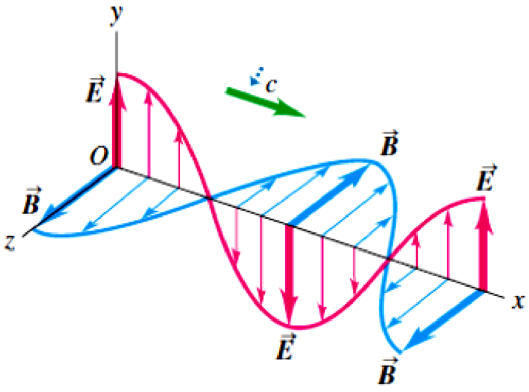
រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច



រៀបរៀងដោយ៖ គាំទ្រថវិកាលើការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អដោយ៖

“មូលនិធិការស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍”

២០២២

គណៈកម្មការនិពន្ធ៖ លោក សៀង ប៊ុនធឿន លោក សន សុឃៀម លោក ម៉ុល ពិសី

គណៈកម្មការរចនាទំព័រ៖ លោកស្រី សំបាត់ អ៊ាត លោកស្រី ឈុំ ពៅ

គណៈកម្មការត្រួតពិនិត្យ៖

១. លោកស្រី ប៉េង ទិត្យសុទ្ធី ប្រធាន
២. លោកស្រី ហួ ឃីម សមាជិក
៣. លោក ស្រ៊ុន សៀងហួរ សមាជិក

បុព្វកថា

ដំណើរអភិវឌ្ឍនៃព្រះរាជាណាចក្រកម្ពុជានៅក្នុងយុគសម័យទំនើបនេះ ជាមេរៀនដ៏ជោគជ័យបំផុតមួយដែលចាប់ឫសគល់ចេញពីការបញ្ចប់របបប្រល័យពូជសាសន៍ ការបញ្ចប់សង្គ្រាម ការផ្សះផ្សារជាតិ ការកសាងមូលដ្ឋានរឹងមាំនៃសន្តិភាពនិងស្ថេរភាព និងការអភិវឌ្ឍសេដ្ឋកិច្ច។ នៅក្រោយពេលដែលសន្តិភាពត្រូវបានកើតឡើងដោយបរិបូរណ៍នៅឆ្នាំ១៩៩៨ កម្ពុជាទទួលកំណើនសេដ្ឋកិច្ចខ្ពស់ គឺប្រមាណ៨%ក្នុងមួយឆ្នាំ។ លើសពីនេះទៀតអត្រានៃភាពក្រីក្រត្រូវបានកាត់បន្ថយពីប្រមាណ៥៣% នៅឆ្នាំ២០០៤មកនៅទាបជាង១០% នៅឆ្នាំ២០១៩។ ដំណើរនៃការអភិវឌ្ឍជាតិជាសកម្មភាពដែលបន្តទៅមុខជាប់ជានិច្ច ហើយគោលនយោបាយថ្មីៗដែលមានលក្ខណៈអន្តរវិស័យគ្រប់ដណ្តប់ ក៏កំពុងលេចរូបរាងឡើងដើម្បីតម្រង់ទិសកម្ពុជាឆ្ពោះទៅកាន់ប្រទេសមានប្រាក់ចំណូលមធ្យមកម្រិតខ្ពស់នៅឆ្នាំ ២០៣០ និងឈានឡើងជាប្រទេសមានប្រាក់ចំណូលខ្ពស់ នៅឆ្នាំ២០៥០។ ការប្រែប្រួលឆាប់រហ័សនៃនិម្មាបនកម្មពិភពលោក និងតំបន់រួមទាំងទំនាក់ទំនងភូមិសាស្ត្រនយោបាយ បានផ្តល់កាលានុវត្តភាពសម្រាប់ការអភិវឌ្ឍឧស្សាហកម្មនៅកម្ពុជា ដែលត្រូវបានរាជរដ្ឋាភិបាលចាត់ទុកជាមូលដ្ឋានគ្រឹះនៃកំណើនសេដ្ឋកិច្ចកម្ពុជា។ រាជរដ្ឋាភិបាលកម្ពុជាបានកំពុងបន្តពង្រឹង និងអភិវឌ្ឍវិស័យអប់រំឆ្ពោះទៅរកការស្រាវជ្រាវ និងនវានុវត្តន៍ដើម្បីពង្រឹងសមត្ថភាពនិងជំនាញរបស់ធនធានមនុស្សនៅកម្ពុជាឱ្យស្របទៅនឹងបរិបទថ្មីនៃការអភិវឌ្ឍ ជាពិសេសការពង្រឹងសហគ្រិនភាពក្នុងការរៀបចំម៉ូដែលធុរកិច្ចថ្មីៗ។ ដើម្បីចាប់យកកាលានុវត្តភាពពីបដិវត្តន៍ឧស្សាហកម្មទី៤ និងសេដ្ឋកិច្ចឌីជីថលដែលកំពុងផុសផុលឡើង ប្រព័ន្ធអេកូឡូហ្ស៊ីដែលបង្កលក្ខណៈអំណោយផលដល់ការបង្កើតថ្មី នវានុវត្តន៍ ការស្រាវជ្រាវ និងអភិវឌ្ឍន៍ ត្រូវតែមានការកែលម្អ។

បណ្តាប្រទេសនៅទ្វីបអាស៊ីកំពុងនាំមុខក្នុងការវិនិយោគលើការស្រាវជ្រាវនិងអភិវឌ្ឍ ដោយមានភាគហ៊ុនប្រមាណ៤៤% នៃការវិនិយោគទាំងមូលរបស់ពិភពលោក។ ប្រទេសចិនកំពុងបន្តកសាងហេដ្ឋារចនាសម្ព័ន្ធនៃការវិនិយោគលើការស្រាវជ្រាវនិងអភិវឌ្ឍ ក៏ដូចជាសមត្ថភាពមនុស្ស។ ផ្ទុយទៅវិញ ប្រទេសនៅទ្វីបអាមេរិកខាងត្បូង និងអាហ្វ្រិក កំពុងស្ថិតនៅឆ្ងាយពីការវិនិយោគនេះ ហើយជាលទ្ធផល ប្រទេសទាំងនោះក៏ពុំមានកំណើនសេដ្ឋកិច្ចគួរឱ្យកត់សម្គាល់ដែរ។ ទុនវិនិយោគសរុបលើការស្រាវជ្រាវនិងអភិវឌ្ឍរបស់ប្រទេសនៅទ្វីបអាមេរិកខាងត្បូងនិងអាហ្វ្រិក មានប្រមាណ៥%នៃការវិនិយោគទាំងមូលរបស់ពិភពលោក ក្នុងពេលដែលតំបន់ទាំង២នេះមានប្រជាជនប្រមាណ២០%នៃប្រជាជនពិភពលោក។ ប្រទេសចំនួន៦ដែលមានលំដាប់ខ្ពស់ជាងគេនៅក្នុងការវិនិយោគលើការស្រាវជ្រាវនិងអភិវឌ្ឍ រួមមានសហរដ្ឋអាមេរិក ចិន ជប៉ុន អាល្លឺម៉ង់ ឥណ្ឌា និងកូរ៉េខាងត្បូង ដែលស្មើនឹងប្រមាណ ៧០%នៃទុនវិនិយោគសរុបរបស់ពិភពលោក។

តើចំណេះដឹង ផលិតផល និងសេវាកម្មថ្មីទាំងនេះកើតឡើងពីអ្វី? ហើយកើតឡើងដោយរបៀបណា? ព្រះរាជាណាចក្រកម្ពុជាកំពុងតែកសាងមូលដ្ឋានសម្រាប់ការត្រៀមខ្លួនទទួល និងប្រកួតប្រជែងក្នុងយុគសម័យបដិវត្តឧស្សាហកម្មទី៤ នៅក្នុងសេដ្ឋកិច្ចដែលផ្អែកលើពុទ្ធិ ហើយដែលប្រការនេះ

ចាំបាច់តម្រូវឱ្យពលរដ្ឋកម្ពុជា ត្រូវក្លាយខ្លួនជាពលរដ្ឋឌីជីថល ពលរដ្ឋសកល និងពលរដ្ឋដែលប្រកបដោយការទទួលខុសត្រូវ ដែលមានសមត្ថភាពក្នុងការផលិត ចែកចាយ និងប្រើប្រាស់ពុទ្ធិដើម្បីទទួលមនុញ្ញផល និងរួមចំណែកក្នុងកំណើន។ ធនាគារពិភពលោកបានធ្វើការកត់សម្គាល់តាំងពីឆ្នាំ២០០២ នូវបម្លាស់ប្តូរនៃមូលដ្ឋានសេដ្ឋកិច្ច ពីសេដ្ឋកិច្ចដែលពឹងផ្អែកលើកម្លាំងពលកម្ម និងធនធានអតិកម្ម (Labour and Resource Based Economy) ទៅកាន់សេដ្ឋកិច្ចដែលពឹងផ្អែកលើពុទ្ធិ (Knowledge Based-Economy) ដែលក្នុងន័យនេះ ពុទ្ធិគឺជាគន្លឹះនៃការអភិវឌ្ឍ។ អាស្រ័យហេតុនេះ នៅលើគន្លងដែលកម្ពុជាកំពុងធ្វើដំណើរឆ្ពោះទៅកាន់សេដ្ឋកិច្ចឌីជីថល សង្គមកម្ពុជាត្រូវតែមានសមត្ថភាពក្នុងការផលិត ជ្រើសរើស បន្សាំ បង្កើតមុខរបរ និងប្រើប្រាស់ពុទ្ធិ ដើម្បីរក្សានិរន្តរភាពនៃកំណើន និងកែលម្អជីវភាពរស់នៅ។ សមត្ថភាពទាំងនេះ អាចកើតឡើងនៅពេលពលរដ្ឋកម្ពុជាមានឱកាសក្នុងការទទួលបានបទពិសោធន៍ពីការស្រាវជ្រាវ ការបណ្តុះគំនិតច្នៃប្រឌិត និងការស្វែងរកនវានុវត្តន៍។

កំណែទម្រង់វិស័យអប់រំ គឺជាការត្រួសត្រាយមាគ៌ាសម្រាប់ដំណើរឆ្ពោះទៅកាន់សង្គមប្រកបដោយពុទ្ធិ និងប្រជាពលរដ្ឋប្រកបដោយភាពរស់រវើក។ តាមរយៈមូលដ្ឋានអប់រំ សង្គមប្រកបដោយពុទ្ធិនឹងប្រមូលផ្តុំ បង្កើត និងចែករំលែក ទៅកាន់សមាជិកក្នុងសង្គមនូវសម្បទាអប់រំ ពិសេសគឺពុទ្ធិសម្បទាក្នុងបុព្វហេតុនៃមនុស្សជាតិនិងឧត្តមប្រយោជន៍នៃប្រទេស។ សង្គមប្រកបដោយពុទ្ធិ គឺពុំគ្រាន់តែជាសង្គមដែលសម្បូរព័ត៌មានប៉ុណ្ណោះទេ តែជាសង្គមដែលប្រជាពលរដ្ឋអាចធ្វើបរិវត្តកម្មពីព័ត៌មានទៅជាមូលធនប្រកបដោយប្រសិទ្ធភាព។ ការរីកចម្រើនទៅមុខជាលំដាប់នៃបច្ចេកវិទ្យានិងតំណភ្ជាប់ បានពង្រីកព្រំដែននៃការចូលទៅកាន់ និងការទទួលបានព័ត៌មានជាសកល ហើយដែលក្នុងន័យនេះ ការអប់រំនឹងបន្តវិវត្តទៅមុខនិងមានការផ្លាស់ប្តូរ។ សង្គមមួយដែលមានអំណាន និងរបាប់ជាបុរេលក្ខខណ្ឌនៃជីវភាពប្រចាំថ្ងៃនៃប្រជាពលរដ្ឋ ពេលនោះបំណិននៃអំណាន និពន្ធ និងការគណនាលេខនព្វន្ត គឺជាចលករនៃការរៀនរបស់សិស្ស។ ធាតុដ៏ចម្បងមួយដែលស្ថិតនៅក្នុងការកសាងសង្គមដែលប្រកបដោយពុទ្ធិគឺសៀវភៅសិក្សា ហើយការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សាជាប្រចាំ គឺជានវានុវត្តន៍នៃវិស័យអប់រំដែលនាំទៅរកការសិក្សាពេញមួយជីវិត ការអភិវឌ្ឍសម្បទាអប់រំ និងការចែករំលែកចំណេះដឹង។ មូលដ្ឋានអប់រំ ជាពិសេសគឺគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សាត្រូវមានតួនាទីដែលប្រកបដោយការឆ្លើយតបចំពោះតម្រូវការខាងលើនេះ។ សាស្ត្រាចារ្យ អ្នកស្រាវជ្រាវ និងបុគ្គលិកអប់រំត្រូវបន្តសិក្សាជាប់ជានិច្ច តាមរយៈការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សា ហើយដែលសៀវភៅសិក្សាទាំងនេះនឹងក្លាយជាស្ពាននៃទំនាក់ទំនងរវាងនវានុវត្តន៍នៃបច្ចេកវិទ្យា និងការរៀននិងបង្រៀននៅក្នុងថ្នាក់រៀន។

សង្គមដែលប្រកបពុទ្ធិ ក៏ជាសង្គមដែលបណ្តុះឱ្យមានរចនាសម្ព័ន្ធទន់នៃសេដ្ឋកិច្ចដែលពឹងផ្អែកលើពុទ្ធិដែរ។ ឧទាហរណ៍ជាក់ស្តែងនៃបែបផែននេះរួមមាន Silicon Valley នៃសហរដ្ឋអាមេរិក សួនឧស្សាហកម្មវិស្វកម្មអាកាសយានយន្តនិងយានយន្តនៅទីក្រុង Munich ប្រទេសអាល្លឺម៉ង់ តំបន់ជីវបច្ចេកវិទ្យានៅក្រុង Hyderabad ប្រទេសឥណ្ឌា តំបន់ផលិតគ្រឿងអេឡិចត្រូនិក និងសារគមនាគមន៍ ឌីជីថលនៅទីក្រុង Seoul ប្រទេសកូរ៉េខាងត្បូង ក៏ដូចជាសួនឧស្សាហកម្មថាមពល និងឥន្ធនគីមីសាស្ត្រនៃប្រទេសប្រេស៊ីល ហើយក៏នៅមានទីក្រុងនៃប្រទេសជាច្រើនទៀតនៅលើពិភពលោក

លក្ខណៈសម្បត្តិនៃទីក្រុងទាំងនេះគឺការប្រើប្រាស់និន្នាការនៃការអភិវឌ្ឍដែលជំរុញ និងតម្រង់ទិសដោយចំណេះដឹង ហើយដែលចំណេះដឹងទាំងនោះកើតចេញជាដំបូងពីការវិនិយោគទៅលើគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា ស្ថាប័នស្រាវជ្រាវ មជ្ឈមណ្ឌលឧត្តមភាពនៃជំនាញជាន់ខ្ពស់ ការប្រកួតប្រជែងដោយគុណាធិបតេយ្យ និង ជាពិសេសគឺការបណ្តុះវប្បធម៌អំណាននិងនិពន្ធសៀវភៅ។ ល្បឿននៃការរីកចម្រើនផ្នែកពុទ្ធិ និងបច្ចេកវិទ្យាកំពុងមានសន្ទុះលឿនជាងអ្វីដែលសិស្ស និងនិស្សិតអាចទទួលបានពីគ្រូនៅគ្រឹះស្ថានសិក្សា ដែលធ្វើឱ្យគោលដៅនៃការអប់រំនៅពេលបច្ចុប្បន្ននេះ មានការប្រឈមខ្លាំងជាងពេលណាទាំងអស់។ ឧទាហរណ៍ ក្នុងមួយឆ្នាំ មានសៀវភៅជាង២,២លានចំណងជើង ត្រូវបានសរសេរ និងបោះពុម្ព ដែលក្នុងនោះប្រទេសចិនមាន៤៤០ពាន់ ចំណែកឯសហរដ្ឋអាមេរិកមាន ៣០៥ ពាន់ និងប្រទេសរុស្ស៊ីមាន ១២០ពាន់ចំណងជើង។

ខណៈពេលដែលបច្ចេកវិទ្យាកំពុងរីកចម្រើនជារៀងរាល់ថ្ងៃ មធ្យោបាយសម្រាប់អំណានក៏មានច្រើនជម្រើសសម្រាប់សិស្ស និស្សិត និងសាធារណៈជនរួមមានការអានសៀវភៅ ការអានលើឧបករណ៍អេឡិចត្រូនិក ការអានដោយប្រើទូរសព្ទវៃឆ្លាត និងការអានលើកុំព្យូទ័រ ដែលសុទ្ធសឹងជាមធ្យោបាយសំខាន់ៗដែលនាំអ្នកអានទាំងឡាយឱ្យសម្រេចគោលបំណងអានរបស់ខ្លួន។ ម្យ៉ាងវិញទៀត អំណានដោយប្រើមធ្យោបាយបច្ចេកវិទ្យាទំនើប ចំណាយពេលតិច ងាយស្រួលអាន និងជួយដល់បរិស្ថានមួយកម្រិតទៀត។ នាពេលបច្ចុប្បន្ន សិស្ស និស្សិត និងសាធារណៈជនកម្ពុជាដែលស្រឡាញ់អំណានកំពុងតែប្រើប្រាស់មធ្យោបាយអំណានទាំងនេះ។ បើយើងក្រឡេកមើលទៅប្រទេសជឿនលឿន ទោះបីជាបច្ចេកវិទ្យារីកចម្រើនខ្លាំងយ៉ាងណា អំណានតាមរយៈសៀវភៅនៅតែមានសន្ទុះដដែល។ ម្យ៉ាងវិញទៀត បច្ចេកវិទ្យាអានបែបទំនើបតាមរយៈឧបករណ៍ទំនើប អាស្រ័យលើលទ្ធភាពនៃធនធានអប់រំឌីជីថល និងមាតិកាឌីជីថលគ្រប់គ្រាន់ដែលបានផលិត និងបង្ហោះចែកចាយសម្រាប់អំណាន។

ក្នុងបរិបទកម្ពុជា ជាពិសេសក្នុងបរិការណ៍នៃការផ្ទុះរីករាលដាលនៃជំងឺកូវីដ-១៩ ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា បានជំរុញឱ្យមានបរិវត្តកម្មឌីជីថលនៅក្នុងអេកូស៊ីស្តែមនៃការអប់រំ ជាពិសេសការអប់រំតាមប្រព័ន្ធអេឡិចត្រូនិកនិងការអប់រំពីចម្ងាយដើម្បីលើកកម្ពស់អំណានតាមរយៈការផលិតមាតិកាឌីជីថលដែលមានភាពចំរុះ ការកសាងសមត្ថភាពផ្នែកតំណភ្ជាប់និងវេទិកាឌីជីថល ការពង្រីកវិសាលភាពនៃមជ្ឈមណ្ឌលទិន្នន័យ និងការលើកកម្ពស់គុណភាពនៃការផលិតធនធានអប់រំឌីជីថល គួបផ្សំជាមួយការចែកសន្លឹកកិច្ចការឱ្យសិស្សយកទៅរៀននៅផ្ទះ និងការចុះទៅជួបជាមួយសិស្សជាបណ្តុំនៅតាមសហគមន៍។ ក្នុងន័យលើកកម្ពស់អំណាន និងភាពសម្បូរបែបនៃធនធានសៀវភៅសិក្សាឱ្យកាន់តែមានប្រសិទ្ធភាពនិងភាពសក្តិសិទ្ធិ និងផ្តល់ឱកាសអំណានកាន់តែច្រើនថែមទៀតដល់សិស្សានុសិស្ស និស្សិត និងសាធារណៈជន ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡាលើកទឹកចិត្តនូវចំណុចមួយចំនួនដូចខាងក្រោម៖

1. សាស្ត្រាចារ្យ អ្នកស្រាវជ្រាវ និងបុគ្គលិកអប់រំ សូមបន្តនិងបង្កើនការបោះពុម្ពស្នាដៃបន្ថែមទៀត ដើម្បីធ្វើឱ្យធនធានសម្រាប់អំណានកាន់តែសម្បូរបែប ជាពិសេសធនធានអំណានជាខេមរភាសា

2. គ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា សូមផ្តល់លទ្ធភាពគ្រប់បែបយ៉ាង ដើម្បីឱ្យបុគ្គលិកអប់រំគ្រប់លំដាប់ថ្នាក់ និង និស្សិតគ្រប់កម្រិតសិក្សាអាចចូលរួមអាន និងសិក្សាស្រាវជ្រាវតាមគ្រប់លទ្ធភាពជាមួយធនធានអំណាន ជាពិសេសការរៀបចំឱ្យមានពេលវេលាសម្រាប់សហសិក្សា និងអំណានក្នុងបណ្ណាល័យ
3. សាស្ត្រាចារ្យតាមមុខវិជ្ជា និងអ្នកស្រាវជ្រាវតាមជំនាញឬវិស័យ ត្រូវរៀបចំដំណើរការរៀនបង្រៀន និងស្រាវជ្រាវដែលមានដាក់បញ្ចូលកិច្ចការស្វ័យសិក្សា សហសិក្សា ឬការស្រាវជ្រាវបណ្ណាល័យដែលតម្រូវឱ្យនិស្សិត ត្រូវអាននិងស្រាវជ្រាវជាមួយធនធានអំណាន
4. គ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា និងមជ្ឈមណ្ឌលស្រាវជ្រាវ ត្រូវខិតខំឱ្យអស់លទ្ធភាពក្នុងការបង្កើតបណ្ណាល័យ មជ្ឈមណ្ឌលរក្សាឯកសារ ឬមជ្ឈមណ្ឌលអប់រំឌីជីថល ជាដើម ដើម្បីឱ្យបុគ្គលិកអប់រំគ្រប់លំដាប់ថ្នាក់និងនិស្សិតគ្រប់កម្រិតសិក្សា អាចទទួលបាន និងស្វែងរកប្រភពសម្រាប់អំណាន កាន់តែសម្បូរបែប និងមានភាពបត់បែន ឆ្លើយតបតាមតម្រូវការអ្នកអាន
5. និស្សិតគ្រប់កម្រិតសិក្សា ត្រូវខិតខំនិងចំណាយពេលអាន និងចាត់ទុកវប្បធម៌ និងអកប្បកិរិយាអំណានជាផ្នែកមួយ នៃពេលវេលានិងភាពស៊ីវិល័យនៃជីវិតប្រចាំថ្ងៃ
6. បងប្អូនជនរួមជាតិ ដែលជាមាតាបិតា ឬអ្នកអាណាព្យាបាល សូមជួយជំរុញនិងបង្កលក្ខណៈកាន់តែ ច្រើនថែមទៀត ជាពិសេសការលៃលកចំណាយនៅក្នុងគ្រួសារសម្រាប់ការទិញសម្ភារៈសិក្សា សៀវភៅអាន និងឧបករណ៍សម្រាប់អំណានដល់កូនៗ ដែលចាត់ទុកជាការវិនិយោគមួយដ៏សំខាន់ សម្រាប់ បង្កើនចំណេះដឹង និងអនាគតរបស់ពួកគេ។

ដោយមានការគាំទ្រពីក្រសួងសេដ្ឋកិច្ច និងហិរញ្ញវត្ថុ នៅឆ្នាំ២០២០ ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា បានបង្កើតមូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍ ដែលហៅកាត់ថា“មូលនិធិ ស.គ.ន” និងហៅជាភាសាអង់គ្លេសថា The Research Creativity and Innovation Fund ដែលហៅកាត់ជាភាសាអង់គ្លេសថា “RCI Fund”។ គោលដៅចម្បងនៃមូលនិធិនេះ គឺរួមចំណែកលើកកម្ពស់វប្បធម៌នៃការស្រាវជ្រាវ បំផុសគំនិតច្នៃប្រឌិត និងជំរុញការធ្វើនវានុវត្ត ដើម្បីជាប្រយោជន៍ដល់វិស័យអប់រំ យុវជន និងកីឡា ដែលឆ្លើយតបទៅនឹងទីផ្សារពលកម្ម និងសាកលភាវូបនីយកម្ម។ មូលនិធិ ស.គ.ន បាន សម្រេចកំណត់ប្រធានបទ ជាអាទិភាពសម្រាប់ការគាំទ្រដោយមូលនិធិចំនួន៣ រួមមាន ឌីជីថលនីយកម្មសម្រាប់បដិវត្តឧស្សាហកម្ម៤.០ (Digitalization for IR.4.0) ការស្រាវជ្រាវអនុវត្តលើវិស័យកសិកម្ម (Applied Agricultural Research) និងការស្រាវជ្រាវគរុកោសល្យសតវត្សរ៍ទី២១ (21st Century Pedagogy Research)។

ដោយមានការធ្វើអាទិភាពូបនីយកម្មទៅលើទិសដៅនៃការប្រើប្រាស់ថវិកាមូលនិធិសម្រាប់ឆ្នាំ២០២០ ក្រសួងសេដ្ឋកិច្ច និងហិរញ្ញវត្ថុ និងក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា បានផ្តល់ការគាំទ្រដល់ការ**រៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អ សៀវភៅសិក្សា(Text book) ដែលនឹងត្រូវប្រើប្រាស់នៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា**។ គោលបំណងនៃការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អ សៀវភៅសិក្សានៅកម្រិតឧត្តមសិក្សាគឺដើម្បីបង្កើនបរិមាណ លើកកម្ពស់គុណភាព និងពង្រីកសមធម៌នៃធនធានសិក្សាជាខេមរភាសា ជូន

ដល់និស្សិតដែលកំពុងបន្តការសិក្សា និងត្រៀមខ្លួនធ្វើការស្រាវជ្រាវនៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។ លើសពីនេះទៀតការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សានៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា មានគោលដៅដូចខាងក្រោម ៖

- ឆ្លើយតបជាបន្ទាន់ចំពោះការខ្វះខាតធនធានសិក្សា ដែលជាតម្រូវការសិក្សារបស់និស្សិតនៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា
- លើកកម្ពស់ទំនើបភាវូបនីយកម្ម និងឧត្តមានុវត្តន៍នៃការរៀននិងបង្រៀន និងការស្រាវជ្រាវនៅលើមុខវិជ្ជា កម្មវិធីសិក្សា ឬមុខជំនាញជាក់លាក់
- បង្កើនភាពស៊ីជម្រៅក្នុងការកសាងវិជ្ជាជីវៈនិងបទពិសោធន៍សម្រាប់ឋានៈសាស្ត្រាចារ្យ និងអ្នកស្រាវជ្រាវ
- រួមចំណែកដល់ការកសាងភាពជាសហគមន៍វិជ្ជាជីវៈ ការចែករំលែកបទពិសោធន៍ និងវប្បធម៌នៃការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សានៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។

ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា បានវាយតម្លៃខ្ពស់ចំពោះការបោះជំហានប្រកបដោយមនសិការវិជ្ជាជីវៈនៃគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា និងបុគ្គលិកអប់រំទាំងអស់ ក្នុងការរៀបចំ រៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សា ដើម្បីបង្កើនបរិមាណ លើកកម្ពស់គុណភាព និងពង្រឹងសមធម៌នៃធនធានសិក្សាជាខេមរភាសា ជូននិស្សិតដែលកំពុងបន្តការសិក្សា និងត្រៀមខ្លួនធ្វើការស្រាវជ្រាវនៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។ សៀវភៅសិក្សាជាផ្នែកមួយនៃការទទួលស្គាល់គុណភាពអប់រំនៃគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា និងជាធនធានសិក្សាដែលជាមូលដ្ឋានមួយដ៏សំខាន់ ក្នុងការគាំទ្រដល់ការបង្រៀន និងរៀន ហើយត្រូវមានបរិមាណគ្រប់គ្រាន់ ឆ្លើយតបទៅនឹងកម្មវិធីអប់រំ និងតម្រូវការសិក្សាស្រាវជ្រាវ។ ជាគោលការណ៍ គ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សាទាំងអស់ ត្រូវមានសៀវភៅសិក្សាដែលប្រើជាគោលសម្រាប់មុខវិជ្ជានីមួយៗ។ ចំនួនសៀវភៅសិក្សាដែលគ្រប់គ្រាន់សម្រាប់ការស្រាវជ្រាវ និងការសិក្សារបស់និស្សិត ត្រូវមានយ៉ាងតិចមួយចំណងជើងក្នុងមួយមុខវិជ្ជា ហើយត្រូវតម្កល់យ៉ាងតិច២ច្បាប់ នៅក្នុងបណ្ណាល័យ ឬអាចរកបានតាមប្រព័ន្ធអេឡិចត្រូនិក។ ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា លើកទឹកចិត្តបន្ថែមទៀតជូនដល់គ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សារដ្ឋ និងឯកជនដែលបានស្នើសុំថវិកាមូលនិធិរួច សូមចូលរួមបន្ថែមទៀតដើម្បីបង្កើនចំនួនចំណងជើងសៀវភៅ។ ចំណែកគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សារដ្ឋនិងឯកជនដែលពុំទាន់បានដាក់ពាក្យស្នើសុំ សូមចូលរួមដើម្បីជាគុណប្រយោជន៍ដល់តម្រូវការដ៏ទទូច និងថ្លៃថ្លានៃនិស្សិតកម្ពុជាក្នុងការសិក្សា និងស្រាវជ្រាវនៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។

សេចក្តីបញ្ជាក់

នៃមូលនិធិការស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍

សៀវភៅសិក្សានេះជាលទ្ធផលនៃការស្នើសុំអនុវត្តថវិកាមូលនិធិការស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍ ក្នុងគម្រោង**រៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សា ដែលនឹងត្រូវប្រើប្រាស់នៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។** សៀវភៅសិក្សានេះ ត្រូវបានរៀបរៀង និពន្ធ ឬកែលម្អដោយមានការធានាអះអាងថាជាស្នាដៃរបស់អ្នកនិពន្ធផ្ទាល់ និងបានឆ្លងកាត់ត្រួតពិនិត្យ ផ្តល់យោបល់ និងវាយតម្លៃដោយក្រុមប្រឹក្សាអប់រំ ក្រុមប្រឹក្សាស្រាវជ្រាវ ឬក្រុមប្រឹក្សាដែលមានតម្លៃស្មើនៃគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា និងតាមរយៈកិច្ចសន្យាដែលបានធ្វើឡើង និងដែលបានតម្កល់ទុកនៅមូលនិធិការស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍។ រាល់ខ្លឹមសារ ការបកស្រាយ និងរូបភាព គឺជាជំហរនិងទស្សនៈផ្ទាល់របស់អ្នកនិពន្ធ ហើយ ពុំឆ្លុះបញ្ចាំង ឬជាតំណាងដល់មូលនិធិការស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍ នៃក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា ឡើយ។

មាតិកា

បុព្វកថា i
សេចក្តីបញ្ជាក់ vi
អារម្ភកថា ix
សេចក្តីថ្លែងអំណរគុណ xi
ការបរិយាយលើមុខវិជ្ជា xii
មូលន័យសង្ខេប xiii
មេរៀនទី១៖ សេចក្តីផ្តើមនៃសមីការម៉ាក់ស្វែល 14
១.១.ច្បាប់ហ្គោសសម្រាប់ដែនអគ្គិសនី 14
១.២.ច្បាប់ហ្គោសសម្រាប់ដែនម៉ាញេទិច 14
១.៣.ច្បាប់អំពែ(*Ampere's law)* 14
១.៤.ច្បាប់ផារ៉ាដេ (Faraday's law) 14
មេរៀនទី២៖ អាំងឌុចស្យុងអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច 16
២.១ ពិសោធន៍អំពីបាតុភូតអាំងឌុចស្យុង 17
២.២.ច្បាប់ផារ៉ាដេ 20
២.៣.ទិសដៅនៃកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វី 23
២.៣ ច្បាប់ឡិន Lenz 28
២.៤ កម្លាំងអគ្គិសនីកើតមានពេលរបារផ្លាស់ទី 31
មេរៀនទី៣៖ ច្បាប់អំពែ*(Ampere's Law)* 38
មេរៀនទី៤៖ ចរន្តបម្លាស់ទី 43
៤.១.ដែនអគ្គិសនីអាំងឌ្វី 43
ដែនអគ្គិសនីមិនអេឡិចត្រូស្តាទិច 45
៤.២.ចរន្តអេឌី *Eddy* 47
៤.៣.ចរន្តបម្លាស់ទី 49
មេរៀនទី៥៖ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច 50
៥.១.ចរន្តបំលាស់ទី និងទម្រង់ទូទៅរបស់ច្បាប់អំពែ 50
៥.២ សមីការម៉ាក់ស្វែលនិងរបកគំហើញរបស់លោកហឺត 55

មេរៀនទី៥៖ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច(ត) 57
៥.៣.សមីការម៉ាក់ស្វែល និងរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច 57
អគ្គិសនី ម៉ាញេទិច និងពន្លឺ 58
៥.៤.រលកប្លង់អេឡិចត្រូម៉ាញេទិច និងល្បឿនពន្លឺ 64
មេរៀនទី៥៖ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច(ត) 73
ដេរីវេនៃសមីការរលក.......... 73
៥.៥.រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីត 76
មេរៀនទី៥៖ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច(ត) 82
រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចក្នុងមជ្ឈដ្ឋានមួយ.......... 82
មេរៀនទី៥៖ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច(ត) 84
៥.៦.ថាមពល និងបរិមាណចលនាក្នុងរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច 84
៥.៧.៖ រលកជញ្ជ្រំអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច.......... 90

អារម្ភកថា

សៀវភៅរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចជាឯកសារមួយសំខាន់ក្នុងការផ្ដល់ចំណេះដឹង និងរបៀបដោះស្រាយលំហាត់ដែលទាក់ទងទៅនឹងបាតុភូតធម្មជាតិ ហើយជាពិសេសការអនុវត្តទ្រឹស្ដីមេកានិចចកង់ទិចក្នុងបច្ចេកទេសត្រូវបានគេទទួលស្គាល់ថាមានភាពត្រឹមត្រូវជាទូទៅ សុក្រិតកម្រិតខ្ពស់និងសុពលភាព។ ម្យ៉ាងវិញទៀតវាក៏ជាឯកសារជំនួយដែលអាចបង្កលក្ខណៈងាយស្រួលដល់គ្រូឧទ្ទេស គ្រូបង្រៀន គរុនិស្សិត គរុសិស្ស អាចប្រើដើម្បីបង្រៀន និងសិក្សាស្រាវជ្រាវឱ្យកាន់តែលម្អិតលើផ្នែករូបវិទ្យាផ្សេងទៀតនៅកម្រិតបរិញ្ញាបត្រជាន់ខ្ពស់ឬបណ្ឌិតថែមទៀតផង។

ការអភិវឌ្ឍសៀវភៅនេះដើម្បីចូលរួមក្នុងការបង្កើតឯកសារជាភាសាជាតិ ដែលជាឯកសារសំខាន់សម្រាប់ជាធនធានចំណេះដឹងដែលមិនអាចខ្វះបានសម្រាប់អ្នកសិក្សាជំនាន់ក្រោយ។ យើងបានដឹងហើយថា សៀវភៅជាប្រភពចំណេះដឹងមិនចេះរីងស្ងួត អានច្រើនចម្រើនឡើង។ ដូច្នេះដើម្បីផ្តល់ភាពងាយស្រួលដល់អ្នកសិក្សាជំនាន់ក្រោយ យើងគួរតែខិតខំបង្កើតសៀវភៅជាភាសាជាតិឱ្យកាន់តែសម្បូរបែបគ្រប់មុខវិជ្ជា មានគុណភាព ប្រសិទ្ធភាព ងាយស្រួលប្រើ និងបង្កលក្ខណៈងាយស្រួលយល់ដល់អ្នកសិក្សាស្រាវជ្រាវក្រោយៗបន្តបន្ទាប់ទៀត។

គណៈកម្មការរៀបចំសៀវភៅនេះនឹងសង្ឃឹមយ៉ាងមុតមាំថា សៀវភៅនេះនឹងផ្ដល់មូលដ្ឋានគ្រឹះដ៏មានប្រយោជន៍ សម្រាប់អ្នកសិក្សាស្រាវជ្រាវទទួលបានការបណ្ដុះបណ្ដាល ឬបំប៉នពីវិទ្យាស្ថានគរុកោសល្យរាជធានីភ្នំពេញ យកទៅអនុវត្តក្នុងការបង្រៀនប្រកបដោយគុណភាពល្អប្រសើរ ប្រសិទ្ធភាពខ្ពស់ និងជំរុញឱ្យការអប់រំនៅកម្ពុជាមានការអភិវឌ្ឍន៍ដូចបណ្ដាប្រទេសនានាក្នុងតំបន់ និងលើសកលលោក។

សូមអរគុណ

ថ្ងៃចន្ទ ៩កើត ខែមាឃ ឆ្នាំខាល ចត្វាស័ក ព.ស.២៥៦៦

រាជធានីភ្នំពេញ ថ្ងៃទី ៣០ ខែមករា ឆ្នាំ ២០២៣

អ្នករៀបរៀង

សន សុឃៀម

សេចក្តីថ្លែងអំណរគុណ

ជាការពិតសៀវភៅ «រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច» ដែលលេចចេញជារូបរាងនៅពេលនេះគឺបាន កើតឡើងពីការខិតខំប្រឹងប្រែង និងយកចិត្តទុកដាក់ចូលរួមពីភាគី និងស្ថាប័នពាក់ព័ន្ធជាច្រើន។

ខ្ញុំបាទសូមថ្លែងអំណរគុណយ៉ាងជ្រាលជ្រៅបំផុតដល់ភាគី និងស្ថាប័នពាក់ព័ន្ធទាំងអស់ដូចជា ៖

- ក្រសួងសេដ្ឋកិច្ច និងហិរញ្ញវត្ថុ ដែលបានគាំទ្រយ៉ាងពេញទំហឹងដល់ក្រសួងអប់រំ យុវជន និង កីឡាឱ្យបង្កើតមូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍ ហៅកាត់ថា «មូលនិធិ ស.គ.ន»។

- ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡាដែលបានបង្កើតមូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍ ដែលហៅកាត់ថា «មូលនិធិ ស.គ.ន» ដើម្បីរួមចំណែកលើកកម្ពស់វប្បធម៌នៃការស្រាវជ្រាវ បំផុសគំនិត ច្នៃប្រឌិត និងជំរុញការធ្វើនវានុវត្ត ដើម្បីជាប្រយោជន៍ដល់វិស័យអប់រំ យុវជន និងកីឡា ដែលឆ្លើយតប ទៅនឹងទីផ្សារពលកម្ម និងសាកលភាវូបនីយកម្ម។

- មូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍ ដែលបានគាំទ្រដល់ការរៀបរៀង និពន្ធ និង កែលម្អសៀវភៅសិក្សា (Text book) ដែលនឹងត្រូវប្រើប្រាស់នៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា ដើម្បីបង្កើន បរិមាណ លើកកម្ពស់គុណភាព និងពង្រីកសមធម៌នៃធនធានសិក្សាជាខេមរភាសាជូនដល់និស្សិត ដែលកំពុងបន្តការសិក្សា និងត្រៀមខ្លួនធ្វើការស្រាវជ្រាវនៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។

- ឯកឧត្តមបណ្ឌិត/ឯកឧត្តមនាយកវិទ្យាស្ថានគរុកោសល្យរាជធានីភ្នំពេញដែលបានចាត់តាំងជាគ ណៈកម្មការនិពន្ធចូលរួមការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅនៅកម្រិតឧត្តមសិក្សានេះ។

- នាយកដ្ឋានបណ្តុះបណ្តាលដែលបានចាត់តាំងជាគណៈកម្មការនិពន្ធ និងគណៈកម្មការត្រួត ពិនិត្យ លើស្នាដៃនៃការចូលរួមការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅនៅកម្រិតឧត្តមសិក្សានេះ។

- លោកប្រធាន នាយកដ្ឋានបណ្តុះបណ្តាលដែលព្រមព្រៀងទទួលសិទ្ធិជាតំណាងអ្នករៀបរៀង ក្នុងការចាត់ចែង និងសម្របសម្រួលជាមួយក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា ចុះហត្ថលេខាលើកិច្ចព្រម ព្រៀង និងកិច្ចដំណើរការទូទាត់ថវិកាតាមរយៈការស្នើសុំ និងទទួលថវិកា បោះពុម្ព និងផ្សព្វផ្សាយបន្តនូវ ស្នាដៃរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អរបស់អ្នករៀបរៀងក្នុងការរៀន និងបង្រៀនក្នុងគ្រឹះស្ថានសិក្សា និង ប្រគល់សិទ្ធិស្របតាមការកំណត់នៃកិច្ចព្រមព្រៀង ស្តីពីការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅនៅ កម្រិតឧត្តមសិក្សា ក្រោមការគាំទ្រនៃមូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍។

- គ្រូឧទ្ទេសមុខវិជ្ជារូបវិទ្យានៃវិទ្យាស្ថានគរុកោសល្យរាជធានីភ្នំពេញ ដែលបានផ្តល់មតិកែលម្អលើ ខ្លឹមសារ នៃមេរៀននីមួយៗឱ្យកាន់តែមានភាពសុក្រឹត និងមានលក្ខណៈវិទ្យាសាស្ត្រ។

ខ្ញុំបាទសង្ឃឹមថា សៀវភៅនេះនឹងឆ្លើយតបជាបន្ទាន់ចំពោះការខ្វះខាតធនធានសិក្សា ដែលជា តម្រូវការសិក្សារបស់សិស្ស និស្សិតនៅកម្រិតវិទ្យាល័យ និងឧត្តមសិក្សា។

អារម្ភកថាលើមុខវិជ្ជា

ខ្លឹមសារមេរៀនដែលបានលើកឡើងក្នុងសៀវភៅនេះអាចជួយពង្រឹងចំណេះដឹងគ្រឹះដល់គ្រូឧទ្ទេស គ្រូបង្រៀន គរុនិស្សិត គរុសិស្ស អាចប្រើប្រាស់ផ្ទាល់ខ្លួន និងសម្រាប់សាធារណៈជនទូទៅក្នុងការសិក្សាស្រាវជ្រាវបន្តលើខ្លឹមសាររូបវិទ្យាដែលទាក់ទងទៅនឹងទ្រឹស្តី និងច្បាប់រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចជាពិសេសផ្នែកមេកានិចកង់ទិច ផ្នែកទូរគមនាគមន៍ជាដើម ដែលជាផ្នែកយ៉ាងសំខាន់មួយក្នុងចំណោមផ្នែកផ្សេងៗទៀតក្នុងរូបវិទ្យា។

មុខវិជ្ជានេះនឹងអាចផ្តល់ចំណេះដឹងថ្មីតាមរយៈការបញ្ចូលទ្រឹស្តីអគ្គិសនី និងម៉ាញេទិចដាច់ដោយឡែកពីគ្នា បន្ទាប់មកទៀតផ្នែកទាំងពីរនេះត្រូវបានបង្ហាញថាមានទំនាក់ទំនងគ្នាយ៉ាងជិតស្និតបំផុតតាមរយៈសមីការម៉ាក់ស្វែលទាំងបួន។ សមីការម៉ាក់ស្វែលទាំងបួនរួមមានៈ ច្បាប់ហ្គោសសម្រាប់ដែនអគ្គិសនី ច្បាប់ហ្គោសសម្រាប់ដែនម៉ាញេទិច ច្បាប់អំពែនិងច្បាប់ផារ៉ាដេ។

ម្យ៉ាងវិញទៀតការបង្ហាញបាតុភូតអគ្គិសនី និងម៉ាញេទិចសំខាន់ៗដែលចាំបាច់បំផុតក្នុងជីវភាពប្រចាំថ្ងៃនិងក្នុងបច្ចេកទេសក៏ត្រូវបានរៀបរាប់យ៉ាងលំអិត ហ្មត់ចត់ ច្បាស់លាស់សមស្របតាមកម្រិតឧត្តមសិក្សាថែមទៀតផង។ លើសពីនេះទៅទៀត ការអនុវត្តលំហាត់គំរូ សំណួរត្រិះរិះ និងលំហាត់ជាផ្នែកមួយយ៉ាងសំខាន់សម្រាប់គរុនិស្សិតធ្វើការសិក្សាស្វែងយល់ និងស្រាវជ្រាវបន្ថែម។

ការអនុវត្តនិងការប្រើប្រាស់រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមួយចំនួនត្រូវបានបង្ហាញក្នុងសៀវភៅមួយនេះផងដែរ ដូចជាការប្រើប្រាស់កាតក្រេឌីត សេវាអ៊ិនធើណែត វិទ្យុ ទូរទស្សន៍ ម៉ាស៊ីនកាំរស្មី ម៉ាស៊ីនមីក្រូវេវអូវិន(ម៉ាស៊ីនកំដៅម្ហូប និងចំអិនម្ហូប) ក្នុងឧបករណ៍អុបទិច រហូតអាចប្រើក្នុងវិស័យសុខាភិបាលថែមទៀតផង។

រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចត្រូវបានគេរកឃើញថាមានលក្ខណៈចាំងផ្លាត ចាំងបែរ មានថាមពល និងមានបរិមាណចលនា អាំងតង់ស៊ីតេដែលជាលក្ខណៈសំខាន់ហើយត្រូវបានអ្នកវិទ្យាសាស្ត្រប្រើប្រាស់ឱ្យមានប្រយោជន៍សម្រាប់បំរើដល់មនុស្សលើសាកលលោក។

មូលន័យសង្ខេប

សៀវភៅនេះសម្រាប់ជាជំនួយដល់អ្នកសិក្សាធ្វើការសិក្សានិងស្រាវជ្រាវដើម្បីបង្កើនចំណេះដឹងដែលទាក់ទងទៅនឹងរូបវិទ្យាបុរាណ និងទំនើប។ ដើម្បីងាយស្រួលក្នុងការយល់ខ្លឹមសារក្នុងផ្នែករលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចនេះ អ្នកអានត្រូវតែមានចំណេះដឹងផ្នែកគណិតវិទ្យាមួយចំនួនដូចជា ដេរីវេ អនុគមន៍ត្រីកោណមាត្រ អាំងតេក្រាលជាដើម។ សៀវភៅនេះមាន៥មេរៀនដូចសេចក្ដីរៀបរាប់ខាងក្រោម៖

មេរៀនទី១៖សេចក្តីផ្តើមនៃសមីការម៉ាក់ស្វែល

មេរៀនទី២៖អាំងឌុចស្យុងអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

មេរៀនទី៣៖ច្បាប់អំពែ

មេរៀនទី៤៖ ចរន្តបម្លាស់ទី

មេរៀនទី៥៖ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

មេរៀនទី១៖ សេចក្តីផ្តើមនៃសមីការម៉ាក់ស្វែល

សមីការម៉ាក់ស្វែល(*Maxwell's equation*) ក្នុងលំហាទទេមានចំនួន ៤ គឺ

- ច្បាប់ហ្គោស (*Gauss*) សម្រាប់ដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$
- ច្បាប់អំពែ(*Ampere*)
- ច្បាប់ហ្គោស (*Gauss*) សម្រាប់ដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$
- ច្បាប់ផារ៉ាដេ(*Faraday*)

១.១.ច្បាប់ហ្គោសសម្រាប់ដែនអគ្គិសនី

• មានរាង $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{encl}}{\varepsilon_0}$ ដែល $d\vec{A}$ ជាជាតុផ្ទៃព័ទ្ធជុំវិញ ដែលច្បាប់នេះបញ្ជាក់ថា៖

"អាំងតេក្រាលផ្ទៃនៃដែនអគ្គិសនី $E_\perp$ លើផ្ទៃបិទដែលព័ទ្ធជុំវិញណាមួយស្មើនឹងផលគុណរវាងបន្ទុកអគ្គិសនីដែលព័ទ្ធជុំវិញផ្ទៃបិទនិង $\frac{1}{\varepsilon_0}$"។ ចំណែកឯទិសដៅដែនអគ្គិសនីចេញពីបន្ទុកវិជ្ជមាន$(+)$ឬចូលបន្ទុកអគ្គិសនីអវិជ្ជមាន$(-)$។

១.២.ច្បាប់ហ្គោសសម្រាប់ដែនម៉ាញេទិច

• មានរាង $\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$ ដែល$d\vec{A}$ ជាជាតុផ្ទៃព័ទ្ធជុំវិញ

• ច្បាប់នេះបញ្ជាក់ថា៖ "អាំងតេក្រាលផ្ទៃនៃដែនម៉ាញេទិច $B_\perp$ លើផ្ទៃបិទព័ទ្ធជុំវិញណាមួយស្មើសូន្យជានិច្ច" ។

• $B_\perp \parallel \vec{n}$ ដែល $\vec{n}$ជាវ៉ិចទ័រណ័រម៉ាល់របស់ផ្ទៃ។

• ច្បាប់នេះបញ្ជាក់ថាគ្មានម៉ូណូប៉ូលម៉ាញេទិចទេ(ប៉ូលត្បូងតែមួយឬជើងតែមួយ) (ដែលជាប្រភពនៃដែនម៉ាញេទិច)។

• ដែនម៉ាញេទិចចេញពីប៉ូលជើងទៅកាន់ប៉ូលត្បូង(មានរាងជាខ្សែបិទ)។

១.៣.ច្បាប់អំពែ(*Ampere's law*)

• មានរាង $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(i_c + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)$

• ច្បាប់នេះបញ្ជាក់ថា ចរន្តចម្លង i_c *(conduction current)* និងចរន្តបម្លាស់ទី *(displacement current)* គឺជាប្រភពបង្កើតដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ ដែល Φ_B ជាភ្លុចម៉ាញេទិច ។

១.៤.ច្បាប់ផារ៉ាដេ (Faraday's law)

• មានរាង $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

• ច្បាប់នេះបញ្ជាក់ថា "កាលណាមានបម្រែបម្រួលភ្លុចម៉ាញេទិចឬដែនម៉ាញេទិច នោះកើតមានដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$" ដែល Φ_B ជាភ្លុចម៉ាញេទិច។

• បើសិនមានបម្រែបម្រួលភ្លុចម៉ាញេទិច នោះអាំងតេក្រាលខ្សែ $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l}$ មិនស្មើសូន្យទេ មានន័យថា ដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$មិនមែនជាដែនរក្សាទេ(ប្រែប្រួល)។ អាំងតេក្រាលនេះប្រព្រឹត្តិទៅលើខ្សែបិទនៅស្ងៀម។

• ដែនអគ្គិសនីសរុប $\vec{E} = \overrightarrow{E_c} + \overrightarrow{E_n}$ ដែល $\overrightarrow{E_c}$ កើតពីរបាយបន្ទុកស្តាទិចនៅស្ងៀម (ជាដែនរក្សា នោះគេអាចសរសេរបាន $\oint \overrightarrow{E_c} \cdot d\vec{l} = 0$ ហេតុនេះ$\overrightarrow{E_c}$មិនបានចូលរួមក្នុងច្បាប់ $\mathcal{F}araday$ ឡើយ។ រីឯ $\overrightarrow{E_n}$ កើតពីដែនម៉ាញេទិចជាដែនរក្សាពីព្រោះវាមិនត្រូវបានបង្កើតដោយបន្ទុកអគ្គិសនីស្តាទិចនៅស្ងៀម។

គេអាចសរសេរបាន $\oint \overrightarrow{E_n} \cdot d\vec{A} = 0$

ដូចនេះ $\overrightarrow{E_n}$មិនបានចូលរួមក្នុងច្បាប់ Gauss ឡើយ។

• ដែនអគ្គិសនីប្រើក្នុងសមីការ $\mathcal{M}axwell$ ជាដែនអគ្គិសនីសរុប។

១.៥.ស៊ីមេទ្រីក្នុងសមីការម៉ាក់ស្វែល ($\mathcal{M}axwell's\ equation$)

នៅក្នុងលំហទទេជាកន្លែងដែលគ្មានបន្ទុកអគ្គិសនី $Q_{enc} = 0$ និងគ្មានចរន្តចម្លង$i_c = 0$នោះនៅក្នុងសមីការដំបូងចំនួន២មានលក្ខណៈដូចគ្នា។

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

☛ ចំពោះសមីការទី៣ $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(i_c + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)$ ដោយ $\Phi_B = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$

គេអាចសរសេរ $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d}{dt} \left(\int \vec{E} \cdot d\vec{A} \right)$

មានន័យថា កាលណាមានបម្រែបម្រួលភ្លុចម៉ាញេទិចនោះកើតមានដែនម៉ាញេទិច។

☛ ចំពោះសមីការទី ៤ គឺ $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \left(\int \vec{B} \cdot d\vec{A} \right)$$

តាមសមីការខាងលើដែនអគ្គិសនីនិងដែនម៉ាញេទិចនៅសងខាងនៃសញ្ញាស្មើហេតុនេះទើបគេហៅលក្ខខណ្ឌស៊ីមេទ្រី ។

មេរៀនទី២៖ អាំងឌុចស្យុងអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

រូបទី២.១.កាតក្រេឌីត

នៅពេលយើងយកកាតក្រេឌីតឆូតនៅត្រង់ប្រដាប់អាននៃកាតនេះ នោះពត៌មានដែលមានលក្ខណៈជាកូដដែលស្តុកទុកនៅផ្នែកខាងខ្នងនៃកាតហើយមានសណ្ឋានជាម៉ាញេទិចត្រូវបានបញ្ជូនទៅធនាគារដែលគ្រប់គ្រងទិន្នន័យក្នុងកាតនេះ។ ហេតុអ្វីបានជាយើងចាំបាច់ឆូតកាតនៅត្រង់ប្រដាប់អានកាត តើយើងទប់វាអោយនៅស្ងៀមបានទេ? ចម្លើយគឺ មិនបានទេ។

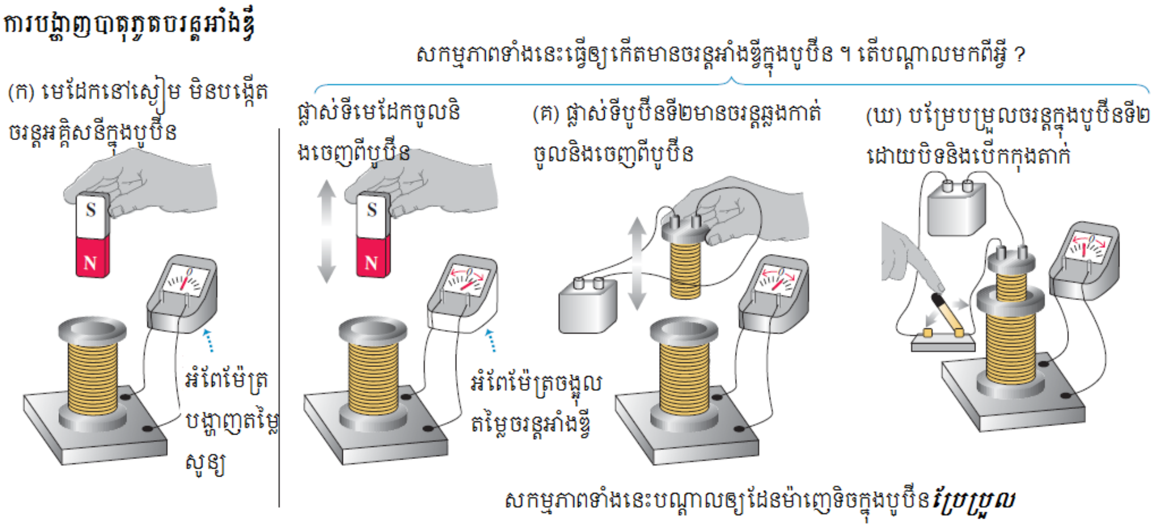
ប្រភពនៃកម្លាំងអគ្គិសនីចលករគឺ**ថ្មពិលឬអាគុយ**។ តើមានប្រភពផ្សេងទៀតដែរឬទេ? ចម្លើយគឺ មាន។ ឧបករណ៍អគ្គិសនីជាច្រើនដែលប្រើក្នុងឧស្សាហកម្ម និងក្នុងផ្ទះរបស់យើង ប្រភពនៃកម្លាំងអគ្គិសនីមិនមែនបានមកពីថ្មពិលនោះទេ គឺវាបានមកពីស្ថានីយ៍អគ្គិសនី។ ស្ថានីយ៍ទាំងនោះអាចជា ថាមពលប៉ូតង់ស្យែលក្នុងវារីអគ្គសនី ថាមពលគីមីបានមកពីចំហេះធ្យូង ឬប្រេងឥន្ធនៈ ថាមពលនុយក្លេអ៊ែរជាដើម។ តើថាមពលទាំងនេះបំលែងទៅជាថាមពលអគ្គិសនីយ៉ាងដូចម្តេច? ចម្លើយគឺបានមកពី**បាតុភូតអាំងឌុចស្យុងអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច**។

អាំងឌុចស្យុងអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចប្រាប់យើងថា ដែនម៉ាញេទិចដែលប្រែប្រួលតាមពេលមានតួនាទីជាប្រភពនៃដែនអគ្គិសនី។ យើងក៏នឹងឃើញផងដែរថាដែនអគ្គិសនីដែលប្រែប្រួលតាមពេលមានតួនាទីជាប្រភពនៃដែនម៉ាញេទិច។ លទ្ធផលដែលគួរអោយកត់សំគាល់ទាំងនេះ បានបង្កើតបានជាកញ្ចប់រូបមន្តមួយផ្នែកដ៏មានសណ្តាប់ធ្នាប់ដែលគេហៅថា សមីការ ម៉ាក់ស្វែល *(Maxwell equation)*។ ស

មីការនេះនឹងបកស្រាយអោយកាន់តែច្បាស់សម្រាប់ផ្នែកមួយទៀតគឺនិយាយអំពីលក្ខណៈនៃដែនម៉ាញេទិច និងដែនអគ្គិសនីក្នុងរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។

២.១ ពិសោធន៍អំពីបាតុភូតអាំងឌុចស្យុង

នៅក្នុងកំឡុងឆ្នាំ១៨៣០ មានការធ្វើពិសោធន៍ដំបូងៗអំពីកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌីនៅក្នុងប្រទេសអង់គ្លេសរៀបចំដោយលោក *Michael Faraday* និងនៅប្រទេសសហរដ្ឋអាមេរិច ដោយលោក *Joseph Henry(1797-1878)* ហើយក្រោយមកទៀត មានលោកនាយកដំបូងបង្អស់នៃវិទ្យាស្ថានស្មីតសូនៀន (*Smithsonian*)ដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។



រូបទី២.២.ពិសោធន៍ចរន្តអាំងឌី

រូប(ក) របុំខ្សែចម្លងត្រូវបានភ្ជាប់ទៅនឹងកាល់វ៉ាណូម៉ែត្រ(បង្ហាញវត្តមានចរន្តអគ្គិសនីតូចៗ)។ នៅពេលមេដែកនៅស្ងៀម នោះកាល់វ៉ាណូម៉ែត្រមិនបានបង្ហាញវត្តមានចរន្តទេ។ វាមិនមានអ្វីភ្ញាក់ផ្អើលទេ ពីព្រោះមិនមានប្រភពកម្លាំងអគ្គិសនីចលករកើតឡើងនៅក្នុងសៀគ្វី។ ប៉ុន្តែនៅពេលយើងផ្លាស់ទីមេដែកខិតទៅជិត ឬទៅឆ្ងាយពីបុំ នោះកាល់វ៉ាណូម៉ែត្របានបង្ហាញវត្តមានចរន្តអគ្គិសនីក្នុងសៀគ្វី (កើតមានតែនៅខណៈពេលមេដែកផ្លាស់ទីប៉ុណ្ណោះ មិនមានចរន្តរហូតនោះទេ)ដូចក្នុងរូប(ខ)។ បើ

សិនយើងរក្សាមេដែកនៅស្ងៀម ប៉ុន្តែយើងអោយរបុំផ្លាស់ទីម្ដង យើងក៏សង្កេតឃើញមានវត្តមានចរន្តអគ្គិសនីបង្ហាញដោយកាល់វ៉ាណូម៉ែត្រដែរ។ ចរន្តដែលយើងសង្កេតឃើញក្នុងកាល់វ៉ាណូម៉ែត្រនេះមានឈ្មោះថា **ចរន្តអាំងឌី**(induced current)។ ហើយកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ ដែលចាំបាច់សម្រាប់បង្កើតចរន្តអាំងឌីនេះហៅថា **កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌី**(induced emf)។

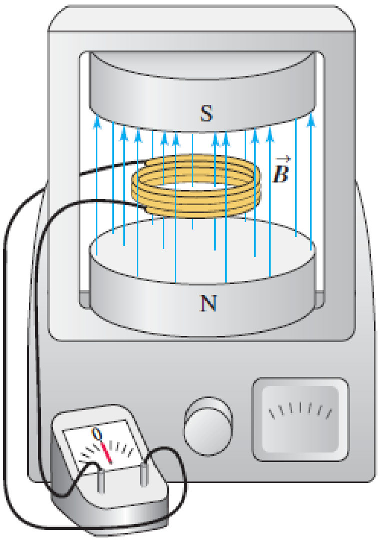
នៅក្នុងរូប(គ) យើងជំនួសមេដែកដោយរបុំខ្សែចម្លងមួយផ្សេងទៀត(របុំទី២)ដែលភ្ជាប់ទៅនឹងថ្មពិល ហើយរបុំក្នុងរូប(ក)និង(ខ) ជារបុំទី១។ នៅពេលរបុំទី២នៅស្ងៀម នោះគេមិនឃើញ

វត្តមានចរន្តក្នុងរបុំទី១ឡើយ។ ប៉ុន្តែនៅពេលគេធ្វើអោយរបុំទី២ផ្លាស់ទីខិតទៅជិត ឬទៅឆ្ងាយពីបុំទី១ គេឃើញមានវត្តមានចរន្តអាំងឌ្វីកើតមាននៅក្នុងរបុំទី១(ចរន្តនេះមិនកើតមានរហូតនោះទេ វាកើតមានតែនៅខណៈពេលរបុំទី២ផ្លាស់ទីប៉ុណ្ណោះ)។ ម្យ៉ាងទៀត បើគេផ្លាស់ទីរបុំទី១ម្តងវិញ ហើយគេទុករបុំទី២នៅស្ងៀមម្តង យើងក៏សង្កេតឃើញមានវត្តមានចរន្តអាំងឌ្វីក្នុងរបុំទី១ដែរ។

ចំណែកឯរូបចុងក្រោយ(ឃ) យើងរៀបចំរបុំពីរដូចមុនដែរ ប៉ុន្តែករណីនេះរបុំទាំងពីរនៅស្ងៀម មិនផ្លាស់ទីឡើយ។ បន្ទាប់មកយើងធ្វើអោយចរន្តក្នុងរបុំទី២ប្រែប្រួលតាមរបៀបជាច្រើន ដូចជាបិទបើកកុងតាក់ចុះឡើងៗក្នុងសៀគ្វីរបុំទី២ ឬប្រែប្រួលរេស៊ីស្តង់(ដោយប្រែប្រួលសីតុណ្ហភាព)នៃរបុំទី២ ដោយរក្សាកុងតាក់បិទដដែល។ យើងសង្កេតឃើញថា នៅពេលយើងបិទបើកកុងតាក់ចុះឡើងៗ មានវត្តមានចរន្តអាំងឌ្វីមួយភ្លែតៗក្នុងរបុំទី១ ដែលបានបង្ហាញដោយលំងាកនៃទ្រនិចកាល់វ៉ាណូម៉ែត្រ។ ហើយនៅពេលយើងប្រែប្រួលរេស៊ីស្តង់នៅរបុំទី២ (ចរន្តក្នុងរបុំនេះប្រែប្រួលដែរ) យើងក៏សង្កេតឃើញមានចរន្តអាំងឌ្វីមួយភ្លែតៗក្នុងរបុំទី១ដូចគ្នាដែរ។ ចំណាំចរន្តអាំងឌ្វីខាងលើកើតមានតែនៅខណៈពេលដែលមានចរន្តប្រែប្រួលក្នុងរបុំទី២ប៉ុណ្ណោះមិនមានរហូតនោះទេ។

ដើម្បីរុករកអោយបានស៊ីជម្រៅជាងនេះទៅទៀត យើងនឹងពិចារណាទៅលើពិសោធន៍បង្ហាញជាច្រើនទៀតដូចក្នុងរូបខាងក្រោម។

ក.នៅពេលគ្មានចរន្តក្នុងអេឡិចត្រូមេដែក នោះដែនម៉ាញេទិចស្មើសូន្យ($B = 0$) ពេលនោះកាល់វ៉ាណូម៉ែត្របង្ហាញថាគ្មានចរន្តអាំងឌ្វី។



បូប៊ីនស្ថិតក្នុងដែនម៉ាញេទិច ។នៅពេលដែនម៉ាញេទិចថេរ ហើយរូបរាង ទីតាំង និងទិសដៅនៃបូប៊ីនមិនប្រែប្រួល **គ្មានចរន្តអគ្គិសនី**ត្រូវបាននៅក្នុងបូប៊ីន ។ ចរន្តអគ្គិសនីត្រូវបានបង្កើតនៅពេលដែលកត្តាទាំងនេះប្រែប្រួល ។

រូបទី២.៣.ឧបករណ៍បង្ហាញចរន្តអាំងឌ្វី

ខ.នៅពេលមានចរន្តក្នុងអេឡិចត្រូមេដែក នៅពេលនោះកើតមានចរន្តមួយភ្លែតឆ្លងកាត់កាល់វ៉ាណូម៉ែត្រដោយសារដែនម៉ាញេទិចកើនឡើង។

គ.នៅពេលដែនម៉ាញេទិចកើនដល់តម្លៃថេរ(ខ្សែរាបស្មើ) ចរន្តធ្លាក់ចុះដល់តម្លៃសូន្យ ទោះបីដែនម៉ាញេទិចមានតម្លៃប៉ុណ្ណាក៏ដោយ។

ឃ.ពេលរបុំខ្សែចម្លងស្ថិតក្នុងប្លង់ដេក យើងច្របាច់អោយមុខកាត់របស់របុំរួមតូច នោះកាល់វ៉ាណូម៉ែត្របង្ហាញវត្តមានចរន្តអាំងឌ្វីតែនៅពេលមុខកាត់ខូចទ្រង់ទ្រាយប៉ុណ្ណោះ(មិនមានវត្តមានចរន្តមុនពេលច្របាច់ និងក្រោយពេលច្របាច់)។ ពេលច្របាច់ ហើយលែងដៃដើម្បីអោយមុខកាត់វាកើនទៅរកទំហំដើមវិញ គេឃើញមានវត្តមានចរន្តអាំងឌ្វីមានទិសដៅផ្ទុយពីទិសដៅចរន្តពេលច្របាច់។

ង.បើសិនយើងបង្វិលរបុំខ្សែចម្លងប្រហែល៣ទៅ៤ជុំក្រែជុំវិញអ័ក្សដេក នោះកាល់វ៉ាណូម៉ែត្រនឹងបង្ហាញវត្តមានចរន្តក្នុងពេលរង្វិល ហើយចរន្តមានទិសដៅដូចពេលគេច្របាច់មុខកាត់អោយរួមតូច។ នៅពេលគេបង្វិលបញ្ច្រាសមកវិញ នោះមានចរន្តតាមទិសដៅផ្ទុយ។

ច. បើសិនយើងទាញរបុំយ៉ាងលឿនចេញពីដែនម៉ាញេទិច គេឃើញមានវត្តមានចរន្តអាំងឌ្វីក្នុងទិសដៅដូចនៅពេលច្របាច់មុខកាត់ដែរ។

ឆ.បើសិនគេបន្ថយចំនួនជុំនៃរបុំដោយស្រាយចំនួនជុំចេញខ្លះ នោះមានចរន្តអាំងឌ្វីតាមទិសដៅដូចនៅពេលច្របាច់មុខកាត់។ បើសិនយើងរុំចំនួនជុំកាន់តែច្រើននៅស្មៀម មានចរន្តតាមទិសដៅផ្ទុយក្នុងកំឡុងពេលរុំ។

ជ. នៅពេលបើកកុងតាក់ចំហកុំអោយមានដែនម៉ាញេទិច នោះចរន្តអាំងឌ្វីដែលមានទិសដៅផ្ទុយពីពេលបិទកុងតាក់។

ឈ. ក្នុងពិសោធន៍ទាំងអស់ខាងលើបើយើងធ្វើកាន់តែលឿន នោះចរន្តអាំងឌ្វីកាន់តែធំ។

ញ. រាល់ពិសោធន៍ខាងលើ បើរបុំខ្សែចម្លងមានរាងដូចគ្នា ធ្វើពីសារធាតុផ្សេងគ្នា និងរេស៊ីស្តង់ខុសៗគ្នា នោះចរន្តអាំងឌ្វីក្នុងករណីនីមួយៗប្រាសសមាមាត្រទៅនឹងរេស៊ីស្តង់សរុប។ តាមពិសោធន៍ទាំងអស់នេះ យើងឃើញថា កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីមិនមែនអាស្រ័យទៅលើសារធាតុដែកគេយកមកធ្វើរបុំនោះទេប៉ុន្តែវាអាស្រ័យទៅនឹង**រាងនៃរបុំ** និង**ដែនម៉ាញេទិច**។

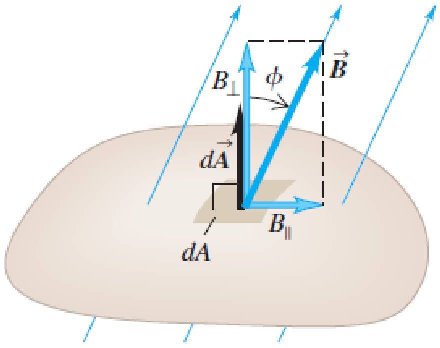
ចំនុចរួមក្នុងចំណោមពិសោធន៍ទាំងអស់ខាងលើគឺបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិចΦ_Bក្នុងរបុំខ្សែចម្លងដែលភ្ជាប់ទៅនឹងកាល់វ៉ាណូម៉ែត្រ។ ក្នុងករណីនីមួយៗខាងលើភ្លុចម៉ាញេទិចប្រែប្រួល ដោយសារដែនម៉ាញេទិចប្រែប្រួលតាមពេល ឬដោយសាររបុំផ្លាស់ទីក្នុងដែនម៉ាញេទិចមិនឯកសណ្ឋាន។ តាមច្បាប់ Faraday ពោលថារាល់ពិសោធន៍ទាំងអស់ខាងលើ **កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីសមាមាត្រទៅនឹងកម្រិតនៃប្រែប្រួលនៃភ្លុចម៉ាញេទិចធៀបទៅនឹងពេល**ក្នុងរបុំខ្សែចម្លងណាមួយ។ ចំណែកឯ**ទិសដៅនៃកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីអាស្រ័យលើភ្លុចកើនឡើង ឬភ្លុចថយចុះ**។ បើសិនភ្លុចថេរ នោះនឹងមិនមានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីនោះទេ។

កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុីមិនមែនជាចំណាប់អារម្មណ៍ក្នុងបន្ទប់ពិសោធន៍នោះទេ ប៉ុន្តែវាត្រូវបានគេប្រើប្រាស់យ៉ាងទូលំទូលាយ។ បើសិនជាយើងកំពុងអានសៀវភៅក្នុងផ្ទះ ឬក្នុងអាគារណាមួយគឺយើងកំពុងតែប្រើកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុី។ នៅស្ថានីយ៍ផ្គត់ផ្គង់អគ្គិសនី ប្រភពអគ្គិសនីផលិតកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុី ដោយប្រែប្រួលភ្លុចម៉ាញេទិចក្នុងរបុំខ្សែចម្លង។ កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុីនេះផ្តល់តង់ស្យុងរវាងគោលទាំងពីរនៃព្រីភ្លើងនៅតាមជញ្ជាំងផ្ទះ ហើយតង់ស្យុងនេះបានផ្តល់អានុភាពទៅអោយអំពូល ឬឧបករណ៍អគ្គិសនីផ្សេងៗដែលយើងប្រើក្នុងផ្ទះ។ តាមពិតទៅ ឧបករណ៍ដែលយើងដោតឌុយភ្ជាប់ទៅនឹងព្រីភ្លើងគឺវាប្រើកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុី។

កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុីដែលមានលក្ខណៈម៉ាញេទិចនេះ ជាលទ្ធផលនៃកម្លាំងមិនអេឡិចត្រូស្តាទិច។ យើងត្រូវតែប្រុងប្រយ័ត្នក្នុងការញែកអោយដាច់រវាងដែនអគ្គិសនីអេឡិចត្រូស្តាទិចដែលកើតពីបន្ទុកអគ្គិសនី(តាមច្បាប់គូឡំ) និងដែនអគ្គិសនីមិនអេឡិចត្រូស្តាទិចដែលកើតពីបំរែបំរួលដែនម៉ាញេទិច។

២.២.ច្បាប់ផារ៉ាដេ

ចំនុចរួមនៃផលអាំងឌុចស្យុងទាំងអស់គឺបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិចឆ្លងកាត់សៀគ្វី។ មុននឹងពោលច្បាប់រូបវិទ្យាងាយៗដែលសង្ខេបរាល់ពិសោធន៍នីមួយៗខាងលើ ដំបូងយើងត្រូវរំលឹកពីសញ្ញាណនៃភ្លុចម៉ាញេទិច Φ_B។ សម្រាប់ជាតុផ្ទៃយ៉ាងតូចមួយ$d\vec{A}$ ដែលស្ថិតក្នុងដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$មួយនោះភ្លុចម៉ាញេទិច $d\Phi_B = \vec{B}\cdot d\vec{A} = B_\perp \cdot dA = BdA\cos\phi$ ដែល$B_\perp$ ជាជាតុមួយនៃដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ ហើយកែងទៅនឹងជាតុផ្ទៃ$d\vec{A}$ ហើយមុំϕ ជាមុំរវាង$\vec{B}$និង$d\vec{A}$ ។



រូបទី២.៤.ដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$និងវ៉ិចទ័រផ្ទៃ($\vec{A}$)ផ្គុំបានមុំ(ϕ)រវាងគ្នា។

ភ្លុចម៉ាញេទិចឆ្លងកាត់ជាតុផ្ទៃតូចមួយ$d\vec{A}$គឺ

$$d\Phi_B = \vec{B}.d\vec{A} = B_\perp dA = B.dA\,cos\phi$$

សង្កេតមើលការគណនាភ្លុចម៉ាញេទិចនៃដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋានឆ្លងកាត់ផ្ទៃរាបស្មើដូចក្នុងរូបខាងក្រោម៖

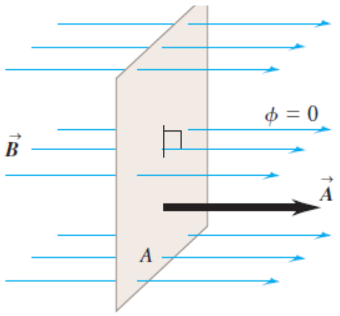
សម្រាប់ភ្លុចម៉ាញេទិចសរុបមួយ Φ_B ក្នុងផ្ទៃកំណត់ណាមួយគឺជាអាំងតេក្រាលនៃធាតុភ្លុច $d\Phi_B$ សម្រាប់ផ្ទៃនោះ។ គេបាន $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int BA \cos\phi$

បើសិន ដែនម៉ាញេទិចជាដែនឯកសណ្ឋាន(តម្លៃថេរ) នោះគេបាន $\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA \cos\phi$

ប្រយ័ត្នក្នុងការជ្រើសរើសទិសដៅនៃវ៉ិចទ័រ $d\vec{A}$ និង $\vec{A}$ ៖ យើងត្រូវតែប្រុងប្រយ័ត្នលើការកំណត់ទិសដៅ។

ដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}//\vec{A}$

ភ្លុចម៉ាញេទិច $\Phi_B = \vec{B}.\vec{A} = BA$



រូបទី២.៥.ភ្លុចម៉ាញេទិចសម្រាប់ការតម្រង់ទិសនៃផ្ទៃ។

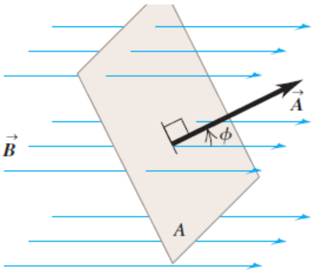
ករណី៖ $\phi = 0°$

ករណី៖ $\phi = 90°$

ករណី៖ $0° < \phi < 90°$

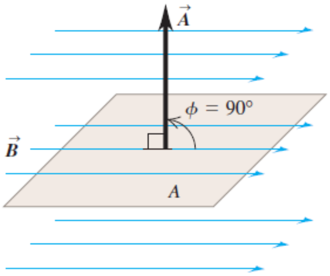
ដែនម៉ាញេទិច $\phi = (\vec{B}, \vec{A})$

ភ្លុចម៉ាញេទិច $\Phi_B = \vec{B}.\vec{A} = BA\cos\phi$



ដែនម៉ាញេទិច $\vec{B} \perp \vec{A}$

ភ្លុចម៉ាញេទិច $\Phi_B = \vec{B}.\vec{A} = BAcos(90°) = 0$



ទិសដៅផ្ទៃនេះតែងតែមានពីរទិសដៅជានិច្ចដែលកែងទៅនឹងផ្ទៃមួយដែលយើងស្គាល់ ហើយសញ្ញានៃភ្លុចម៉ាញេទិចក្នុងផ្ទៃមួយគឺអាស្រ័យទៅលើថាតើទិសដៅផ្ទៃណាដែលយើងជ្រើសរើសជាទិសដៅវិជ្ជមាន។ តាមពិតយើងជ្រើសរើសទិសដៅណាមួយវិជ្ជមានក៏បានដែរ លទ្ធផលគឺត្រឹមត្រូវដូចគ្នា ប៉ុន្តែបើយើងបានជ្រើសរើសទិសដៅណាមួយវិជ្ជមានរួចរាល់ហើយយើងត្រូវរក្សាវាដដែល មិនត្រូវដូរចុះដូរឡើងនោះទេ។

ច្បាប់ផារ៉ាដេពោលថា៖

កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុីក្នុងខ្សែរង្វង់បិទស្មើនឹងតម្លៃអវិជ្ជមាននៃកម្រិតបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិចធៀបទៅនឹងពេលឆ្លងកាត់ខ្សែរង្វង់។

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

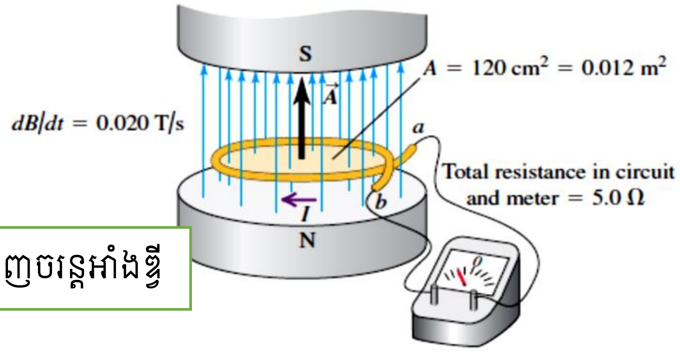
ដើម្បីយល់ពីសញ្ញាដក(–) យើងត្រូវណែនាំបង្ហាញពីការកំណត់សញ្ញាសម្រាប់កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុី(ε)។ ប៉ុន្តែដំបូងយើងត្រូវមើលឧទាហរណ៍ងាយៗនៃច្បាប់ Faraday ខាងលើ។

ឧទាហរណ៍ទី១៖(កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុី និងចរន្តអាំងឌុីក្នុងខ្សែរង្វង់បិទ)

ដែនម៉ាញេទិចរវាងប៉ូលនៃមេដែកក្នុងរូបខាងក្រោមជាដែនឯកសណ្ឋានគ្រប់ពេលទាំងអស់ ប៉ុន្តែតម្លៃរបស់វាកើនឡើងក្នុងកម្រិត$0.020\frac{T}{s}$។ ផ្ទៃនៃខ្សែរង្វង់ធ្វើពីអង្គធាតុចម្លងដែលស្ថិតក្នុងដែនម៉ាញេទិចគឺ $120cm^2$ និងរេស៊ីស្តង់សរុបរវាងសៀគ្វី និងកាល់វ៉ាណូម៉ែត្រ គឺ5.0Ω ។

ក.ចូររកកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុី និងចរន្តអាំងឌុីក្នុងសៀគ្វី។

ខ.បើសិនខ្សែរង្វង់នេះជំនួសដោយខ្សែរង្វង់មួយទៀតធ្វើពីអ៊ីសូឡង់វិញ តើមានផលអ្វីជះឥទ្ធិពលលើកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុី និងចរន្តអាំងឌុីក្នុងសៀគ្វីឬទេ?



រូបទី២.៦.ឧបករណ៍បង្ហាញចរន្តអាំងឌុី

ដំណោះស្រាយ

✍ការកំណត់គម្រោង និងរៀបចំបួងដោះស្រាយបញ្ហា៖ ភ្លុចម៉ាញេទិចΦ_B ក្នុងខ្សែរង្វង់ប្រែប្រួលនៅពេលដែនម៉ាញេទិចប្រែប្រួល។ ដូចនេះកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុីε និងចរន្តអាំងឌុីI នឹងកើតមានក្នុងខ្សែរង្វង់នេះ។

យើងនឹងគណនាភ្លុចម៉ាញេទិចដោយប្រើរូបមន្ត $\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA\cos\phi$

បន្ទាប់មកយើងគណនារកកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុីε ដោយប្រើច្បាប់ Faraday។

បន្ទាប់មកទៀតយើងគណនា ចរន្តអាំងឌុីតាមរូបមន្ត $\varepsilon = IR$ ។ដែលR ជារេស៊ីស្តង់សរុបនៃសៀគ្វី រួមបញ្ចូលទាំងរេស៊ីស្តង់របស់ខ្សែរង្វង់ផងដែរ។

✍អនុវត្តគម្រោង៖

ក.វ៉ិចទ័រផ្ទៃរបស់ខ្សែរង់គឺ $\vec{A}$ ដែលកែងទៅនឹងប្លង់នៃខ្សែរង់ ដោយយើងជ្រើសរើសទិសដៅវិជ្ជមានឡើងលើ ហើយវ៉ិចទ័រ$\vec{B}$និងវ៉ិចទ័រ$\vec{A}$ស្របគ្នា។

ដោយវ៉ិចទ័រ $\vec{B}$ ជាដែនឯកសណ្ឋាន នោះភ្លុចម៉ាញេទិចឆ្លងកាត់ខ្សែរង់គឺ

$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA\cos 0 = BA$ ។ ដោយ $A = 120cm^2$ បើរ

នោះកម្រិតបំរែបំរួលនៃភ្លុចម៉ាញេទិចគឺ

$\frac{d\Phi_B}{dt} = \frac{d(BA)}{dt} = \frac{dB}{dt}A = \left(\frac{0.020T}{s}\right)(0.012cm^2) = 2.4 \times 10^{-4}V = 0.24mV$

នេះជាតម្លៃរបស់កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វី (ប៉ុន្តែយើងមិនទាន់គិតដល់សញ្ញារបស់វាឡើយ)

គេបានចរន្តអាំងឌ្វីគឺ$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{2.4\times10^{-4}V}{5.0\Omega} = 4.8 \times 10^{-5}A = 0.048mA$ ។

ខ.ពេលដូរខ្សែរង់ជាអ៊ីសូឡង់

ដោយអ៊ីសូឡង់មានរេស៊ីស្តង់ធំ ហើយតាមច្បាប់ Faraday $\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ មិនទាក់ទងទៅនឹងរេស៊ីស្តង់របស់សៀគ្វីទេ។ ហេតុនេះកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីនៅរក្សាដដែល។ ប៉ុន្តែចរន្តអាំងឌ្វីមានតម្លៃតូចជាងមុន (តាមរូបមន្ត$I = \frac{\varepsilon}{R}$) ។ បើសិនខ្សែរង់នេះធ្វើពីអ៊ីសូឡង់ល្អឥតខ្ចោះនោះរេស៊ីស្តង់របស់វាធំខ្លាំងអនន្ត គេបានចរន្តអាំងឌ្វីស្មើសូន្យ។ ក្នុងករណីនេះប្រៀបបានទៅនឹង ថ្មពិលដែលមិនទាន់ភ្ជាប់ទៅនឹងសៀគ្វីក្រៅ (មានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ ប៉ុន្តែគ្មានលំហូរចរន្តទេ)។

✍ការវាយតម្លៃ និងសន្និដ្ឋាន

យើងនឹងផ្ទៀងផ្ទាត់ខ្នាតក្នុងការគណនានេះ៖ យើងដឹងថាកម្លាំងម៉ាញេទិច$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$

យើងបានខ្នាតនៃដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ គឺ $1T = \frac{(1N)}{\left(1C.\frac{m}{s}\right)}$

យើងបានខ្នាតនៃភ្លុចម៉ាញេទិចគឺ$(1T)(1m^2) = \frac{1N.s.m}{C}$ ហើយខ្នាតនៃកម្រិតបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិចគឺ $\frac{1N.m}{C} = \frac{1J}{C} = 1V$ ។ ដូចនេះខ្នាតនៃកម្រិតបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិចគឺ វ៉ុល(1Volt) ។

២.៣.ទិសដៅនៃកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វី

យើងក៏អាចរកទិសដៅកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វី ឬចរន្តអាំងឌ្វីដោយប្រើសមីការក្នុងច្បាប់ផារ៉ាដេ *Faraday* $\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ រួមជាមួយនិងច្បាប់សញ្ញាងាយៗមួយចំនួន។ ខាងក្រោមគឺជាដំណើរការ៖

ក.កំណត់ទិសដៅវិជ្ជមាននៃវ៉ិចទ័រផ្ទៃ $\vec{A}$

ខ. កាលណាកំណត់ទិសដៅវ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ និងវ៉ិចទ័រ $\vec{B}$ រួចហើយ យើងអាចកំណត់សញ្ញានៃភ្លុចម៉ាញេទិច Φ_B និងកម្រិតនៃបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិច$\frac{d\Phi_B}{dt}$ ។

គ. កំណត់សញ្ញានៃកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌី ឬចរន្តអាំងឌី។ បើភ្លុចម៉ាញេទិចកើន នោះ $\frac{d\Phi_B}{dt}$មានតម្លៃវិជ្ជមាន គេបានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌី ឬចរន្តអាំងឌីអវិជ្ជមាន។

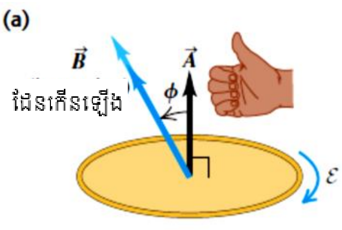
ហើយបើភ្លុចម៉ាញេទិចថយចុះ នោះ $\frac{d\Phi_B}{dt}$មានតម្លៃអវិជ្ជមាន។

គេបានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌីឬចរន្តអាំងឌីវិជ្ជមាន។

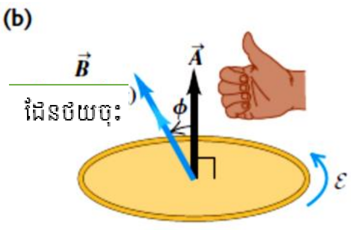
ឃ. ចុងក្រោយយើងអាចកំណត់ទិសដៅកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌី ឬចរន្តអាំងឌីតាមវិធានដៃស្តាំ។ វិធាននោះគឺ យើងក្តោមម្រាមដៃស្តាំជុំវិញវ៉ិចទ័រ$\vec{A}$ ដោយអោយម្រាមមេដៃស្តាំចង្អុលតាមទិសដៅ $\vec{A}$ ។ បើសិនកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌី ឬចរន្តអាំងឌីក្នុងសៀគ្វីមានតម្លៃវិជ្ជមាន បានន័យថាទិសដៅរបស់វាដូចទិសដៅម្រាមដៃលបានក្តោប។ បើសិនកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌី ឬចរន្តអាំងឌីក្នុងសៀគ្វីមានតម្លៃអវិជ្ជមាន បានន័យថាទិសដៅរបស់វាផ្ទុយពីទិសដៅម្រាមដៃលបានក្តោប។ ក្នុងឧទាហរណ៍ខាងលើវ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ មានទិសដៅឡើងលើ តាមវិធានដៃស្តាំខាងលើ យើងបានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌីដែលវិជ្ជមាន(+)ត្រូវមានទិសដៅប្រាសពីទិសដៅទ្រនិចនាឡិកា(មើលចំពីលើ)ជុំវិញខ្សែរង់បិទ។ វ៉ិចទ័រ $\vec{A}$ និងវ៉ិចទ័រ $\vec{B}$ មានទិសដៅទៅលើដូចគ្នា គេបានភ្លុចΦ_Bវិជ្ជមាន ហើយដែនម៉ាញេទិច B កើនឡើង នោះយើងបានកម្រិតបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិច$\frac{d\Phi_B}{dt}$វិជ្ជមាន។ តាមរូបមន្ត $\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ យើងបានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌីអវិជ្ជមាន(−)។ ដូចនេះទិសដៅពិតប្រាកដនៃកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌីគឺតាមទិសដៅដូចទ្រនិចនាឡិកា(មើលចំពីលើ)។

បើសិនខ្សែរង់ក្នុងឧទាហរណ៍ខាងលើធ្វើពីអង្គធាតុចម្លង នោះកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំឌីខាងលើនឹងបង្កើតបានចរន្តអាំងឌីដែលមានទិសដៅតាមទ្រនិចនាឡិកាដែរ។ ចរន្តអាំងឌីនេះនឹងបង្កើតដែនម៉ាញេទិចមួយបន្ថែមទៀតក្នុងខ្សែរង់បិទនោះ យើងប្រើវិធានដៃស្តាំដើម្បីរកទិសដៅដែនម៉ាញេទិចថ្មីនេះ គេបានទិសដៅដែនម៉ាញេទិចថ្មីផ្ទុយពីដែនម៉ាញេទិចដែលកើនឡើងកើតពីអេឡិចត្រូមេដែក (ដែនម៉ាញេទិចរបស់អេឡិចត្រូមេដែកមានទិសដៅឡើងលើដូចវ៉ិចទ័រផ្ទៃ)។ នេះជាឧទាហរណ៍មួយនៃច្បាប់ឡិន(Lenz) ដែលបានពោលថា ផលអាំងឌុចស្យុងចង់តែប្រឆាំងទៅនឹងបំរែបំរួលដែលបង្កើតផលអាំងឌុចស្យុងនោះ ក្នុងករណីនេះបំរែបំរួលគឺការកើនឡើងភ្លុចម៉ាញេទិចនៃដែនរបស់អេឡិចត្រូមេដែកឆ្លងកាត់ខ្សែរង់បិទ។

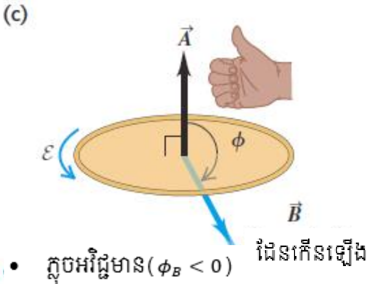
ឧទាហរណ៍សំខាន់ៗក្នុងការរកទិសដៅកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំឌី (តាមវិធានដៃស្តាំៈកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌីវិជ្ជមាន មានទិសដៅដូចម្រាមដៃក្តោបដែលមេដៃចង្អុលវ៉ិចទ័រផ្ទៃ $\vec{A}$)



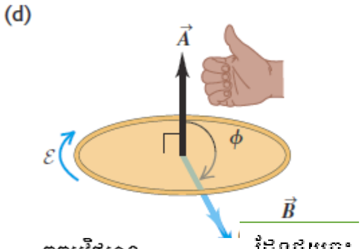
- ភ្លុចវិជ្ជមាន($\phi_B > 0$)
- ហើយកាន់តែអវិជ្ជមានតិចទៅៗ ($\frac{d\phi_B}{dt} > 0$)
- កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអវិជ្ជមាន($\epsilon < 0$)



- ភ្លុចវិជ្ជមាន($\phi_B > 0$)
- ហើយកាន់តែអវិជ្ជមានតិចទៅៗ ($\frac{d\phi_B}{dt} < 0$)
- កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអវិជ្ជមាន($\epsilon > 0$)



- ភ្លុចអវិជ្ជមាន($\phi_B < 0$)
- ហើយកាន់តែអវិជ្ជមានតិចទៅៗ ($\frac{d\phi_B}{dt} < 0$)
- កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអវិជ្ជមាន($\epsilon > 0$)



- ភ្លុចអវិជ្ជមាន
- ហើយកាន់តែអវិជ្ជមានតិចទៅៗ ($\frac{d\phi_B}{dt} > 0$)
- កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអវិជ្ជមាន($\epsilon < 0$)

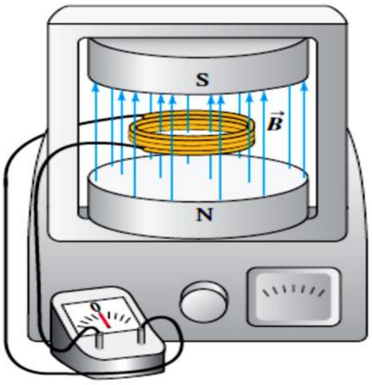
រូបទី២.៧.ភ្លុចម៉ាញេទិចនិងកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុីក្នុងករណីផ្សេងៗ

ការអនុវត្តក្នុងវេជ្ជសាស្រ្ត៖ រុករកខួរក្បាលដោយប្រើកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុី

រូបទី២.៨.ឧបករណ៍ស្វែងរកខួរក្បាល

Transcranial magnetic stimulation(TMS) គឺជាបច្ចេកទេសមួយសម្រាប់សិក្សាអំពីតួនាទីនៃផ្នែកជាច្រើនរបស់ខួរក្បាលមនុស្ស។ របុំខ្សែចម្លងត្រូវបានគេភ្ជាប់ទៅនឹងក្បាល ហើយវាមានចរន្តដែលប្រែប្រួល ហេតុនេះវាអាចបង្កើតដែនម៉ាញេទិចប្រែប្រួលដែរ។ ដែននេះបានបង្កើតកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុី ហើយបានបង្កអោយមានអំពើអគ្គិសនីនៅក្នុងតំបន់នៃខួរក្បាលដែលស្ថិតនៅជិតផ្នែកខាងក្រោមនៃរបុំនេះ។ ដោយយើងសង្កេតលើរបៀបដែលឧបករណ៍ TMSនេះឆ្លើយតប(ឧទាហរណ៍ តើសាច់ដុំមួយណាផ្លាស់ទីនៅពេលមានការភ្ញោចនៃផ្នែកណាមួយរបស់ខួរក្បាល) គ្រូពេទ្យអាចធ្វើតេស្តទៅលើលក្ខណ្ឌប្រព័ន្ធប្រសាទជាច្រើនទៀត។

ក្នុងរូបខាងក្រោម របុំខ្សែរង់បិទស្ថិតក្នុងដែនម៉ាញេទិចថេរ ហើយយើងធ្វើអោយរបុំនេះផ្អៀងបន្តិច ឬប្របាច់វាដើម្បីអោយភ្លុចម៉ាញេទិចថយចុះ នោះកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុី និងចរន្តអាំងឌុីមានទិសដៅបញ្រ្ចាសពីទ្រនិចនាឡិកា(មើលចំពីលើ)។



រូបទី២.៩.ការបង្ហាញទិសដៅកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុីដោយប្រើកាល់វ៉ាណូម៉ែត្រ។

ប្រយ័ត្ន៖ កម្លាំងអគ្គិសនីចលករដែលកើតពីបំរែបំរួលភ្លុច៖

ដោយសារភ្លុចម៉ាញេទិចដើរតួសំខាន់ក្នុងច្បាប់Faraday យើងត្រូវគិតថាភ្លុចម៉ាញេទិច ជាមូលហេតុដែលបង្កើតកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ ហើយកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុីអាចកើតឡើងតែនៅពេលមានដែនម៉ាញេទិចក្នុងតំបន់ដែលកំណត់ព្រំដែនដោយសៀគ្វី។

តាមសមីការ $\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ បង្ហាញថាមានតែបំរែបំរួលភ្លុចក្នុងសៀគ្វីតែមួយមុខប៉ុណ្ណោះដែលអាចបង្កើតអោយមានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុីក្នុងសៀគ្វីនោះ។ បើសិនភ្លុចក្នុងសៀគ្វីមានតម្លៃថេរ ទោះបីវិជ្ជមាន អវិជ្ជមាន ឬសូន្យសុទ្ធតែមិនអាចបង្កើតកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុីបានទេ។

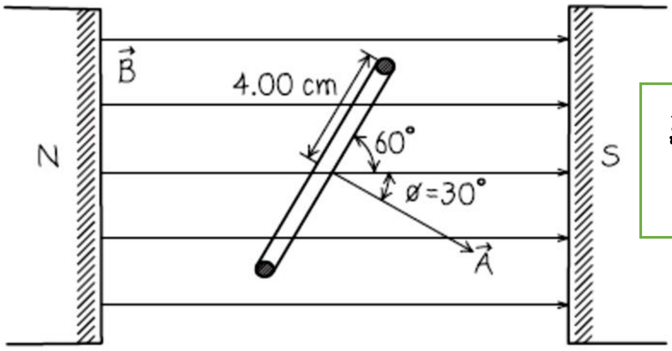
បើសិនយើងមានរបុំខ្សែចម្លងដែលមានចំនួនជុំដូចៗគ្នា N ហើយភ្លុចប្រែប្រួលក្នុងកម្រិតស្មើគ្នាឆ្លងកាត់ខ្សែវង់(ជុំ)នីមួយៗ នោះកម្រិតនៃបំរែបំរួលសរុបគឺ N ដងធំជាងកម្រិតប្រែប្រួលក្នុងមួយវង់(១ជុំ)។ បើសិនΦ_B ភ្លុចក្នុងមួយវង់នោះកម្លាំងអគ្គិសនីចលករសរុបក្នុងរបុំដែលមានN ជុំគឺ$\varepsilon = -N\frac{d\Phi_B}{dt}$។

ឧទាហរណ៍២៖(រកតម្លៃនិងទិសដៅនៃកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វី)

របុំខ្សែចម្លងដែលមានរាងជារង្វង់មាន 500ជុំ ហើយមានកាំ 4.00cm ត្រូវបានដាក់នៅចន្លោះប៉ូលនៃអេឡិចត្រូមេដែក។ ដែនម៉ាញេទិចនេះជាដែនឯកសណ្ឋាន ហើយផ្គុំបានមុំ 60° ជាមួយប្លង់នៃរបុំនេះ ហើយដែននេះថយចុះក្នុងកម្រិត0.200 T/s។ ចូររកតម្លៃនិងទិសដៅនៃកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វី។

ដំណោះស្រាយ(**តាមបែបវិធីសាស្ត្រដោះស្រាយបញ្ហា**)

+ការកំណត់គម្រោង និងរៀបចំគម្រោង៖ គោលដៅរបស់យើងគឺកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីដែលកើតពីបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិចនៅក្នុងរបុំ។ ភ្លុចម៉ាញេទិចប្រែប្រួលពីព្រោះតម្លៃនៃដែនម៉ាញេទិចថយចុះ។ យើងជ្រើសរើសវ៉ិចទ័រផ្ទៃ $\vec{A}$ មានទិសដៅដូចក្នុងរូបខាងក្រោម។



រូបទី២.១០.របុំខ្សែចម្លងក្នុងដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋាន។

ទិសដៅវ៉ិចទ័រ$\vec{A}$ និងវ៉ិចទ័រ$\vec{B}$ និងការថយចុះនៃដែនម៉ាញេទិច អាចអោយយើងកំណត់ទិសដៅកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីបាន។

+ការអនុវត្តគម្រោង

ដែនម៉ាញេទិចជាដែនឯកសណ្ឋានក្នុងផ្ទៃខ្សែរង្វង់បិទ ហេតុនេះយើងអាចគណនារកភ្លុចម៉ាញេទិចតាមរូបមន្ត` $\Phi_B = BA\cos\phi$

តាមរូបខាងលើ$\phi = 30^\circ$ក្នុងរូបមន្តនេះមានតែដែនម៉ាញេទិចទេដែលប្រែប្រួលតាមពេល។

គេបាន $\dfrac{d\Phi_B}{dt} = \dfrac{dB}{dt}A\cos\phi$

ចំណាំ៖ មុំជាមុំរវាងវ៉ិចទ័រ$\vec{A}$ និងវ៉ិចទ័រ$\vec{B}$ មិនមែនរវាងវ៉ិចទ័រ$\vec{B}$និងប្លង់របស់ខ្សែរង្វង់បិទទេ។

+ ដោយសាររបុំមានចំនួនជុំច្រើន$N = 500$ គេបានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីសរុបគឺ

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = N\frac{dB}{dt}A\cos\phi = 500\left(-\frac{0.200T}{s}\right)\pi\left(0.0400m\right)^2\cos 30^\circ = 0.435V$$

តម្លៃវិជ្ជមាននេះមានន័យថា នៅពេលយើងដាក់មេដៃស្តាំរបស់យើងតាមទិសដៅផ្ទៃ$\vec{A}$

ហើយក្តោបម្រាមវាចង្អុលទិសដៅកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីឬចរន្តអាំងឌ្វីដែលមានតម្លៃវិជ្ជមាន។ បើសិនយើងមើលរបុំពីខាងឆ្វេងនៃរូបខាងលើ ហើយមើលទៅវ៉ិចទ័រ$\vec{A}$ នោះទិសដៅកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំឌ្វីដូចទិសដៅទ្រនិចនាឡិកា។

+វិភាគនិងសន្និដ្ឋាន៖

បើសិនចុងនៃខ្សែរង្វង់បិទនេះតភ្ជាប់គ្នា នោះចរន្តក្នុងខ្សែរង្វង់មានទិសដៅដូចទ្រនិចនាឡិកាដែរ បើយើងមើលពីខាងឆ្វេងដូចកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីខាងលើ។ ចរន្តនេះបានបង្កើនតម្លៃភ្លុចម៉ាញេទិចក្នុងខ្សែរង្វង់បិទ ហេតុនេះវាមានទំនោរចង់ប្រឆាំងទៅនឹងការថយចុះនៃភ្លុច។ នេះជាឧទាហរណ៍នៃច្បាប់ឡិន។

២.៣ ច្បាប់ឡិន Lenz

ច្បាប់ឡិនជាវិធីផ្សេងដ៏ល្អមួយទៀត ក្នុងការរកទិសដៅចរន្តអាំងឌ្វី ឬកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វី។

ច្បាប់ឡិនមិនមែនជាគោលការណ៍ដោយឡែកនោះទេ គឺវាទាញចេញពីច្បាប់ Faraday។ វាតែងតែផ្តល់ចម្លើយដូចគ្នានឹងច្បាប់Faradayដែរ ប៉ុន្តែវាមានភាពងាយស្រួលប្រើជាង។ ច្បាប់ឡិនតែងតែជួយយើងអោយងាយយល់ពីផលអាំងឌុចស្យុង និងការរក្សាថាមពលទៀតផង។ លោកឡិន (H.F.E. Lenz) (1804-1865)គឺជាអ្នកវិទ្យាសាស្រ្តសញ្ជាតិរុស្ស៊ីដែលបន្ថែមលើច្បាប់ផារ៉ាដេ(Faraday) និងច្បាប់ហង់រី(Henry)។

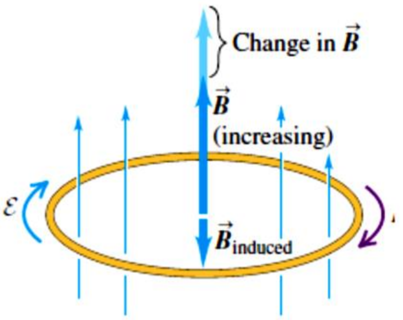
ច្បាប់ឡិនពោលថា៖ **ទិសដៅនៃផលអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិចណាមួយគឺចង់តែប្រឆាំងនឹងបុព្វហេតុដែលបង្កើតវា។**

បុព្វហេតុខាងលើ អាចជាបំរែបំរួលភ្លុចក្នុងសៀគ្វីនៅស្ងៀមមួយដោយសារមានបំរែបំរួលដែនម៉ាញេទិច ឬដោយសារមានចលនានៃខ្សែចម្លងដែលយកមកធ្វើសៀគ្វី ឬក៏ជាការចូលរួមផ្សំគ្នាណាមួយ។ បើសិនភ្លុចក្នុងសៀគ្វីនៅស្ងៀមមួយប្រែប្រួលដូចក្នុងឧទាហរណ៍ទី១ និងទី២ខាងលើ នោះចរន្តអាំងឌ្វីបានបង្កើតដែនម៉ាញេទិចផ្ទាល់ខ្លួនរបស់វា។ នៅក្នុងផ្ទៃដែលខ័ណ្ឌដោយសៀគ្វី ដែនម៉ាញេទិចផ្ទាល់នេះមានទិសដៅផ្ទុយពីដែនម៉ាញេទិចដើមបើសិនដែនម៉ាញេទិចដើមនេះកើនឡើង។ ប៉ុន្តែដែនម៉ាញេទិចថ្មីនេះមានទិសដៅដូចទិសដៅដែនម៉ាញេទិចដើម បើសិនដែនម៉ាញេទិចដើមថយចុះ។ ហេតុនេះហើយចរន្តអាំងឌ្វីប្រឆាំងទៅនឹងបំរែបំរួលភ្លុចក្នុងសៀគ្វី(មិនមែនបំរែបំរួលភ្លុចតែឯងនោះទេ)។ បើសិនភ្លុចប្រែប្រួលដោយសារមានបម្លាស់ទីនៃខ្សែចម្លង នោះទិសដៅនៃចរន្តអាំងឌ្វីក្នុងខ្សែចម្លងនោះតាមទិសដៅយ៉ាងណាដែលកម្លាំងនៃដែនម៉ាញេទិចដែលមានអំពើលើខ្សែចម្លងនោះផ្ទុយពីចលនាខ្សែចម្លង។ ដូច្នេះចលនានៃខ្សែចម្លងដែលបណ្តាលអោយកើតមានចរន្តអាំងឌ្វីគឺមានទិសដៅផ្ទុយ។ ក្នុងគ្រប់ករណីទាំងអស់ចរន្តអាំងឌ្វីព្យាយាមរក្សាស្ថានភាពដើមដោយធ្វើចលនាប្រឆាំង ឬបំរែបំរួលភ្លុច។

ច្បាប់ឡិនមានជាប់ទាក់ទងដោយផ្ទាល់ជាមួយច្បាប់រក្សាថាមពល។ បើសិនចរន្តអាំងឌ្វីស្ថិតក្នុងទិសដៅផ្ទុយពីចរន្តអាំងឌ្វីពោលដោយច្បាប់ឡិន នោះកម្លាំងម៉ាញេទិចដែលមានអំពើលើរបារបានស្ទុះយ៉ាងលឿនដោយមិនចាំបាច់មានប្រភពថាមពលពីខាងក្រៅ ប៉ុន្តែទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយថាមពលអគ្គិសនីត្រូវបានបាត់បង់នៅក្នុងសៀគ្វី។ នេះគឺជាការប្រឆាំងទៅលើច្បាប់រក្សាថាមពល ហើយមិនកើតមានឡើយក្នុងធម្មជាតិ។

ឧទាហរណ៍ច្បាប់ឡិនៈ ច្បាប់ឡិន និងទិសដៅចរន្តអាំងឌ្វី

រូបខាងក្រោម ដែនម៉ាញេទិចជាដែនឯកសណ្ឋាន$\vec{B}$ ឆ្លងកាត់ខ្សែរង្វង់បិទមួយ។ តម្លៃដែននេះកើនឡើង ហេតុនេះវាបណ្តាលអោយកើតមានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វី។ យើងនឹងប្រើច្បាប់ឡិនដើម្បីរកទិសដៅនៃចរន្តអាំងឌ្វី។



រូបទី២.១១.ទិសដៅចរន្តអាំងឌ្វី

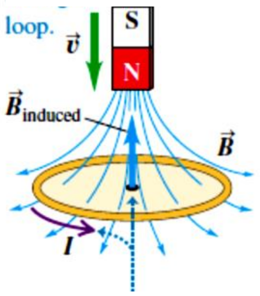
សំគាល់៖ ចរន្តអាំងឌ្វីដែលកើតពីបំរែបំរួលដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$គឺមានទិសដៅដូចទិសដៅទ្រនិចនាឡិកា។ ដែនម៉ាញេទិចបន្ថែមថ្មី$\vec{B}$(induced) មានទិសដៅចុះក្រោមដើម្បីប្រឆាំងនឹងបំរែបំរួល(កំណើន) ដែនម៉ាញេទិចដែលមានទិសដៅឡើងលើ (change in $\vec{B}$)។

<u>ដំណោះស្រាយ</u>

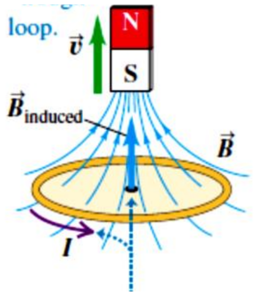
ស្ថានភាពលំហាត់នេះដូចក្នុងស្ថានភាពក្នុង ឧទាហរណ៍ទី១ខាងលើ តាមច្បាប់ឡិន ចរន្តអាំងឌ្វីត្រូវបង្កើតដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$(induced) នៅខាងក្នុងខ្សែវង់បិទហើយមានទិសដៅចុះក្រោមដែលប្រឆាំងនឹងបំរែបំរួលភ្លុច។ តាមវិធានដៃស្តាំក្នុងការរកទិសដៅដែនម៉ាញេទិចនៃចរន្តវង់ តាមរូបខាងលើយើងបានចរន្តអាំងឌ្វីមានទិសដៅដូចទ្រនិចនាឡិកាបើយើងមើលពីលើ។

ចំណែករូបខាងក្រោមបង្ហាញពីការអនុវត្តច្បាប់ឡិនជាច្រើនករណី ដែលមេដែកផ្លាស់ទីនៅជិតខ្សែវង់បិទ។ ក្នុងករណីនីមួយៗ ចរន្តអាំងឌ្វីបង្កើតដែនម៉ាញេទិចដែលទិសដៅរបស់វាប្រឆាំងទៅនឹងបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិចឆ្លងកាត់ខ្សែវង់បិទដោយសារបម្លាស់ទីនៃមេដែក។

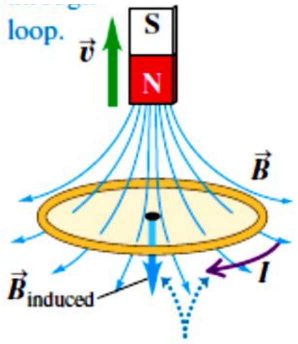
(a) ចលនារបស់មេដែកធ្វើឱ្យកើនភ្លុចចុះក្រោមឆ្លងកាត់ខ្សែវង់។



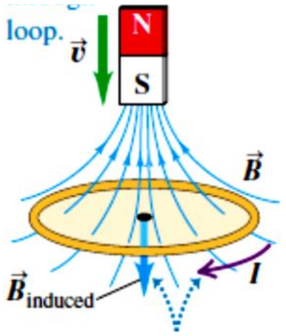
ចលនារបស់មេដែកធ្វើឱ្យថយភ្លុចឡើងលើឆ្លងកាត់ខ្សែវង់។



(c) ចលនារបស់មេដែកធ្វើឱ្យថយភ្លុចចុះក្រោមឆ្លងកាត់ខ្សែវង់។



ចលនារបស់មេដែកធ្វើឱ្យកើនភ្លុចឡើងលើឆ្លងកាត់ខ្សែវង់។



រូបទី២.១២.ពិសោធន៍ច្បាប់ឡិន

ច្បាប់ឡិន និងការឆ្លើយតបទៅនឹងការប្រែប្រួលនៃភ្លុចម៉ាញេទិចៈ

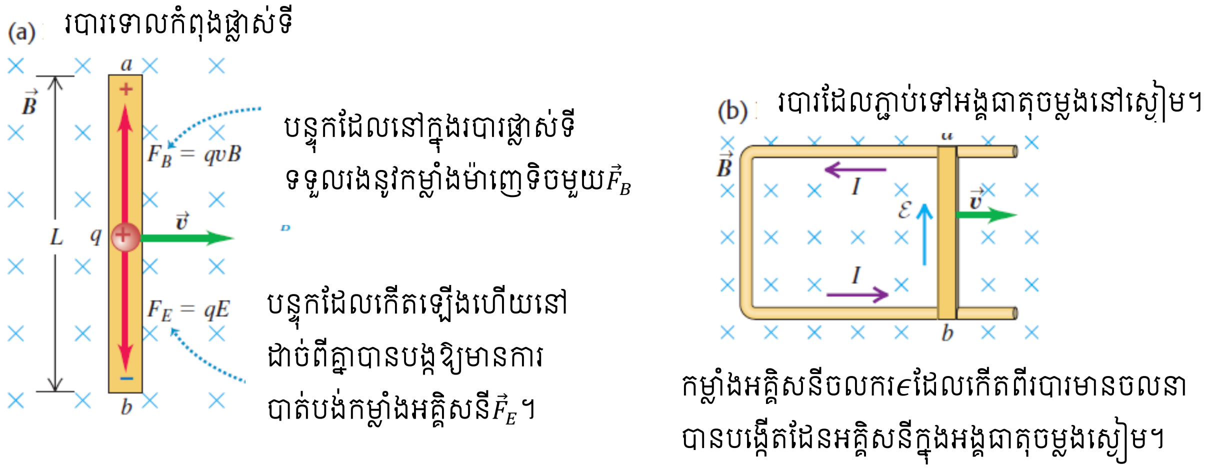
ដោយសារចរន្តអាំងឌ្វីតែងតែប្រឆាំងការប្រែប្រួលភ្លុចម៉ាញេទិចក្នុងសៀគ្វី ហើយថាតើភ្លុចប្រែប្រួលយ៉ាងដូចម្តេច? ចម្លើយគឺតាម**ច្បាប់ឡិន** យើងអាចកំណត់បានតែទិសដៅនៃចរន្តអាំងឌ្វីតែប៉ុណ្ណោះ ចំណែកឯតម្លៃនៃចរន្តគឺអាស្រ័យទៅនឹង**រេស៊ីស្តង់របស់សៀគ្វី**។ រេស៊ីស្តង់របស់សៀគ្វីកាន់តែធំ នោះចរន្តអាំងឌ្វីកាន់តែតូច ដែលកើតឡើងដើម្បីប្រឆាំងទៅនឹងការប្រែប្រួលភ្លុចហើយងាយស្រួលក្នុងការធ្វើអោយមានបំរែបំរួលភ្លុចដើម្បីបង្កើតផលរបស់វា។ បើសិនខ្សែរង្វង់បិទធ្វើអំពីឈើ(អ៊ីសូឡង់) នោះចរន្តអាំងឌ្វីសូន្យដើម្បីឆ្លើយតបទៅនឹងបំរែបំរួលភ្លុចឆ្លងកាត់ខ្សែរង្វង់បិទ។

ប្រាសមកវិញ បើរេស៊ីស្តង់របស់សៀគ្វីតូច នោះចរន្តអាំងឌ្វីមានតម្លៃធំ នៅពេលនេះពិបាកក្នុងការធ្វើអោយភ្លុចប្រែប្រួលក្នុងសៀគ្វី។ បើសិនខ្សែរង្វង់បិទជាខ្សែចម្លងល្អឥតខ្ចោះ នោះចរន្តអាំងឌ្វីងាយនឹងកើតឡើងនៅពេលមានបម្លាស់ទីមេដែកនៅក្បែរខ្សែរង្វង់បិទនេះ។ នៅពេលមេដែក និងខ្សែរង្វង់បិទមិនមានចលនា(នៅស្ងៀម) នោះចរន្តអាំងឌ្វីថយចុះដល់សូន្យ ដោយសារមានរេស៊ីស្តង់ខ្លះៗក្នុងសៀគ្វី។

ក្នុងករណីល្អខ្លាំងមែនទែនអាចកើតមាននៅពេលរេស៊ីស្តង់របស់សៀគ្វីសូន្យ បន្ទាប់មកចរន្តអាំងឌ្វីនឹងនៅបន្តមានលំហូរក្នុងសៀគ្វី ទោះបីកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីឈប់កើតមានក៏ដោយ(ក្រោយពេលមេដែកឈប់ផ្លាស់ទី)។ អរគុណដល់បាតុភូតនេះដែលអាចកើតមាននៅពេលភ្លុចដែលឆ្លងកាត់សៀគ្វីនៅថេរដដែលដូចកាលមុនពេលមេដែកចាប់ផ្តើមផ្លាស់ទី។ ដូចនេះភ្លុចឆ្លងកាត់ខ្សែរង្វង់បិទមិនផ្លាស់ប្តូរជានិច្ច។ សារធាតុដែលយកមកធ្វើខ្សែរង្វង់បិទហើយអាចមានរេស៊ីស្តង់សូន្យគឺស៊ុបភើកុងឌុចទ័រ។

២.៤ កម្លាំងអគ្គិសនីកើតមានពេលរបាផ្លាស់ទី

យើងបានឃើញស្ថានភាពជាច្រើនដែលអង្គធាតុចម្លងផ្លាស់ទីក្នុងដែនម៉ាញេទិច ដូចក្នុងករណីឧបករណ៍ផលិតអគ្គិសនី(generator)។ យើងអាចពង្រីកការយល់ច្រើនបន្ថែមទៀតលើសពីដើមកំណើតកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីក្នុងស្ថានភាពនេះ ដោយពិចារណាលើកម្លាំងម៉ាញេទិចដែលមានអំពើលើបន្ទុកអគ្គិសនីផ្លាស់ទីក្នុងអង្គធាតុចម្លង។ រូបខាងក្រោមបង្ហាញពីរបារផ្លាស់ទីនៅលើអង្គធាតុចម្លងរាងអក្សរ U។



រូបទី២.១៣.(a) កម្លាំងម៉ាញេទិចបញ្ចេញលើបន្ទុកក្នុងរបារ

(b)កម្លាំងអគ្គិសនីចលកដែលកើតពីរបារផ្លាស់ទីក្នុងដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋាន។

ដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ ជាដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋាន ហើយមានទិសដៅចូលក្នុងប្លង់ក្រដាសទំព័រនេះ ហើយយើងធ្វើអោយរបារផ្លាស់ទីទៅខាងស្តាំដោយល្បឿនថេរ$\vec{v}$ ។ បន្ទុកអគ្គិសនីមួយq ក្នុងរបារហើយវាទទួលរងនូវកម្លាំងម៉ាញេទិច $\vec{F} = q\vec{v}\times\vec{B}$ ហើយតម្លៃវាគឺ$F = |q|vB$ ។ យើងសន្មតថាបន្ទុកវិជ្ជមាននោះទិសដៅកម្លាំងម៉ាញេទិចឡើងលើតាមបណ្តោយរបារពី b ទៅa ។

កម្លាំងម៉ាញេទិចនេះធ្វើអោយបន្ទុកសេរី(ឯកោ មិនមានអន្តរកម្មជាមួយអ្វីផ្សេងទៀត) ក្នុងរបារផ្លាស់ទីដែលបង្កើតអោយមានបន្ទុកវិជ្ជមានយ៉ាងច្រើននៅខាងចុង a ហើយបន្ទុកអវិជ្ជមាននៅផ្នែកខាងក្រោមខាងចុងb ។ ក្នុងលក្ខខណ្ឌនេះវាបានបង្កើតដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ ក្នុងរបារនេះហើយមានទិសដៅពី a ទៅ b (ដែនអគ្គិសនីនេះមានទិសដៅផ្ទុយពីកម្លាំងម៉ាញេទិច)។ បន្ទុកអគ្គិសនីចេះតែបន្តផ្តុំគ្នាច្រើនឡើងៗនៅចុងរបាររហូតបានដែនអគ្គិសនីធំគ្រប់គ្រាន់សម្រាប់បង្កើតកម្លាំងអគ្គិសនីទិសដៅចុះក្រោម $(F = qE)$ ហើយកម្លាំងនេះទប់ទល់នឹងកម្លាំងម៉ាញេទិចដែលមានទិសដៅឡើងលើ$(F = qvB)$ ។ យើងបាន$qE = qvB$ នៅពេលនេះបន្ទុកអគ្គិសនីស្ថិតក្នុងភាពមានលំនឹង។ គេបាន$E = vB$

តម្លៃផលសងប៉ូតង់ស្យែល$V_{ab} = V_a - V_b$ ស្មើនឹងផលគុណរវាងដែនអគ្គិសនី E និងប្រវែងរបារ L ។ យើងបានផលសងប៉ូតង់ស្យែល $V_{ab} = EL = vBL$ ដែលប៉ូតង់ស្យែលត្រង់ចំនុច a ធំជាងប៉ូតង់ស្យែលត្រង់ចំនុច b ។

ឥលូវយើងក្រលេកមកមើលរបារមួយផ្លាស់ទីលើអង្គធាតុចម្លងរាងអក្សរU ម្តង ហើយវាបានបង្កើតជាសៀគ្វីបិទមួយ(រូបb ខាងលើ)។ គ្មានកម្លាំងម៉ាញេទិចដែលមានអំពើលើបន្ទុក ក្នុងអង្គធាតុចម្លងរាង

អក្សរបដែលនៅស្មៀមនោះទេ ប៉ុន្តែបន្ទុកដែលនៅក្បែរចំនុច a និង b បានពង្រាយគ្នាឡើងវិញនៅលើអង្គធាតុចម្លងរាងអក្សរបដែលនៅស្មៀម ហើយបានបង្កើតដែនអគ្គិសនីនៅក្នុងរបារនេះ។ ដែនអគ្គិសនីនេះបានបង្កើតចរន្តដែលមានទិសដៅដូចក្នុងរូប។ របារដែលផ្លាស់ទីបានក្លាយទៅជាប្រភពកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ ហើយបន្ទុកបានផ្លាស់ទីពីប៉ូតង់ស្យែលខ្ពស់មកប៉ូតង់ស្យែលទាប។ យើងហៅកម្លាំងអគ្គិសនីចលករថាជា**កម្លាំងអគ្គិសនីចលករបានមកពីចលនានៃរបារ**។

តាងដោយ $\varepsilon = vBL$ (ε, v, L)កែងនឹង B ឯកសណ្ឋាន។

កម្លាំងអគ្គិសនីចលករនេះជាតម្លៃកម្លាំងក្នុងមួយខ្នាតបន្ទុកហើយគុណនឹងប្រវែងរបារ L ។ បើសិនជារេស៊ីស្តង់សរុបរវាងរបារ និងអង្គធាតុចម្លងគឺR ហើយចរន្តអាំងឌីគឺ I ។

គេបាន$IR = vBL$ តាមពិតទៅ កម្លាំងអគ្គិសនីចលករបានមកពីចលនានៃរបារជាករណីពិសេសនៃច្បាប់ *Faraday*។

កម្លាំងអគ្គិសនីចលករនេះប្រៀបបានទៅនឹងថ្មពិលដែលមានប៉ូលបូកខាងa និងប៉ូលដកខាងb ទោះបីប្រភពនៃកម្លាំងអគ្គិសនីចលករមានភាពខុសគ្នាក៏ដោយ។ ក្នុងករណីនីមួយៗ កម្លាំងមិនអេឡិចត្រូស្តាទិចមានអំពើលើបន្ទុកក្នុងឧបករណ៍ ក្នុងទិសដៅពី b ទៅ a ហើយ**កម្លាំងអគ្គិសនីចលករជាកម្មន្តក្នុងមួយខ្នាតបន្ទុកធ្វើដោយកម្លាំងមិនអេឡិចត្រូស្តាទិច** នៅពេលបន្ទុកផ្លាស់ទីពី b ទៅ a ក្នុងឧបករណ៍នេះ។ នៅពេលឧបករណ៍នេះភ្ជាប់ទៅសៀគ្វីក្រៅ នោះទិសដៅចរន្តរត់ពី b ទៅ aក្នុងឧបករណ៍ ប៉ុន្តែចរន្តរត់ពី a ទៅ bក្នុងសៀគ្វីក្រៅ។ កម្លាំងអគ្គិសនីចលករនេះប្រៀបបានទៅនឹងថ្មពិលដែលមានតែកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ នៅពេលវាមិនទាន់ភ្ជាប់ទៅសៀគ្វីក្រៅ។ ទិសដៅនៃកម្លាំងអគ្គិសនីចលករក្នុងរូបខាងលើអាចកំណត់បានដោយប្រើច្បាប់ឡិន ប៉ុន្តែបានតែក្នុងករណីអង្គធាតុចម្លងមិនបង្កើតបានសៀគ្វីបិទដូចក្នុងរូប(a) ខាងលើ។ ក្នុងករណីនេះយើងអាចធ្វើសៀគ្វីអោយក្លាយជាសៀគ្វីបិទតែនៅក្នុងចិត្តរបស់យើង ហើយយើងប្រើច្បាប់ឡិន ដើម្បីកំណត់រកទិសដៅចរន្ត។ យើងកំណត់យកការចែកប៉ូលនៃចុងរបស់របារនៃអង្គធាតុចម្លងជាសៀគ្វីចំហ។ ទិសដៅពីប៉ូលខាងដក$(-)$ទៅប៉ូលខាងបូក$(+)$ នៅក្នុងរបារគឺជាទិសដៅចរន្តដែលត្រូវហូរបើសិនជាសៀគ្វីបិទ។

យើងក៏អាចផ្ទៀងផ្ទាត់ថា បើសិនល្បឿនគិតជា$(\frac{m}{s})$ ហើយដែនម៉ាញេទិចគិតជាតេស្លា(T) ប្រវែងគិតជាម៉ែត្រ(m)នោះកម្លាំងអគ្គិសនីចលករគិតជាវ៉ុល(V) $\left(1V = \frac{1J}{C}\right)$

ទម្រង់ទូទៅនៃកម្លាំងអគ្គិសនីចលករនៃចលនារបស់របារ

យើងអាចរកទូទៅកម្មនៃកម្លាំងអគ្គិសនីចលករនៃចលនានេះសម្រាប់អង្គធាតុចម្លងដែលមានរាងយ៉ាងណាក៏បាន ហើយវាផ្លាស់ទីក្នុងដែនម៉ាញេទិចណាមួយ ដែលអាចជាដែនឯកសណ្ឋាន ឬក៏មិនឯកសណ្ឋាន (ដោយសន្មតថាដែនម៉ាញេទិចនៅត្រង់ចំនុចនីមួយៗមិនប្រែប្រួលតាមពេល)។ សម្រាប់

ជាតុនៃអង្គធាតុចម្លងមួយ $d\vec{l}$ នោះយើងបានជាតុនៃកម្លាំងអគ្គិសនីចលករគឺ$d\varepsilon$ គឺជាផលគុណរវាង $d\vec{l}$ និង$\vec{v}\times\vec{B}$ (វាជាកម្លាំងម៉ាញេទិចក្នុងមួយខ្នាតបន្ទុកដែលស្របទៅនឹងរ៉ិចទ័រប្រវែង$d\vec{l}$)

យើងបាន $d\varepsilon=\left(\vec{v}\times\vec{B}\right)\cdot d\vec{l}$

សម្រាប់ខ្សែចម្លងវង់បិទ នោះកម្លាំងអគ្គិសនីចលករសរុបគឺ $\varepsilon=\oint\left(\vec{v}\times\vec{B}\right)\cdot d\vec{l}$

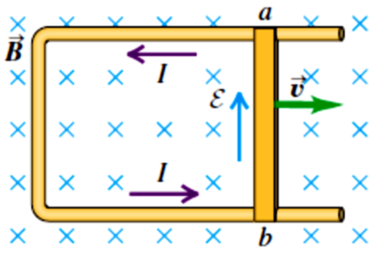
រូបមន្តនេះមានរាងខុសគ្នាខ្លាំងណាស់ធៀបជាមួយច្បាប់ Faraday$\varepsilon=-\frac{d\Phi_B}{dt}$

តាមពិតទៅច្បាប់ទាំងពីរនេះវាសមមូលគ្នា។ វាអាចត្រូវបានបង្ហាញថា កម្រិតនៃបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិចឆ្លងកាត់ខ្សែចម្លងវង់បិទត្រូវបានផ្តល់ដោយទំនាក់ទំនង $\frac{d\Phi_B}{dt}=-\oint\left(\vec{v}\times\vec{B}\right)\cdot d\vec{l}$

រូបមន្តនេះផ្តល់នូវវិធីសមមូលផ្សេងមួយទៀតនៃច្បាប់ផារ៉ាដេ(Faraday)។ រូបមន្តនេះមានភាពងាយស្រួលជាងរូបមន្តដើមបើសិនអង្គធាតុចម្លងផ្លាស់ទីក្នុងដែនម៉ាញេទិច។ ប៉ុន្តែបើសិនខ្សែវង់បិទក្នុងដែនម៉ាញេទិចប្រែប្រួលនោះសមីការ$\varepsilon=-\frac{d\Phi_B}{dt}$ ជារូបមន្តក្នុងច្បាប់ Faraday ដែលត្រឹមត្រូវជាង។

ឧទាហរណ៍ទី៣ (កម្លាំងអគ្គិសនីចលករនៃចលនាក្នុងប្រភពអគ្គិសនីនៃខ្សែផ្លាស់ទី)

ឧបមាថា របារមួយផ្លាស់ទីដូចរូបខាងក្រោម របារមានប្រវែង$0.10m$ ល្បឿនរបស់របារគឺ$v=2.5\frac{m}{s}$ ។ រេស៊ីស្តង់សរុបនៃខ្សែវង់បិទគឺ0.030Ω ហើយដែនម៉ាញេទិច$0.60T$ ។ ចូររកកម្លាំងអគ្គិសនីចលករនៃចលនា ចរន្តអាំងឌ្វី និងកម្លាំងដែលមានអំពើលើរបារ។



រូបទី២.១៤.របារដែលភ្ជាប់ទៅអង្គធាតុចម្លងនៅស្ងៀម។

<u>**ដំណោះស្រាយ**</u>

+ការកំណត់ និងរៀបចំគម្រោង៖

អញ្ញត្តិដែលសំខាន់គឺកម្លាំងអគ្គិសនីចលករនៃចលនាដោយសារបម្លាស់ទីនៃរបារ ហើយយើងនឹងរកតាមរូបមន្ត$\varepsilon=vBL$ ។ យើងនឹងរកចរន្តតាមតម្លៃនៃកម្លាំងអគ្គសនីចលករε និងរេស៊ីស្តង់ R ។ ហើយកម្លាំងមានអំពើលើរបារគឺកម្លាំងម៉ាញេទិចដែលបញ្ចេញដោយដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ ទៅលើចរន្តផ្លាស់ទីក្នុងរបារ ហើយរកកម្លាំងតាមរូបមន្ត$\vec{F}=I\vec{L}\times\vec{B}$

+ អនុវត្តគម្រោង៖

តាមរូបមន្ត $\varepsilon = vBL = \left(\frac{2.5m}{s}\right)(0.60T)(0.10m) = 0.15V$

គេបានចរន្តអាំងឌីគឺ $I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{0.15V}{0.030\Omega} = 5.0A$

ហើយគេបានកម្លាំងម៉ាញេទិច $\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$ ដែលវ៉ិចទ័រ $\vec{L}$ មានទិសដៅដូចចរន្តអាំងឌីពី b ទៅកាន់ a ។ ដោយអនុវត្តវិធានដៃស្តាំសម្រាប់ផលគុណវ៉ិចទ័រ ហើយវាបានបង្ហាញថាកម្លាំងត្រូវមានទិសដៅផ្ទុយពីចលនារបស់របារ។

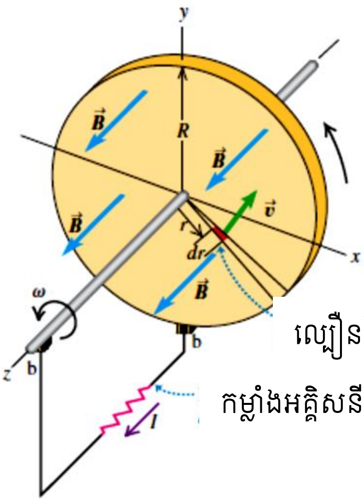
ដោយវ៉ិចទ័រ $\vec{L}$ និង $\vec{B}$ កែងគ្នា គេបានតម្លៃកម្លាំង $F = IBL = (5.0A)(0.10m)(0.60T) = 0.30N$ ។

+វិភាគនិងសន្និដ្ឋាន៖

យើងអាចពិនិត្យមើលចម្លើយរបស់យើងអំពីទិសដៅរបស់កម្លាំងដោយប្រើច្បាប់ឡិន។ បើសិនយើងជ្រើសរើសទិសដៅនៃវ៉ិចទ័រផ្ទៃ $\vec{A}$ ដូចទិសដៅដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ នោះភ្លុចម៉ាញេទិចមានតម្លៃវិជ្ជមាន ហើយភ្លុចនេះកើនឡើងនៅពេលរបារផ្លាស់ទីទៅខាងស្តាំ ហើយផ្ទៃខ្សែរង្វង់ក៏កើនឡើងដែរ។ ច្បាប់ឡិនប្រាប់យើងថា កម្លាំងមួយកើតឡើងដើម្បីប្រឆាំងនឹងការកើនឡើងនៃភ្លុចនេះ។ ដូចនេះកម្លាំងមានអំពើលើរបារមានទិសដៅទៅខាងឆ្វេងប្រឆាំងនឹងចលនារបស់របារ។

ឧទាហរណ៍៤ (ឌីណាម៉ូផារ៉ាដេ Faraday)

រូបខាងក្រោមបង្ហាញពីថាសចម្លងមួយដែលមានកាំ R ដែលស្ថិតក្នុងប្លង់ (xy) ហើយវិលដោយល្បឿនមុំ ω ជុំវិញអ័ក្ស z ។ ថាសនេះស្ថិតក្នុងក្នុងដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋានហើយមានទិសដៅតាមអ័ក្ស z ។ ចូររកកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌីរវាងផ្ចិតថាស និងគែមរបស់ថាស។



រូបទី២.១៥.ចរន្តអេឌី

ល្បឿននៃធាតុតូចមួយរបស់កាំដែលមានប្រវែង dr នៅត្រង់កាំ r គឺ $v = \omega r$

កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌីក្នុងធាតុតូចមួយនេះគឺ $d\epsilon = vBdr = \omega Br\, dr$

ដំណោះស្រាយ

+ការកំណត់ និងរៀបចំគម្រោង៖

កម្លាំងអគ្គិសនីចលករនៃចលនាកើតមានឡើងដោយសារថាសចម្លងមានចលនាធៀបទៅនឹងដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ ។ បញ្ហាវិបាកគឺថា ផ្នែកខុសៗគ្នានៃថាសមានចលនាដោយល្បឿនខុសៗគ្នាv ដែលអាស្រ័យទៅនឹងចម្ងាយធៀបទៅនឹងអ័ក្សរង្វិល។ យើងពិចារណាលើផ្នែកដ៏តូចមួយនៃថាស ហើយយើងធ្វើអាំងតេក្រាលរកអញ្ញត្តិគោលដៅរបស់យើងគឺកម្លាំងអគ្គិសនីចលកររវាងផ្ចិត និងគែម។ យើងពិនិត្យមើលផ្នែកដ៏តូចមួយនៃថាសដូចបានបង្ហាញដោយពណ៌ក្រហមដូចបានបង្ហាញក្នុងរូបខាងលើ ហើយមានល្បឿន $\vec{v}$ ។ កម្លាំងម៉ាញេទិចក្នុងមួយខ្នាតបន្ទុកកំណត់ដោយ$\vec{v}\times\vec{B}$ ដែលមានអំពើលើថាសត្រង់ចំនុចនោះមានទិសដៅចេញទៅក្រៅតាមកាំរបស់ថាសដោយចេញពីផ្ចិតរបស់វា។ ហេតុនេះហើយបានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករផ្តល់ចរន្តផ្លាស់ទីចេញពីផ្ចិតសំដៅទៅខាងក្រៅ នេះបានបង្ហាញយើងអោយដឹងថា ផ្លូវចម្លងដែលផ្លាស់ទីគឺចេញពីផ្ចិតទៅគែមរបស់ថាសតាមខ្សែត្រង់។ យើងអាចរកកម្លាំងអគ្គិសនីចលករពីចំនុចតូចៗនៃថាសតាមបណ្តោយនៃខ្សែត្រង់នេះដោយប្រើ$d\varepsilon=\left(\vec{v}\times\vec{B}\right)\cdot d\vec{l}$ ហើយបន្ទាប់មកយើងអាំងតេក្រាលដើម្បីរកកម្លាំងអគ្គិសនីចលករសរុប។

+អនុវត្តគម្រោង៖ វ៉ិចទ័រប្រវែង$d\vec{l}$ (ឬ$d\vec{r}$) ដែលជាប់ទាក់ទងទៅនឹងផ្នែកតូចមួយនៃថាសហើយមានទិសដៅពីផ្ចិតទៅគែមនៃថាស ហើយមានទិសដៅដូចផលគុណវ៉ិចទ័រ$\vec{v}\times\vec{B}$ ។ វ៉ិចទ័រ$\vec{v}$ និង$\vec{B}$ កែងគ្នា។ ហើយតម្លៃនៃល្បឿន$v=\omega r$ ។ គេបានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករដែលកើតពីផ្នែកតូចមួយនៃថាស គឺ $d\varepsilon=\left(\vec{v}\times\vec{B}\right)\cdot d\vec{r}=\omega Brdr$ ។ គេបានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករសរុបគឺជាអាំងតេក្រាលនៃ$d\varepsilon=\omega Brdr$ ពីផ្ចិត $r=0$ ទៅគែមថាស $r=R$ យើងបាន $\varepsilon=\int_0^R \omega Brdr=\frac{1}{2}\omega BR^2$ ។

លំហាត់អនុវត្ត

ច្បាប់ផារ៉ាដេ$\mathcal{F}araday$

១. ខ្សែចម្លងវង់មួយមានផ្ទៃក្រឡា $0.9000m^2$ ស្ថិតក្នុងដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋានដែលមានតម្លៃដើមស្មើនឹង $3.80T$ ដែលកែងនឹងប្លង់នៃខ្សែវង់នោះហើយថយចុះដោយអត្រាថេរ $0.190\frac{T}{s}$ ។

ក. តើកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីកើតមានក្នុងខ្សែវង់ស្មើប៉ុន្មាន?

ខ. កំណត់ចរន្តអាំងឌ្វីក្នុងខ្សែវង់ បើសិនខ្សែវង់នេះមានរេស៊ីស្តង់ 0.600Ω ។

២. ខ្សែចម្លងវង់មួយមានកាំស្មើនឹង $12.0cm$ ដែលដំបូងឡើយដាក់ផ្ដេកក្នុងប្លង់ (xy) ដែលស្ថិតក្នុងតំបន់នៃដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋាន ។ ដែនម៉ាញេទិច $1.5T$ មានទិសដៅតាមបណ្ដោយអ័ក្ស z វិជ្ជមានទៅលើ ។

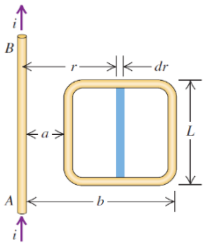
ក. ប្រសិនបើខ្សែវង់នេះត្រូវផ្លាស់ទីចេញពីតំបន់នៃដែនម៉ាញេទិចនេះក្នុងចន្លោះពេល $2.0ms$ កំណត់កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីដែលនឹងកើតមានក្នុងខ្សែវង់ក្នុងដំណើរការនេះ ។

ខ. ប្រសិនបើខ្សែវង់នេះត្រូវបានគេសង្កេតមើលពីប្លង់វិញ តើចរន្តអាំងឌ្វីនៅក្នុងខ្សែវង់តាមទិសដៅស្របទ្រនិចនាឡិកាឬច្រាសទ្រនិចនាឡិកា ?

៣. បូប៊ីនមួយមានកាំស្មើ $4.00cm$ និងមានចំនួន 500 ស្ពៀត្រូវបានដាក់ក្នុងដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋានដែលប្រែប្រួលតាមពេលមានសមីការ $B=\left(0.0120\frac{T}{s}\right)t+\left(3.00\times10^{-5}\frac{T}{s^4}\right)t^4$ ។ បូប៊ីនត្រូវបានតភ្ជាប់នឹងរេស៊ីស្តរ600Ω ហើយប្លង់របស់វាកែងនឹងដែនម៉ាញេទិច។ រេស៊ីស្តង់របស់បូប៊ីនអាចចោលបាន ។ (ក). កំណត់តម្លៃនៃកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីក្នុងបូប៊ីនជាអនុគមន៍នៃពេល។ (ខ). តើចរន្តអាំងឌ្វីនៅក្នុងរេស៊ីស្តរនៅខណៈ $t=5.00s$ ស្មើប៉ុន្មាន ?

៤. ចរន្តអគ្គិសនីនៅក្នុងខ្សែចម្លងវែងត្រង់ AB ដូចរូបបង្ហាញផ្លាស់ទីទៅលើនិងកើនឡើងដោយអត្រា $\frac{di}{dt}$ ។ (ក). នៅខណៈពេលចរន្តអគ្គិសនីស្មើ i កំណត់តម្លៃនិងទិសដៅនៃដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ នៅចម្ងាយr ផ្នែកខាងស្ដាំនៃខ្សែចម្លង ។ (ខ) .កំណត់ភ្លុច ⍰$_B$ឆ្លងកាត់បន្ទះនីមួយៗនៃបន្ទះវង់នេះ ។

(គ). កំណត់ភ្លុចម៉ាញេទិចសរុបឆ្លងកាត់បន្ទះវង់ ។ (ឃ) . តើមានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីស្មើប៉ុន្មានក្នុងបន្ទះវង់នេះ ? (ង) កំណត់តម្លៃនៃកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វី បើ $a=12.0cm, b=36.0cm, L=24.0cm$និង $\frac{di}{dt}=9.60\frac{A}{s}$ ។



រូបទី២.១៦.ខ្សែចម្លងវែងAB

មេរៀនទី៣៖ ច្បាប់អំពែ(Ampere's Law)

សម្រាប់បញ្ហាដែលទាក់ទងនឹងដែនអគ្គិសនី យើងបានរកឃើញថាក្នុងស្ថានភាពដែលមានរបាយបន្ទុកស៊ីមេទ្រីខ្ពស់ យើងគួរតែប្រើប្រាស់ច្បាប់ហ្គោស($Gauss$) ដើម្បីរកដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ ។ ហើយមានច្បាប់មួយទៀតដែលអាចប្រើប្រាស់សម្រាប់រកដែនម៉ាញេទិចយ៉ាងងាយ ដែលកើតពីរបាយស៊ីមេទ្រីខ្ពស់។ ប៉ុន្តែច្បាប់ដែលអនុញ្ញាតិឲ្យយើងរកដែនម៉ាញេទិចគឺ**ច្បាប់អំពែ** វាមានលក្ខណៈខុសប្លែកអំពីច្បាប់ហ្គោស($Gauss$) ។

ច្បាប់$Gauss$ សម្រាប់ដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ ដែលទាក់ទងទៅនឹងភ្លុចអគ្គិសនីក្នុងផ្ទៃបិទបានពោលថាភ្លុចអគ្គិសនីស្មើនឹងបន្ទុកសរុបដែលនៅជុំវិញនិងក្នុងផ្ទៃ ហើយចែកនឹងតម្លៃថេរមួយ ε_0។ ដូច្នេះច្បាប់នេះគឺជាទំនាក់ទំនងរវាងដែនអគ្គិសនីនិងរបាយបន្ទុកអគ្គិសនី។ ផ្ទុយទៅវិញច្បាប់ $Gauss$ សម្រាប់ដែនម៉ាញេទិចមិនមែនជាទំនាក់ទំនងរវាងដែនម៉ាញេទិចនិងរបាយចរន្តនោះទេ ប៉ុន្តែវាជាទំនាក់ទំនងរវាងភ្លុចម៉ាញេទិចក្នុងផ្ទៃបិទមួយមានតម្លៃសូន្យជានិច្ច ទោះបីមានឬគ្មានចរន្តក្នុងផ្ទៃនោះក៏ដោយ។ ដូចនេះច្បាប់$Gauss$ មិនអាចប្រើសម្រាប់រកដែនម៉ាញេទិចដែលកើតពីរបាយចរន្តពិសេសណាមួយ។

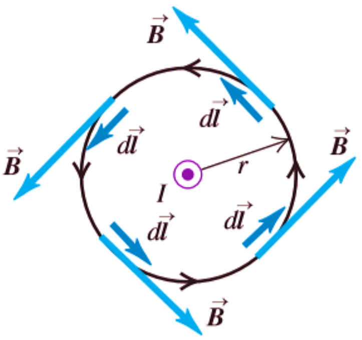
ច្បាប់អំពែ$Ampere's$ មួយមិនមែនជាទំនាក់ទំនងរវាងភ្លុចម៉ាញេទិចទេ ប៉ុន្តែវាជាប់ទាក់ទងទៅនឹងអាំងតេក្រាលលើខ្សែដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ជុំវិញគន្លងបិទជិតហើយកំណត់ដោយរូបមន្ត $\oint \vec{B}\cdot d\vec{l}$ ។ យើងប្រើអាំងតេក្រាលខ្សែខាងលើដើម្បីរកកម្មន្តនិងដើម្បីរកប៉ូតង់ស្យែលអគ្គិសនី។ យើងកាត់គន្លងបិទនេះជាចំណែកតូចៗ dl ហើយគណនាផលគុណស្កាលែ $\vec{B}\cdot d\vec{l}$សម្រាប់ចំណែកតូចនីមួយៗ បន្ទាប់មកបូកសរុបផលគុណស្កាលែនេះបញ្ចូលគ្នា។

ជាទូទៅដែនម៉ាញេទិចប្រែប្រួលពីចំណុចមួយទៅចំណុចមួយទៀត ហើយយើងត្រូវប្រើតម្លៃដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ ត្រង់ទីតាំងនីមួយៗ $d\vec{l}$ អាចសរសេរក្រោមទម្រង់ផ្សេងទៀតគឺ $\oint \vec{B}_{\parallel}\cdot d\vec{l}$ដែល $B_{\parallel}$ ជាផ្នែកមួយនៃដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ ហើយស្របទៅនឹង $d\vec{l}$នៅត្រង់ទីតាំងនីមួយៗ។ ហើយសញ្ញារង្វង់នៅលើអាំងតេក្រាលបញ្ជាក់ថាអាំងតេក្រាលនេះតែងតែគណនាសម្រាប់ផ្លូវបិទ(ចំណុចចាប់ផ្តើមនិងចំណុចបញ្ចប់ស្ថិតនៅត្រង់ចំណុចតែមួយ(close path) ។

ច្បាប់អំពែសម្រាប់អង្គធាតុចម្លងវែងត្រង់

យើងពិនិត្យមើលច្បាប់$Ampere's$ លើអង្គធាតុចម្លងវែងត្រង់ដូចរូបខាងក្រោម។ ដើម្បីណែនាំគំនិតគ្រឹះនៃច្បាប់អំពែ យើងគួរពិចារណាម្តងទៀតលើដែនម៉ាញេទិចដែលកើតពីអង្គធាតុចម្លងវែងត្រង់ដែលឆ្លងកាត់ដោយចរន្តអគ្គិសនី។ យើងបានឃើញហើយថា ដែនម៉ាញេទិចដែលស្ថិតនៅចម្ងាយ r ពីអង្គធាតុ

ចម្លងគឺ $B = \mu_0 \frac{I}{2\pi r}$ ដែលខ្សែដែនម៉ាញេទិចមានរាងជារង្វង់មានផ្ចិតនៅលើខ្សែចម្លង។ យើងធ្វើអាំងតេក្រាលខ្សែនៃដែនម៉ាញេទិចជុំវិញរង្វង់ដែលមានកាំ r ហើយដូចរូបបង្ហាញខាងក្រោម។



រូបទី៣.១ គន្លងអាំងតេក្រាលមានផ្ចិតនៅលើអង្គធាតុចម្លងដែលគន្លងអាំងតេក្រាលនេះប្រាសទ្រនិចនាឡិកា។

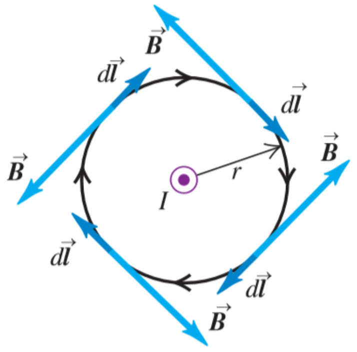
គ្រប់ចំណុចនៅលើរង្វង់ $\vec{B}$ និង$d\vec{\ell}$ស្របគ្នានោះ $\vec{B}\cdot d\vec{\ell} = Bd\ell$ ហើយr ថេរនោះ B ក៏ថេរផងដែរ។ យើងអាចនិយាយបានថា $B_\parallel$ ថេរហើយស្មើនឹង B គ្រប់ចំណុចនៅលើរង្វង់។ ហេតុនេះយើងអាចយកតម្លៃ B ចេញមកក្រៅពីអាំងតេក្រាលនិងអថេរដែលនៅសល់ជាបរិមាត្រនៃរង្វង់។

គេសរសេរ $\oint \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = \oint B_\parallel d\ell = B\oint d\ell = \frac{\mu_0 I}{2\pi}(2\pi r) = \mu_0 I$

នោះអាំតេក្រាលខ្សែនេះមិនអាស្រ័យនឹងកាំទេ ប៉ុន្តែវាត្រូវស្មើនឹង μ_0 គុណនឹងចរន្តឆ្លងកាត់ផ្ទៃព័ទ្ធជុំវិញដោយរង្វង់។

នៅក្នុងរូបទី៣.២ ស្រដៀងគ្នាទៅនឹងរូបខាងលើដែរ ប៉ុន្តែចរាចរណ៍អាំតេក្រាលជុំវិញរង្វង់មានទិសដៅផ្ទុយពីមុន ដែល $\vec{B}$ និង$d\vec{\ell}$ផ្ទុយគ្នាដែលស្មើនឹង $\vec{B}\cdot d\vec{\ell} = -Bd\ell$ និងខ្សែអាំងតេក្រាលស្មើនឹង $-\mu_0 I$ ។ យើងនឹងទទួលបានលទ្ធផលដូចគ្នាប្រសិនបើចរាចរណ៍អាំងតេក្រាលដូចក្នុងរូបទី៣.១ ប៉ុន្តែទិសដៅចរន្តផ្ទុយគ្នាវិញ។ ហេតុនេះ $\oint \vec{B}\cdot d\vec{\ell}$ ស្មើនឹង μ_0គុណនឹងចរន្តឆ្លងកាត់ផ្ទៃព័ទ្ធជុំវិញដោយគន្លងអាំងតេក្រាលដែលមានសញ្ញាវិជ្ជមានឬអវិជ្ជមានអាស្រ័យលើទិសដៅចរន្តធៀបនឹងទិសដៅនៃចរាចរណ៍អាំងតេក្រាល។

រូបទី៣.២ គន្លងអាំងតេក្រាលមានផ្ចិតនៅលើអង្គធាតុចម្លង ដែលចរាចរណ៍អាំងតេក្រាលនេះស្របទ្រនិចនាឡិកា។



នេះជាវិធានសាមញ្ញាសម្រាប់សញ្ញានៃចរន្តដែលវាប្រើប្រាស់នូវវិធានកណ្ដាប់ដៃស្ដាំ។ ក្ដោបម្រាបដៃស្ដាំតាមទិសដៅនៃគន្លងអាំងតេក្រាល ហេតុនេះវាវិលតាមទិសដៅនៃអាំងតេក្រាល(ប្រើដើម្បីគណនា $\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell}$) នោះមេដៃនឹងចង្អុលតាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃចរន្ត។ ចរន្តដែលឆ្លាស់ទីតាមគន្លងអាំងតេក្រាលនេះ មានទិសដៅវិជ្ជមាននិងតាមទិសដៅផ្ទុយពីនេះមានតម្លៃអវិជ្ជមាន ។

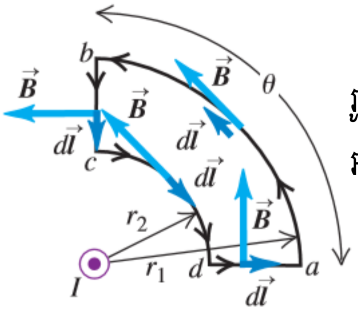
គន្លងអាំងតេក្រាលដែលមិនព័ទ្ធជុំវិញអង្គធាតុចម្លង បង្ហាញក្នុងរូបទី៣.៣។

តាមបណ្ដោយធ្នូ ab មានកាំ r_1 វ៉ិចទ័រ$\vec{B}$ និង$d\vec{\ell}$ស្របគ្នា និង $B_\parallel = B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1}$ និងបណ្ដោយធ្នូ cd មានកាំ r_2 វ៉ិចទ័រ$\vec{B}$ និង$d\vec{\ell}$ផ្ទុយគ្នា និង$B_\parallel = -B_2 = \frac{-\mu_0 I}{2\pi r_2}$ ។ វ៉ិចទ័រ $\vec{B}$ កែងនឹងវ៉ិចទ័រ $d\vec{\ell}$ចំពោះធ្នូ$bc\&da$ នោះ $B_\parallel = 0$ ហើយអាំងតេក្រាលខ្សែស្មើនឹងសូន្យ ។

យើងបាន $\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \oint B_\parallel d\ell$

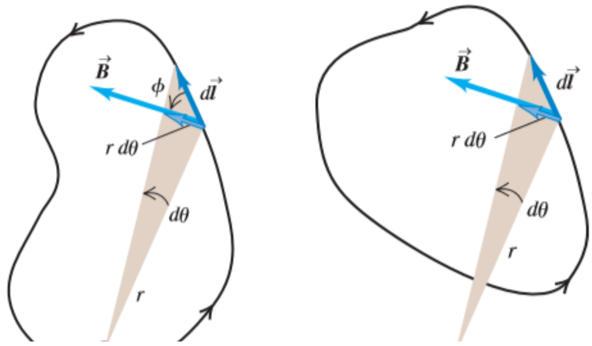
$$= B_1 \int_a^b d\ell + (0)\int_b^c d\ell + (-B_2)\int_c^d d\ell + (0)\int_d^a d\ell$$

$$= \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1}(r_1\theta) + 0 - \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2}(r_2\theta) + 0 = 0$$



រូបទី៣.៣៖គន្លងអាំងតេក្រាលមិនព័ន្ធជុំវិញអង្គធាតុចម្លង។

តម្លៃដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ ធំនៅចំពោះធ្នូcd ជាងធ្នូ ab ប៉ុន្តែកាំនៃធ្នូ ab ធំជាងcd នោះកន្សោមទាំងពីរនេះអាចលុបចោលបាន។ យើងអាចទាញរកកន្សោមសម្រាប់គន្លងអាំងតេក្រាលបានទូទៅជាងនេះដូចបង្ហាញក្នុងរូបទី៣.៤ ។



រូបទី៣.៤ (ក)គន្លងអាំតតេក្រាលទូទៅសម្រាប់ខ្សែអាំងតេក្រាល$\vec{B}$ ជុំវិញខ្សែចម្លងត្រង់មួយផ្លាស់ទីដោយចរន្តI ទៅក្រៅប្លង់ទំព័រ។ (ខ) គន្លងអាំងតេក្រាលទូទៅដែលមិនព័ន្ធជុំវិញអង្គធាតុចម្លង។

នៅលើទីតាំងណាមួយក្នុងគន្លងជាតុ $d\vec{l}$ ផ្គុំបានមុំ ϕ ជាមួយនឹងវ៉ិចទ័រ $\vec{B}$។

ដែល $\vec{B}\cdot\vec{dl} = Bdl\cos\phi$

តាមរូបខាងលើ យើងមាន $dl\cos\phi = \mathrm{r}d\theta$ ដែល $d\theta$ ជាមុំផ្គុំឡើងពី $d\vec{l}$នឹងទីតាំងណាមួយនៅលើអង្គធាតុចម្លង ហើយ r ជាចម្ងាយពី $d\vec{l}$ទៅអង្គធាតុចម្លង។

ហេតុនេះ $\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \oint \frac{\mu_0 I}{2\pi r}(r\theta) = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\oint d\theta$

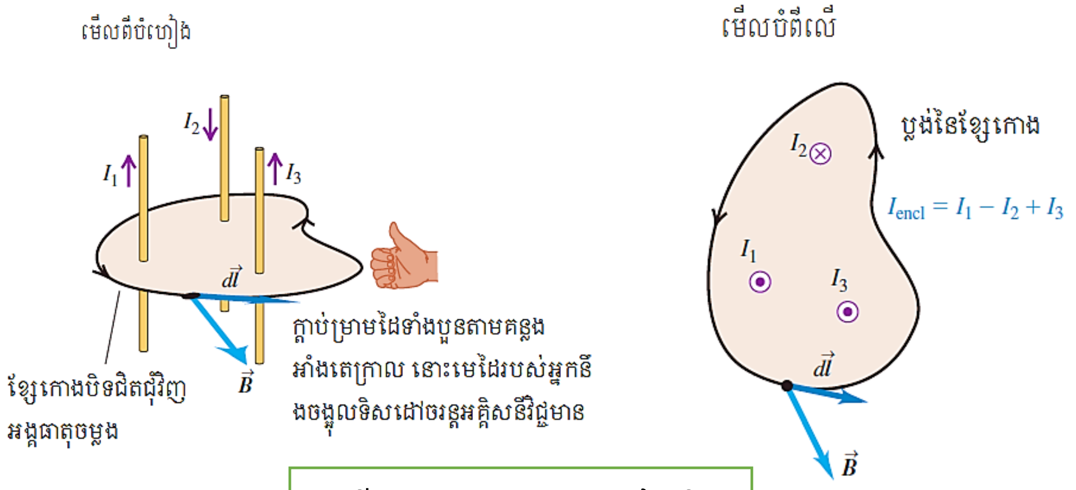
តែ $\oint d\theta = 2\pi$

នោះគេអាចសរសេរបាន $\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 I \qquad (1)$

លទ្ធផលនេះមិនអាស្រ័យនឹងរូបរាងនៃគន្លងឬទីតាំងនៃខ្សែចម្លងនៅខាងក្នុងនោះទេ។ ប្រសិនបើចរន្តខ្សែចម្លងគឺផ្ទុយនឹងរូបដែលបានបង្ហាញ អាំងតេក្រាលមានសញ្ញាផ្ទុយ។ ក៏ប៉ុន្តែប្រសិនបើគន្លងមិនព័ទ្ធជុំវិញខ្សែចម្លង(រូបខ) នោះបម្រែបម្រួល θ សរុបក្នុងកំឡុងពេលចរាចរណ៍ជុំវិញគន្លងស្មើនឹងសូន្យ ដែល $\oint d\theta = 0$ ហេតុនេះអាំងតេក្រាលខ្សែស្មើនឹងសូន្យដែរ។

ច្បាប់អំពែះទម្រង់ទូទៅ

ដើម្បីទទួលបានទម្រង់ទូទៅ យើងសន្មតថាខ្សែចម្លងត្រង់វែងមួយចំនួនឆ្លងកាត់ផ្ទៃដែលព័ទ្ធជុំវិញដោយគន្លងអាំងតេក្រាលដូចរូប៣.៥ ។ ដែនម៉ាញេទិចសរុប $\vec{B}$ នៅគ្រប់ចំណុចនៅលើគន្លងជាផលបូកវ៉ិចទ័រនៃដែនម៉ាញេទិចបង្កើតដោយខ្សែចម្លងនីមួយៗ។ ហេតុនេះ អាំងតេក្រាលខ្សែនៃដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$សរុបស្មើនឹងផលគុណនៃμ_0 ជាមួយនឹងផលបូកពិជគណិតនៃចរន្តអគ្គិសនី។



រូបទី៣.៥.ផលបូកចរន្តក្នុងខ្សែបិទ

ហេតុនេះ យើងអាចជំនួស I ក្នុងសមីការ (1) ដោយ I_{encl} ជាផលបូកពីជគណិតនៃចរន្តអគ្គិសនីព័ទ្ធជុំវិញដោយគន្លងអាំងតេក្រាល ដោយធ្វើការបូកដោយប្រើប្រាស់វិធីកំណត់សញ្ញាដែលយើងបានពណ៌នាពីចំណុចមុន។

ហេតុនេះ ច្បាប់អំពែអាចសរសេរបានជា $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{encl}$ (ច្បាប់អំពែ)

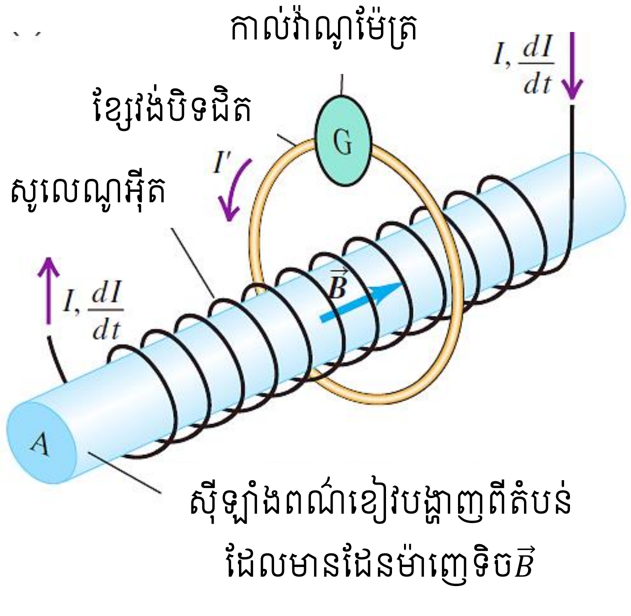
សមីការនេះមិនត្រឹមតែអនុវត្តបានចំពោះខ្សែចម្លងវែងត្រង់ស្របៗគ្នាប៉ុណ្ណោះទេ តែវាអាចអនុវត្តបានគ្រប់អង្គធាតុចម្លងនិងគ្រប់រូបរាងទាំងអស់។

មេរៀនទី៤៖ ចរន្តបម្លាស់ទី

៤.១.ដែនអគ្គិសនីអាំងឌុី

នៅពេលអង្គធាតុចម្លងមួយផ្លាស់ទីក្នុងដែនម៉ាញេទិចមួយ យើងអាចយល់ពីកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វី ដែលកើតពីកម្លាំងម៉ាញេទិចមានលើបន្ទុកក្នុងអង្គធាតុចម្លងនោះ។ ប៉ុន្តែកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីក៏អាចកើតមានផងដែរនៅពេលបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិចឆ្លងកាត់អង្គធាតុចម្លងដែលនៅស្ងៀម។ តើមានអ្វីដែលជាអ្នករុញបន្ទុកអគ្គិសនីជុំវិញសៀគ្វីក្នុងករណីនេះ ?

ជាឧទាហរណ៍បង្ហាញដូចក្នុងរូបខាងក្រោម។ គេមានសូលេណូអ៊ីតស្តើងវែងមួយដែលមានផ្ទៃមុខកាត់ A ហើយមានចំនួនស្ពៀក្នុងមួយម៉ែត្រ n ហើយរុំព័ទ្ធដោយខ្សែចម្លងវង់មួយដែលមានផ្ចិតត្រង់ផ្ចិតសូលេណូអ៊ីត។



រូបទី៤.១.សូលេណូអ៊ីតវែងមួយ។

កាល់វ៉ាណូម៉ែត្រសម្រាប់វាស់ចរន្តក្នុងអង្គធាតុចម្លងវង់។ ចរន្តមួយ I ផ្លាស់ទីជុំវិញសូលេណូអ៊ីត វាបានបង្កើតដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ នៅតាមបណ្តោយអ័ក្សរបស់សូលេណូអ៊ីត ដែលតម្លៃរបស់វាគឺអោយដោយរូបមន្ត$B = \mu_0 nI$ ។ បើសិនយើងមិនគិតពីដែនតូចៗដែលនៅផ្នែកខាងក្រៅនៃសូលេណូអ៊ីត ហើយវ៉ិចទ័រផ្ទៃ $\vec{A}$មានទិសដៅដូចទិសដៅដែនម៉ាញេទិច នោះយើងបានភ្លុចម៉ាញេទិចឆ្លងកាត់អង្គធាតុចម្លងវង់គឺ
$\Phi_B = BA = \mu_0 nIA$

ចរន្តក្នុងសូលេណូអ៊ីតប្រែប្រួលតាមពេលI នោះភ្លុចម៉ាញេទិចΦ_B ក៏ប្រែប្រួលដែរ ដោយផ្អែកលើច្បាប់ $\mathcal{F}araday$ គេបានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីកើតមាន។

យើងបាន $\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\mu_0 nA\frac{dI}{dt}$

បើសិនជាអង្គធាតុចម្លងវង់មានរេស៊ីស្តង់ R គេបានចរន្តផ្លាស់ទីក្នុងខ្សែអង្គធាតុចម្លងវង់គឺI' ដែល $I' = \frac{\varepsilon}{R}$ តើមានកម្លាំងអ្វីដែលរុញបន្ទុកអោយផ្លាស់ទីក្នុងខ្សែវង់នេះ ? វាមិនមែនជាកម្លាំងម៉ាញេទិច នោះទេ ពីព្រោះខ្សែវង់មិនស្ថិតនៅក្នុងដែនម៉ាញេទិចនោះទេ។ ហេតុនេះយើងអាចសន្និដ្ឋានបានថា នឹងកើតមានដែនអគ្គិសនីអាំងឌ្វីក្នុងខ្សែចម្លងវង់នេះដែលបណ្តាលមកពីបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិច។ នេះហាក់បីដូចជាមិនសូវសមហេតុផលទេ យើងធ្លាប់តែដឹងថាដែនអគ្គិសនីដែលកើតពីបន្ទុកអគ្គិសនី ហើយឥលូវយើងបាននិយាយថាបំរែបំរួលដែនម៉ាញេទិចក៏អាចបង្កើតដែនអគ្គិសនីបានដែរ។ លើសពីនេះទៅទៀតវាគ្រាន់តែជាប្រភេទដែនអគ្គិសនីដ៏ចម្លែកមួយប៉ុណ្ណោះ។ នៅពេលបន្ទុកអគ្គិសនីq ផ្លាស់ទីបានមួយជុំនៃខ្សែចម្លងវង់ នោះកម្មន្តសរុបដែលបញ្ចេញលើបន្ទុកនេះធ្វើដោយដែនអគ្គិសនីត្រូវស្មើនឹងផលគុណរវាងបន្ទុក q និងកម្លាំងអគ្គិសនីចលករε ។ ហេតុនេះដែនអគ្គិសនីក្នុងខ្សែចម្លងវង់នេះមិនត្រូវបានរក្សាទេ ពីព្រោះអាំងតេក្រាលខ្សែនៃដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ជុំវិញគន្លងបិទមួយគឺមិនស្មើសូន្យទេ។ តាមពិតទៅ អាំងតេក្រាលខ្សែនេះ តាងអោយកម្មន្តធ្វើដោយដែនអគ្គិសនីអាំងឌ្វី$\vec{E}$ក្នុងមួយខ្នាតបន្ទុកស្មើនឹងកម្លាំងអគ្គិសនីចលករε ។

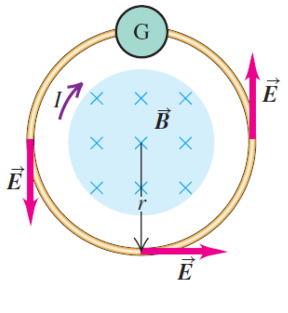
គេបាន $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \varepsilon$

តាមច្បាប់ផារ៉ាដេ *Faraday* កម្លាំងអគ្គិសនីចលករគឺអវិជ្ជមាននៃកម្រិតបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិចឆ្លងកាត់ខ្សែចម្លងវង់។ ដូចនេះយើងអាចបកស្រាយម្យ៉ាងទៀតអំពីច្បាប់ *Faraday* ដូចតទៅ៖

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$ (សម្រាប់គន្លងអាំងតេក្រាលនៅស្ងៀម)

ត្រូវចាំថាច្បាប់ *Faraday* គឺតែងតែពិតក្នុងទម្រង់$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ជានិច្ច។ ប៉ុន្តែបើវាមានទម្រង់ $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ អាចអនុវត្តបានតែក្នុងករណីខ្សែចម្លងវង់នៅស្ងៀមតែប៉ុណ្ណោះ។

ជាឧទាហរណ៍បញ្ជាក់អំពីស្ថានភាពខាងលើ យើងពិចារណាលើខ្សែចម្លងវង់ស្ងៀមមួយដែលមានរាងជារង្វង់ដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម ហើយវាមានកាំប្រវែង r ។



រូបទី៤.២.ខ្សែចម្លងវង់បិទជិត

ដោយសារតែវាមានលក្ខណៈស៊ីមេទ្រីបែបស៊ីឡាំង នោះដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$មានតម្លៃដូចគ្នានៅត្រង់ចំនុចទាំងអស់នៃរង្វង់ហើយប៉ះរង្វង់ត្រង់ចំនុចនីមួយៗ។ (លក្ខណៈស៊ីមេទ្រីនេះអនុញ្ញាតិអោយដែនអគ្គិសនីមានទិសតាមកាំរង្វង់ដែរ ប៉ុន្តែតាមច្បាប់ Gauss វាទាមទារអោយមានវត្តមាននៃបន្ទុកអគ្គិសនីសរុបខាងក្នុងរង្វង់ ក្នុងករណីនេះមិនមានទេ)។ គេបានអាំងតេក្រាលខ្សែ $\oint \vec{E}\cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ អាចសរសេរ $\oint \vec{E}\cdot d\vec{l} = 2\pi rE$ ដែល$2\pi r$ ជាបរិមាត្រនៃខ្សែរង្វង់។

យើងអាចសរសេរម្យ៉ាងទៀត$E = \frac{1}{2\pi r}\left|\frac{d\Phi_B}{dt}\right|$ ហើយទិសដៅបង្ហាញដូចក្នុងរូបខាងលើ។ យើងដឹងថាដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ ត្រូវតែមានទិសដៅដូចរូបខាងលើនៅពេលដែនម៉ាញេទិចកើនឡើង ពីព្រោះអាំងតេក្រាល$\oint \vec{E}\cdot d\vec{l}$ មានតម្លៃអវិជ្ជមាន នៅពេល $\frac{d\Phi_B}{dt}$ មានតម្លៃវិជ្ជមាន។ យើងក៏អាចរកដែនអគ្គិសនីដែលកើតមានក្នុងសូលេណូអ៊ីតបានដែរ នៅពេលដែនម៉ាញេទិចរបស់សូលេណូអ៊ីតប្រែប្រួល។

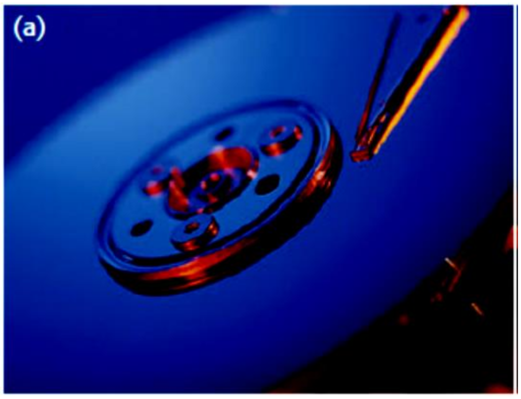
ដែនអគ្គិសនីមិនអេឡិចត្រូស្តាទិច

ឥលូវយើងសង្ខេបនូវអ្វីដែលយើងបានរៀនកន្លងមក ដូចជាច្បាប់ផារ៉ាដេ $\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ អាចអនុវត្តបានក្នុងស្ថានភាពពីរផ្សេងគ្នា។ ស្ថានភាពទី១ កម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាចកើតមានដោយកម្លាំងម៉ាញេទិចមានអំពើលើបន្ទុកនៅពេលអង្គធាតុចម្លងផ្លាស់ទីឆ្លងកាត់ដែនម៉ាញេទិច។

ក្នុងស្ថានភាពទី២ ដែនម៉ាញេទិចដែលប្រែប្រួលតាមពេលក៏អាចបង្កើតដែនអគ្គិសនីបានដែរសម្រាប់អង្គធាតុចម្លងដែលនៅស្ងៀម ហេតុនេះគេអាចបង្កើតកម្លាំងអគ្គិសនីចលករ តាមពិតដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ អាចត្រូវបានបង្កើតឡើងផងដែរទោះបីមិនមានអង្គធាតុចម្លង។ ដែនអគ្គិសនីនេះមិនដូចដែនអគ្គិសនីអេឡិចត្រូស្តាទិចនោះទេក្នុងវិធីយ៉ាងសំខាន់នេះ។ ដែននេះមិនត្រូវបានរក្សាឡើយ ដោយសារអាំងតេក្រាលខ្សែ$\oint \vec{E}\cdot d\vec{l}$ ដែលព័ទ្ធជុំវិញដោយគន្លងបិទមិនស្មើសូន្យ ហើយនៅពេលបន្ទុកមួយផ្លាស់ទីជុំវិញគន្លងបិទនេះ ដែននេះបានធ្វើកម្មន្តមិនសូន្យទៅលើបន្ទុកនេះ។ សម្រាប់ដែនមិនអេឡិចត្រូវស្តាទិចនេះ គេមិនសិក្សាលើប៉ូតង់ស្យែលនោះទេ។ ហេតុនេះហើយបានជាគេហៅដែននេះថាជា**ដែនអគ្គិសនីមិនអេឡិចត្រូស្តាទិច**។ ផ្ទុយទៅវិញដែនអេឡិចត្រូស្តាទិចជាដែនរក្សា ហើយត្រូវតែមានទំនាក់ទំនងទៅនឹងអនុគមន៍ប៉ូតង់ស្យែល។ ទោះបីមានភាពខុសគ្នាយ៉ាងនេះក្តី ផលនៃដែនអគ្គិសនីណាមួយគឺត្រូវមានអំពើដោយកម្លាំង អគ្គិសនី$\vec{F} = q.\vec{E}$ ទៅលើបន្ទុកអគ្គិសនី q ។ រូបមន្តនេះប្រើបានក្នុងករណីដែនអគ្គិសនីជាដែនរក្សាកើតពីបន្ទុកអគ្គិសនី ឬដែនអគ្គិសនីមិនរក្សាដែលកើតពីបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិច។

ដូច្នេះដែនម៉ាញេទិចប្រែប្រួលដើរតួជាប្រភពនៃដែនអគ្គិសនីមួយដែលប្រភេទដែននេះមិនអាចបង្កើតដោយបន្ទុកអគ្គិសនីនៅស្ងៀមនោះទេ។ ដែននេះហាក់ដូចជាចម្លែកបន្តិច ប៉ុន្តែវាមានលក្ខណៈតាមបែបធម្មជាតិ។ ហើយលើសពីនេះទៀតបំរែបំរួលដែនអគ្គិសនីដើរតួជាប្រភពនៃដែនម៉ាញេទិច។ យើងនឹងរុករកភាពស៊ីមេទ្រីនេះទៀតរវាងដែនទាំងពីរនេះក្នុងភាពលម្អិតជាងនេះក្នុងរលកអេឡិចត្រូម៉ា

ញេទិច។ ឥលូវយើងក្រលេកមើលការអនុវត្តនៃដែនអគ្គិសនីមិនអេឡិចត្រូស្តាទិច(ដែនអគ្គិសនីអាំងឌ្វី)ដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។ រូប(a) ទិន្នន័យត្រូវបានស្តុកទុកក្នុងហាតឌីសកុំព្យូទ័រក្នុងគំរូជាផ្ទៃដែលមានជំរាបម៉ាញេទិចដែលស្ថិតនៅលើផ្ទៃនៃបន្ទះឌីស។



រូបទី៤.៣.(a)ថាសឌីសផ្ទុកទិន្នន័យ

ដើម្បីអានទិន្នន័យនេះ របុំខ្សែដែលស្ថិតនៅលើដៃដែលអាចផ្លាស់ទីបានត្រូវបានដាក់នៅក្បែរថាសដែលវិល។ របុំនេះទទួលរងនូវបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិចដែលអាចបង្កើតចរន្តមានលក្ខណៈអាស្រ័យទៅនឹងគំរូដែលបានសរសេរកូដនៅលើថាសឌីសនោះ។

ចំណែករូប(b)ខាងក្រោមបង្ហាញពីរថយន្តហាយប្រ៊ីតដែលដំណើរការដោយប្រើម៉ូទ័រស៊ីសាំងផង និងអគ្គិសនីផង។ នៅពេលរថយន្តឈប់ភ្លាម កង់រថយន្តដែលនៅបន្តវិលបន្តបង្វិលម៉ូទ័រ អោយវិលថយក្រោយ ហេតុនេះវាដើរតួជាអ្នកបង្កើតចរន្ត។ ចរន្តអាំងឌ្វីដែលកើតឡើងត្រូវបានប្រើសម្រាប់ផ្ទុកអាគុយរបស់រថយន្តឡើងវិញ ដើម្បីប្រើនៅពេលក្រោយទៀត។

រូបទី៤.៣.(b)រថយន្តហាយប្រ៊ីត។

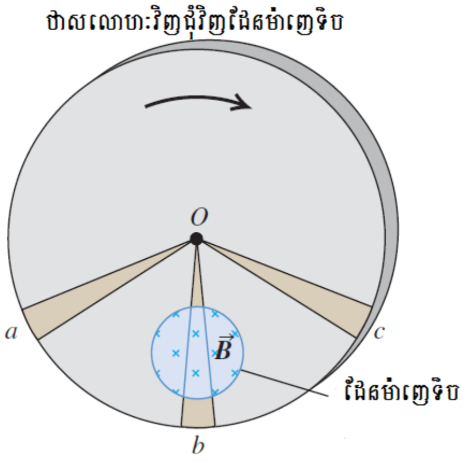
ចំណែករូប(c)វិញ វាបានបង្ហាញពីដងបង្វិលនៃម៉ាស៊ីនរបស់យន្តហោះ វាបានបង្វិលមេដែក ជាលទ្ធផលកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌីត្រូវបានបង្កើតឡើងនៅក្នុងរបុំដែលនៅក្បែរនោះ ហើយវាបានបង្កើតអោយមានបំព្រាយផ្កាភ្លើងដើម្បីបញ្ឆេះប្រេងឥន្ធនៈក្នុងស៊ីឡាំងម៉ាស៊ីន។ លក្ខណ្ឌនេះធ្វើអោយម៉ាស៊ីនបន្តដំណើរធម្មតា ទោះបីប្រព័ន្ធភ្លើងផ្សេងទៀតមិនដំណើរការក៏ដោយ។

រូបទី៤.៣.(c)យន្តហោះដែលប្រើចរន្តអាំងឌី។

៤.២.ចរន្តអេឌី *Eddy*

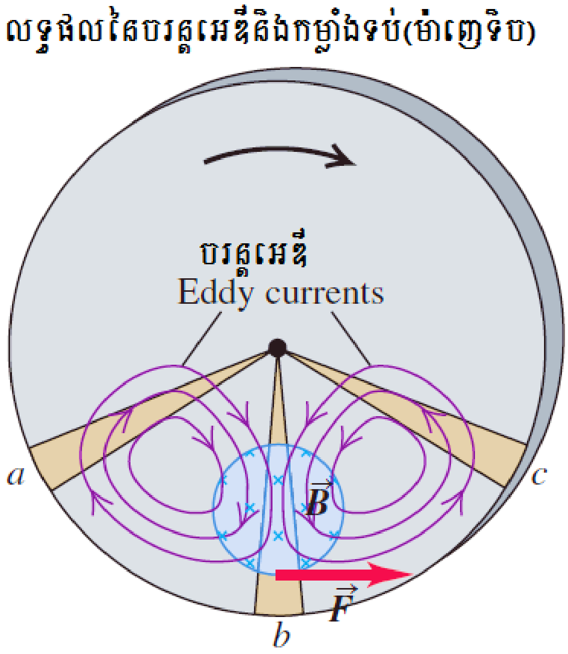
ក្នុងឧទាហរណ៍នៃផលអាំងឌុចស្យុងដែលយើងបានរៀនរួចមកហើយ ចរន្តអាំងឌីត្រូវបានគេដាក់ក្នុងគន្លងមួយយ៉ាងត្រឹមត្រូវក្នុងអង្គធាតុចម្លង ឬក្នុងធាតុផ្សេងៗទៀតនៃសៀគ្វី។ ទោះបីយ៉ាងណាក៏ដោយ ផ្នែកជាច្រើននៃឧបករណ៍អគ្គិសនីផ្ទុំឡើងពីដុំលោហៈផ្លាស់ទីក្នុងដែនម៉ាញេទិច ឬស្ថិតក្នុងដែនម៉ាញេទិចប្រែប្រួល។ ស្ថិតក្នុងស្ថានភាពនេះយើងអាចមានចរន្តអាំងឌីដែលអាចផ្លាស់ទីឆ្លងកាត់ពាសពេញមាឌរបស់សម្ភារៈនោះ។ ដោយសារលំហូគំរូនៃចរន្តនេះ មានរាងដូចចរន្តទឹកក្ងួចក្នុងស្ទឹងឬទន្លេ ទើបយើងហៅវាថា ចរន្តក្ងួច(ចរន្តអេឌី)។

ដូចក្នុងឧទាហរណ៍ខាងក្រោមនេះ យើងពិចារណាលើថាសលោហៈដែលវិលក្នុងដែនម៉ាញេទិច ហើយកែងទៅនឹងប្លង់ថាសឌីស ប៉ុន្តែដែននេះត្រូវបានគេដាក់អោយស្ថិតនៅតែក្នុងផ្នែកតូចមួយនៃផ្ទៃរបស់ថាសឌីសដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។



រូបទី៤.៤.ថាសវង្វិលបង្កើតបានចរន្តអេឌី

ផ្នែក Ob មានចលនាឆ្លងកាត់ដែនម៉ាញេទិច ហើយក៏មានកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌ្វីកើតមានក្នុងវា។ ហើយផ្នែក Oa និង Oc មិនស្ថិតក្នុងដែនម៉ាញេទិចនោះទេ ប៉ុន្តែវាបានផ្តល់វេននៃគន្លងការចម្លងសម្រាប់បន្ទុកដែលផ្លាស់ទីតាម Obដោយត្រឡប់ពី b មក O វិញ។ ជាលទ្ធផលយើងបានចរន្ត *Eddy* ផ្លាស់ទីក្នុងថាសឌីសដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។



រូបទី៤.៥.ទិសដៅចរន្តអេឌី។

យើងអាចប្រើច្បាប់ឡិន ដើម្បីសម្រេចរកទិសដៅចរន្តអាំងឌ្វីនេះនៅក្បែរតំបន់ Ob នេះ។ ចរន្តនេះត្រូវទទួលរងនូវកម្លាំងម៉ាញេទិច $\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$ ដែលផ្ទុយពីទិសដៅរង្វិលនៃថាសឌីសដូចក្នុងរូបខាងលើ ដូច្នេះកម្លាំងមានទិសដៅទៅខាងស្តាំ។ ដោយសារដែនម៉ាញេទិចមានទិសដៅចូលក្នុងប្លង់ថាសឌីសចូលក្នុង (ប្លង់ចរន្ត) នោះគេទាញបានវ៉ិចទ័រ $\vec{L}$ មានជាតុមួយផ្នែកចុះក្រោម។ ហើយចរន្តដែលត្រឡប់មកវិញដែលស្ថិតនៅផ្នែកខាងក្រៅនៃដែនម៉ាញេទិច វាមិនទទួលរងនូវកម្លាំងម៉ាញេទិចឡើយ។ អន្តរកម្មរវាងចរន្តអេឌី និងដែនម៉ាញេទិចបានបង្ករអោយមានការចាប់ហ្វ្រាំងនៅលើថាសឌីស។ បាតុភូតបែបនេះត្រូវបានគេប្រើក្នុងម៉ាស៊ីនរណាដែលមានរាងជារង្វង់ ហើយគេបញ្ឈប់ចលនារង្វិលរបស់វាដោយគ្រាន់តែផ្តាច់ចរន្ត។ ចំណែកជញ្ជីងដែលមានភាពរួសខ្លាំងក៏ប្រើគោលការណ៍នេះដែរសម្រាប់កាត់បន្ថយលំញ័រ។ ការចាប់ហ្វ្រាំងដោយប្រើចរន្តអេឌីនេះត្រូវបានគេប្រើសម្រាប់រថយន្តអគ្គិសនីដែលឈប់ក្នុងរយៈពេលខ្លីៗ។ អេឡិចត្រូមេដែកដែលមាននៅក្នុងរថយន្តបានបង្កើតចរន្តអេឌីក្នុងរ៉ែផ្លូវរថភ្លើង ហើយវាបានបង្កើតដែនម៉ាញេទិចដែលបណ្តាលអោយមានកម្លាំងចាប់ហ្វ្រាំងនៅលើអេឡិចត្រូមេដែក ហើយមានលើរថយន្តផងដែរ។

៤.៣.ចរន្តបម្លាស់ទី

យើងបានឃើញរួចមកហើយ ដែនម៉ាញេទិចប្រែប្រួលធ្វើឲ្យកើតមាននូវដែនអគ្គិសនី។ ឧទាហរណ៍នៃភាពស៊ីមេទ្រីក្នុងធម្មជាតិនេះគឺបម្រែបម្រួលនៃដែនអគ្គិសនីក៏បង្កើតឲ្យមានដែនម៉ាញេទិចផងដែរ ។ ឥទ្ធិពលនេះមានសារៈសំខាន់យ៉ាងខ្លាំង ដែលវាឈានទៅដល់ការពន្យល់ពីវត្តមាននៃរលកវិទ្យុ កាំរស្មីហ្គាម៉ា(gamma rays) ពន្លឺមើលឃើញ (visible light) ព្រមទាំងទម្រង់ផ្សេងទៀតនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច ។

✍ភាពទូទៅនៃច្បាប់អំពែ

(Generalizing Ampere's 'Law)

ដើម្បីពិនិត្យមើលទំនាក់ទំនងរវាងដែនអគ្គិសនីប្រែប្រួលនិងដែនម៉ាញេទិច យើងត្រឡប់ទៅពិនិត្យមើលឡើងវិញនូវច្បាប់អំពែដែលពិភាក្សានៅក្នុងចំណុចមុនយ៉ាងច្បាស់លាស់ដែលមានសមីការៈ

$\oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_0 I_{encl}$ បញ្ហាដែលកើតមានចំពោះសមីការនេះគឺវាមិនពេញលេញ (incomplete)។ ហេតុអ្វីបានជាដូច្នេះ ? ចូរពិនិត្យទៅមើលទៅលើដំណើរការផ្ទុកបន្ទុកនៅលើកុងដង់សាទ័រដូចរូបខាងក្រោម។ ច្បាប់អំពែសម្រាប់គន្លងរាងវង់ស្មើគឺ $\oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_0 I_{encl} = \mu_0 i_c$ ។

មេរៀនទី៥៖ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

បរិយាយពីព្រឹត្តិការណ៍

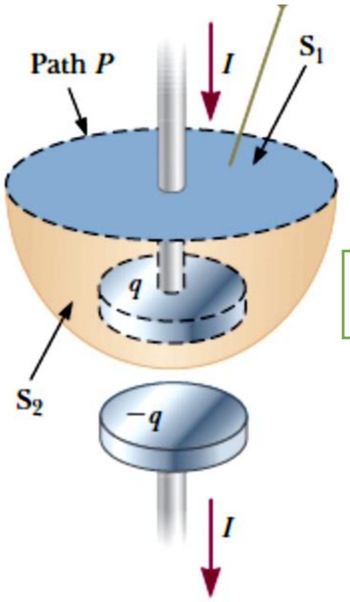
អ្នកកំពុងតែធ្វើការស្រាវជ្រាវអ្វីមួយតាមប្រព័ន្ធអ៊ិនធើណែតដោយប្រើទូរស័ព្ទដៃរបស់អ្នក ហើយមានភ្ជាប់*(Wifi)* ដែលប្រើនៅក្នុងផ្ទះរបស់អ្នក។ ស្រាប់តែសេវាអ៊ិនធើណែតខ្សោយខ្លាំងហើយក៏បាត់លែងមាននៅក្នុងទូរស័ព្ទដៃរបស់អ្នក ហើយបន្ទាប់មក អ្នកបានចូលទៅកាន់ *Wifi setting* នៅលើទូរស័ព្ទដើម្បីរកមើល។ នៅក្នុងបញ្ជីប្រព័ន្ធបណ្តាញ*Network* យើងឃើញសេវាអ៊ិនធើណែតបានត្រឡប់មកវិញ។ ប៉ុន្តែអ្នកក៏ប្រហែលជាបានសំគាល់ឃើញមានសេវា *Wifi* របស់ផ្ទះអ្នកជិតខាងលេចឡើងនៅលើទូរស័ព្ទរបស់អ្នកដែរ។ ហើយអ្នកក៏គិតថា តើផ្ទះអ្នកជិតខាងអាចមានសេវា *Wifi* ចេញពីផ្ទះរបស់អ្នកដែរឬទេ។ អ្នកចេញទៅខាងក្រៅផ្ទះរបស់អ្នក ហើយដើរចេញអោយឆ្ងាយពីផ្ទះដោយក្រលេកមើលកម្រិតសេវា *Wifi* ដែលនៅលើទូរស័ព្ទដៃរបស់អ្នក។ ហើយអ្នកបានភ្ញាក់ផ្អើលដោយបានឃើញ សេវា*Wifi* ក៏មានដែរនៅខាងក្រៅផ្ទះរបស់អ្នក។ តើសេវា*Wifi* ចេញទៅខាងក្រៅផ្ទះដោយឆ្លងកាត់ជញ្ជាំងបានយ៉ាងដូចម្តេច? តាមពិតទៅ តើអ្វីទៅជាសេវា*Wifi*? នៅពេលអ្នកដើរចេញទៅខាងក្រៅផ្ទះ កម្រិតសេវា*Wifi* បានថយចុះ។ ហេតុអ្វីបានវាថយចុះ? ហើយតើមានអ្វីកើតឡើងនាពេលនោះ?

នៅក្នុងផ្នែកនេះយើងនឹងរៀនពីគោលការណ៍នៃអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។ យើងបានមើលឃើញថា គោលការណ៍នៃអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច បានព្យាករណ៍ពីលទ្ធភាពនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។ ការព្យាករណ៍តាមទ្រឹស្តីនេះ ត្រូវបានកើតឡើងយ៉ាងពិតប្រាកដក្នុងការអនុវត្តប្រចាំថ្ងៃរបស់មនុស្ស ជាការពិតណាស់ យើងបានប្រើប្រាស់រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចយ៉ាងច្រើនប្រភេទផ្សេងៗគ្នាដូចជា ពន្លឺ រលកផ្សាយវិទ្យុ ម៉ាយក្រូវេវ(ម៉ាស៊ីនកំដៅម្ហូប) កាំរស្មីអ៊ិច ជាដើម។ លក្ខណៈរបស់រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស្រដៀងគ្នាច្រើនធៀបទៅនឹងរលកមេកានិច ប៉ុន្តែវាមានចំនុចខុសគ្នាមួយយ៉ាងធំគឺ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមិនត្រូវការមជ្ឈដ្ឋានសម្រាប់ដាល(វាដាលឆ្លងកាត់សុញ្ញាកាសបាន)។ ការយល់ដឹងពីរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច អាចអោយគេច្នៃវាប្រើក្នុងប្រព័ន្ធទូរគមនាគមន៍បានយ៉ាងច្រើន ដូចជា វិទ្យុ ទូរទស្សន៍ ប្រព័ន្ធទូរស័ព្ទដៃ ប្រព័ន្ធអ៊ិនធើណែតគ្មានខ្សែ និងប្រព័ន្ធអេឡិចត្រូនិច។ ហើយក្នុងអុបទិចក៏យើងប្រើរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែរ(ពន្លឺមើលឃើញ)។

៥.១.ចរន្តបំលាស់ទី និងទម្រង់ទូទៅរបស់ច្បាប់អំពែ

សម្រាប់ដែនម៉ាញេទិចដែលកើតឡើងពីចរន្តអគ្គិសនី $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$ ក្នុងសមីការនេះ អាំងតេក្រាលខ្សែនៃគន្លងបិទមួយដែលចរន្តបានមកពីការចម្លងអគ្គិសនីឆ្លងកាត់វា ហើយចរន្តនេះមានរូបមន្ត $I = \frac{dq}{dt}$ (ចរន្តដែលយើងស្គាល់ពីថ្នាក់ក្រោមមក)។ យើងបានទទួលស្គាល់ច្បាប់អំពែនេះថាជាសមីការគ្រឹះក្នុងអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។ ប៉ុន្តែឧបមាថាយើងបានរកឃើញស្ថានភាពមួយដែលសមីការនេះមិនអាចអនុវត្តបានដែរឬទេ? លោក ជេម ក្លើក ម៉ាក់ស្វែល (*James clerk Maxwell*) បានដឹងនិង

ស្គាល់យ៉ាងច្បាស់អំពីស្ថានភាពនេះ ហើយបានកែប្រែច្បាប់អំពែអោយសមស្រប និងមានភាពត្រឹមត្រូវ។ យើងឧបមាថា កុងដង់សាទ័រមួយកំពុងតែផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនីដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។



រូបទី៥.១.រូបតំណាងកុងដង់សាទ័រ។

នៅពេលមានចរន្តចម្លងអគ្គិសនី I កើតមានហើយផ្លាស់ទីចូលក្នុងកុងដង់សាទ័រភ្លាម គេសង្កេតឃើញមានបំរែបំរួលបន្ទុកអគ្គិសនីនៅខាងបន្ទះវិជ្ជមាន។ ប៉ុន្តែមិនមានចរន្តនេះអាចឆ្លងកាត់ចន្លោះរវាងបន្ទះអាម៉ាតួរបស់កុងដង់សាទ័របានដែរ ពីព្រោះមិនមានអ្នកនាំបន្ទុកក្នុងចន្លោះនោះទាល់តែសោះ។ ឥលូវយើងឧបមាថាមានផ្ទៃពីរ S_1 និងផ្ទៃ S_2 ក្នុងរូបខាងលើមានដែនកំណត់គន្លងរួមគ្នាតែមួយ ដែលគន្លងនេះមានបរិមាត្រ P។ ផ្ទៃS_1ជាផ្ទៃដែលមានរាងជារង្វង់រាបស្មើហើយត្រូវបានឆ្លងកាត់ខ្សែចម្លង។ ហើយផ្ទៃS_2 ជាផ្ទៃនៃផ្នែកពាក់កណ្តាលស្វ៊ែ ហើយមានគន្លងរួមគ្នាPជាមួយផ្ទៃS_1។ ហើយផ្ទៃS_2 វាលយចូលក្នុងចន្លោះលំហបន្ទះអាម៉ាតួរបស់កុងដង់សាទ័រ។ ច្បាប់អំពែបានពោលថា$\oint \vec{B}\cdot d\vec{s}$ ដែលព័ទ្ធជុំវិញដោយគន្លងP ត្រូវស្មើនឹង$\mu_0 I$ ដែល I គឺជាចរន្តសរុបដែលឆ្លងកាត់ផ្ទៃណាមួយដែលព័ទ្ធជុំវិញដោយគន្លងP។ នៅពេលគន្លងPជាព្រំដែនខ្សែរុំព័ទ្ធរបស់ផ្ទៃS_1 នោះគេបាន$\oint \vec{B}\cdot d\vec{s} = \mu_0 I$

ពីព្រោះចរន្តចម្លងអគ្គិសនីI អាចឆ្លងកាត់ផ្ទៃS_1។ ហើយនៅពេលយើងសន្មតថា គន្លង Pជាព្រំដែនរបស់ផ្ទៃ S_2នោះគេបាន$\oint \vec{B}\cdot d\vec{s} = 0$ ពីព្រោះគ្មានចរន្តចម្លងអគ្គិសនីI អាចឆ្លងកាត់ផ្ទៃS_2បានទេ។

ដូច្នេះហើយយើងមានស្ថានភាពផ្ទុយគ្នានេះដោយសារតែមិនមានចរន្តចម្លងអគ្គិសនីI ជាប់លាប់(មិនមានចរន្តឆ្លងកាត់ចន្លោះ) ឆ្លងកាត់S_1 និងS_2 ។ ច្បាប់អំពែបានផ្តល់ចម្លើយពីរផ្សេងគ្នាសម្រាប់ផ្ទៃទាំងពីរ S_1 និងS_2។ ម៉ាក់ស្វែល(*Maxwell*) បានដោះស្រាយបញ្ហានេះ ដោយបានស្នើរបង្កើតពាក្យគន្លឹះបន្ថែមមួយនៅផ្នែកខាងអង្គទី២(ខាងស្តាំ) នៃសមីការរបស់ច្បាប់អំពែ ដែលបានបញ្ចូលកត្តាមួយ

បន្ថែមនៅអង្គទី២នៃសមីការខាងលើ កត្តានេះត្រូវបានដាក់ឈ្មោះថា (ចរន្តបំលាស់ទី I_d)ដែល $I_d \equiv \epsilon_0 \frac{d\Phi_B}{dt}$ (ពាក្យបំលាស់ទីនេះ មិនមែនមានន័យដូចពាក្យបំលាស់ទីក្នុងមេរៀនចលនានោះទេ)។

- ϵ_0 គឺជាពែមីទីវីតេនៃលំហសេរី(ចន្លោះបន្ទះអាម៉ាតួ)

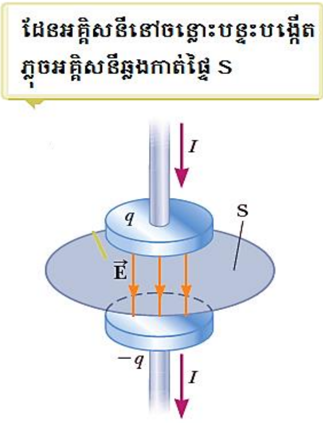
- $\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$ គឺជាភ្លុចអគ្គិសនីសម្រាប់ដែនអគ្គិសនីរវាងបន្ទះអាម៉ាតួរបស់កុងដង់សាទ័រ។ ភ្លុចនេះឆ្លងកាត់ផ្ទៃS_2ប៉ុន្តែមិនបានឆ្លងកាត់S_1ទេ។

នៅពេលកុងដង់សាទ័រកំពុងផ្ទុកបន្ទុកអគ្គិសនី ឬកំពុងផ្ទេរបន្ទុកអគ្គិសនី នាំអោយមានបំរែបំរួលដែនអគ្គិសនីចន្លោះបន្ទះអាម៉ាតួនៃកុងដង់សាទ័រ បំរែបំរួលនេះក្នុងមួយខ្នាតពេលត្រូវបានគេសន្មតថាមានតម្លៃសមមូលទៅនឹងចរន្តបំលាស់ទី$I_d \equiv \epsilon_0 \frac{d\Phi_B}{dt}$ហើយដើរតួដូចជាភាពជាប់លាប់នៃចរន្តអគ្គិសនីក្នុងខ្សែចម្លង ទោះបីជាខ្សែមិនជាប់គ្នានៅចន្លោះបន្ទះអាម៉ាតួក៏ដោយ។ នៅពេលរូបមន្តចរន្តបំលាស់ទី $I_d \equiv \epsilon_0 \frac{d\Phi_B}{dt}$ នេះត្រូវបានបញ្ចូលបន្ថែមនៅអង្គខាងស្តាំនៃច្បាប់អំពែថែមទៅលើចរន្តចម្លងអគ្គិសនីI នោះការលំបាកក្នុងស្ថានភាពផ្ទុយគ្នាខាងលើត្រូវបានដោះស្រាយរួច។ ទោះបីផ្ទៃដែលរុំព័ទ្ធដោយគន្លង Pណាក៏ដោយ(S_1ឬ S_2) នៅតែមានចរន្តអគ្គិសនីឆ្លងកាត់វាជដែល ដែលចរន្តនោះអាចជាចរន្តចម្លងអគ្គិសនីI ឬក៏ចរន្តបំលាស់ទីI_d។ ឧទាហរណ៍ដូចករណីខាងលើ ផ្ទៃS_1ឆ្លងកាត់ដោយចរន្តចម្លងអគ្គិសនី I ចំណែកឯផ្ទៃS_2 ត្រូវបានឆ្លងកាត់ដោយចរន្តបំលាស់ទីI_d ពីព្រោះខ្សែចម្លងដាច់នៅចន្លោះបន្ទះអាម៉ាតួរបស់កុងដង់សាទ័រ។ ដូច្នេះនៅពេលយើងថែមតួចរន្តបំលាស់ទីI_dទៅក្នុងច្បាប់អំពែ ច្បាប់ថ្មីមួយត្រូវបានគេហៅថា (ច្បាប់អំពែ.ម៉ាក់ស្វែល) (*Ampère-Maxwell's law*)

អាចសរសេរដូចតទៅ$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \left(I + I_d\right) = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_B}{dt}$

លទ្ធផលនេះគឺជាឧទាហរណ៍យ៉ាងចាប់អារម្មណ៍នៃការងារទ្រឹស្តីរបស់លោកម៉ាក់ស្វែល *Maxwell*។ ហើយវាបានចូលរួមក្នុងការវិវត្តទៅមុខយ៉ាងធំធេងក្នុងការយល់ដឹងពីផ្នែកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។

យើងអាចយល់អត្ថន័យនៃសមីការ$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \left(I + I_d\right) = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_B}{dt}$ បានដោយពិចារណាទៅលើរូបខាងក្រោម ដែលមានលក្ខណៈប្រហាក់ប្រហែលទៅនឹងរូបទី១.១។



រូបទី៥.២.ដែនអគ្គិសនីនៅចន្លោះបន្ទះកុងដង់សាទ័រ។

ប៉ុន្តែឥលូវយើងបានកំណត់ផ្ទៃរាបស្មើ S ត្រូវបានដាក់នៅចន្លោះអាម៉ាតួរបស់កុងដង់សាទ័រ ដូចបានបង្ហាញក្នុងរូបទី៥.២ ខាងលើ។ ភ្លុចអគ្គិសនីដែលឆ្លងកាត់ផ្ទៃ Sនេះអាចសរសេរ$\Phi_B = \int \vec{E} \cdot d\vec{A} = EA$ ដែលA គឺជាផ្ទៃរបស់បន្ទះអាម៉ាតួរបស់កុងដង់សាទ័រប្លង់ ហើយE ជាដែនអគ្គិសនីឯកសណ្ឋាននៅចន្លោះបន្ទះអាម៉ាតួរបស់កុងដង់សាទ័រប្លង់។ បើសិនq ជាបន្ទុកអគ្គិសនីផ្ទុកនៅលើបន្ទះអាម៉ាតួនៅខណៈណាមួយនោះ$E = \frac{q}{\epsilon_0 A}$

ដូចនេះភ្លុចអគ្គិសនី$\square_B = \frac{q}{\epsilon_0}$ នោះយើងទាញបាន ចរន្តបំលាស់ទីដែលឆ្លងកាត់ផ្ទៃ S គឺ

$I_d = \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} = \frac{dq}{dt}$ តាមលទ្ធផលនេះចរន្តបំលាស់ទីI_d ដែលឆ្លងកាត់ផ្ទៃS មានតម្លៃស្មើគ្នានឹងតម្លៃនៃចរន្តចម្លងអគ្គិសនីI ដែលឆ្លងកាត់ខ្សែដែលភ្ជាប់ទៅនឹងកុងដង់សាទ័រយ៉ាងពិតប្រាកដមែន។

តេស្តខ្លី ១. ក្នុងសៀគ្វី RC មួយ កុងដង់សាទ័រចាប់ផ្តើមផ្ទេរបន្ទុកអគ្គិសនី។ ក្នុងកំឡុងពេលផ្ទេរបន្ទុកអគ្គិសនី តើមានអ្វីកើតឡើង នៅតំបន់ចន្លោះបន្ទះអាម៉ាតួរបស់កុងដង់សាទ័រប្លង់?

ក. កើតមានចរន្តចម្លងអគ្គិសនីI ប៉ុន្តែមិនកើតមានចរន្តបំលាស់ទី I_d។

ខ. មិនមានចរន្តចម្លងអគ្គិសនីI ប៉ុន្តែកើតមានចរន្តបំលាស់ទី I_d។

គ.កើតមានចរន្តចម្លងអគ្គិសនីIផង និងកើតមានចរន្តបំលាស់ទី I_dផង។

ឃ. មិនកើតមានចរន្តអ្វីទាំងអស់។

២. ក្នុងតំបន់ដដែលនៅចន្លោះអាម៉ាតួ តើមានអ្វីកើតឡើង?

ក. កើតមានដែនអគ្គិសនី ប៉ុន្តែមិនកើតមានដែនម៉ាញេទិចទេ។

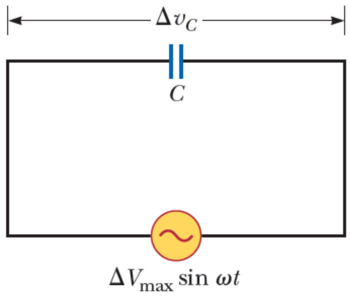
ខ. មិនកើតមានដែនអគ្គិសនី ប៉ុន្តែកើតមានដែនម៉ាញេទិច។

គ. កើតមានដែនអគ្គិសនីផង និងកើតមានម៉ាញេទិចផង។

ឃ.មិនកើតមានដែនអ្វីទាំងអស់។

ឧទាហរណ៍ អំពីចរន្តបម្លាស់ទីក្នុងកុងដង់សាទ័រ

តុងស្យុងប្រែប្រួលស៊ីនុយសូអ៊ីតមួយ ត្រូវបានភ្ជាប់ទៅនឹងគោលទាំងពីរនៃកុងដង់សាទ័រមួយដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។ កុងដង់សាទ័រនេះមានតម្លៃ $C = 8.00\,\mu F$ ហើយប្រេកង់នៃតង់ស្យុងដែលអនុវត្តនោះមានតម្លៃ $f = 3.00\,kHz$ ហើយតង់ស្យុងនោះមានអំព្លីទុត $\Delta V_{max} = 30.0\,V$។ ចូររកចរន្តបម្លាស់ទីក្នុងកុងដង់សាទ័រ។



រូបទី៥.៣.ចរន្តបម្លាស់ទីក្នុងកុងដង់សាទ័រ។

ដំណោះស្រាយ

រកចរន្តបម្លាស់ទី (មើលរូប)

តាមរូបមន្ត ចរន្តបម្លាស់ទី $i_d = \frac{dq}{dt}$

ដោយ q ជាបន្ទុកផ្ទុកនៅលើអាម៉ាតួរបស់កុងដង់សាទ័រ គេបាន $q = C\Delta v_C$

ហើយ $\Delta v_C = \Delta V_{max} \sin(\omega t)$

នោះគេបាន ចរន្តបម្លាស់ទី $i_d = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}(C\,\Delta v_C) = C\,\frac{d}{dt}\left[\Delta V_{max} \sin(\omega t)\right] = C\,\omega \Delta V_{max} \cos(\omega t)$

តែ $\omega = 2\pi f$ នោះ $i_d = C\,(2\pi f)\Delta V_{max} \cos(2\pi f t)$

អនុវត្តន៍ជាលេខ៖ $i_d = (8.00 \times 10^{-6})(2\pi \times 3.00 \cdot 10^{3})(30.0)\cos(2\pi \times 3.00 \cdot 10^{3} t)$

$i_d = 4.52\cos(1.88 \times 10^{4} t)$

ដូច្នេះ ចរន្តបម្លាស់ទីក្នុងកុងដង់សាទ័រគឺ $i_d = 4.52\cos(1.88 \times 10^{4} t)$ ។

៥.២ សមីការម៉ាក់ស្វែលនិងរបកគំហើញរបស់លោកហឺត

ឥលូវយើងបង្ហាញសមីការចំនួនបួន ដែលត្រូវបានគេចាត់ទុកថាជាចំនុចគ្រឹះនៃបាតុភូតអគ្គិសនី និងម៉ាញេទិច។ សមីការទាំងបួននេះ បង្កើតនិងអភិវឌ្ឍដោយលោកម៉ាក់ស្វែលសម្រាប់បាតុភូតម៉ាញេទិច ដូចគ្នានឹងលោកញូតុនដែលបានបង្កើតច្បាប់ញូតុនទាំងបីសម្រាប់បាតុភូតក្នុងចលនានិងមេកានិចដែរ។ តាមពិតទៅ ទ្រឹស្តីដែលម៉ាក់ស្វែលបានបង្កើតមានឥទ្ធិពលខ្លាំងជាងអ្វីដែលគាត់បានគិតឃើញទៅទៀត ពីព្រោះវាមានភាពស៊ីគ្នា និងយល់ស្របគ្នាជាមួយទ្រឹស្តីពិសេសនៃច្បាប់ចលនាធៀបរបស់លោកអាញស្តាញដែលបានបង្ហាញនៅឆ្នាំ១៩០៥។

សមីការ *Maxwell* តំណាងអោយច្បាប់របស់អគ្គិសនី និងម៉ាញេទិច ហើយវាមានវិបាកសំខាន់ៗបន្ថែមជាច្រើនទៀត។ ដើម្បីងាយយល់ យើងសូមបង្ហាញសមីការ *Maxwell* ក្នុងលំហសេរីដែលគ្មានសារធាតុម៉ាញេទិច និងឌីអេឡិចទ្រិច។

សមីការទាំងបួននោះគឺ

☛ច្បាប់*Gauss* ក្នុងផ្នែកអគ្គិសនី$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$

☛ច្បាប់ *Gauss* ក្នុងផ្នែកម៉ាញេទិច$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$

☛ច្បាប់*Faraday*៖ $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

☛ច្បាប់*Ampère-Maxwell* ៖ $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$

ច្បាប់Gauss ក្នុងផ្នែកអគ្គិសនី $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$ មានន័យថា ភ្លុចអគ្គិសនីដែលឆ្លងកាត់ផ្ទៃបិទជិតណាមួយស្មើនឹងបន្ទុកអគ្គិសនីសរុបដែលស្ថិតនៅក្នុងផ្ទៃនោះចែកនឹងពែមីទីវីតេϵ_0 ។ ច្បាប់នេះមានទំនាក់ទំនងរវាងដែនអគ្គិសនី និងរបាយបន្ទុកអគ្គិសនីដែលបង្កើតវា។

ច្បាប់ Gauss ក្នុងផ្នែកម៉ាញេទិច$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$ មានន័យថា ភ្លុចម៉ាញេទិចសរុប ដែលឆ្លងកាត់ផ្ទៃបិទណាមួយមានតម្លៃស្មើសូន្យ។ នេះមានន័យថា ចំនួនខ្សែដែនម៉ាញេទិចដែលចូលក្នុងមាឌដែលបិទជិតណាមួយស្មើនឹងខ្សែដែនម៉ាញេទិចដែលចេញពីមាឌនោះ។ ហេតុនេះយើងអាចទាញសន្និដ្ឋានបានថា ខ្សែដែនម៉ាញេទិចមិនបានចាប់ផ្តើមនៅចំនុចណាមួយ ហើយវាក៏មិនបានបញ្ចប់នៅត្រង់ចំនុចណាមួយនោះឡើយ (ខ្សែដែនក្នុងមេដែក ក្នុងសូលេណូអ៊ីត មានប៉ូលពីរជានិច្ច ជើងនិងត្បូង) ដែលផ្ទុយពីខ្សែដែនអគ្គិសនីដែលមានចំនុចចាប់ផ្តើម ហើយក៏មានចំនុចបញ្ចប់របស់វា (ខ្សែដែនកើតចេញពីបន្ទុកអគ្គិសនីតែមួយប្រភេទគឺវិជ្ជមាន ឬអវិជ្ជមាន)។ បើសិនខ្សែដែនម៉ាញេទិចមានចំនុចចាប់ផ្តើម ឬចំនុចបញ្ចប់នៅចំនុចណាមួយ មានន័យថាគេអាចញែកប៉ូលម៉ាញេទិចអោយមានតែមួយគត់នៅត្រង់ចំនុ

ចនោះ (សព្វថ្ងៃប៉ូលម៉ាញេទិចត្រូវតែមានពីរជានិច្ច)។ ប៉ុន្តែប៉ូលម៉ាញេទិចដែលមានតែមួយមិនអាចសង្កេតឃើញនៅក្នុងធម្មជាតិឡើយ។

ច្បាប់Faraday $\oint \vec{E}\cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ មានន័យថាជាច្បាប់ដែលទាក់ទងទៅនឹងបាតុភូតអាំងឌុចស្យុងម៉ាញេទិច។ បាតុភូតអាំងឌុចស្យុងបានពោលថា ការកើតឡើងនៃដែនអគ្គិសនីមួយគឺបណ្តាលមកពីមានបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិច។ ហើយច្បាប់នេះបានពោលយ៉ាងច្បាស់ដែរថា កំលាំងអគ្គិសនីចលករដែលជាអាំងតេក្រាលលើខ្សែនៃដែនអគ្គិសនីជុំវិញគន្លងបិទណាមួយស្មើនឹងកម្រិតនៃបំរែបំរួលនៃភ្លុចម៉ាញេទិចដែលឆ្លងកាត់ផ្ទៃណាមួយដែលព័ទ្ធជុំវិញដោយគន្លងបិទនោះ។

មេរៀនទី៥៖ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច(ត)

សេចក្តីផ្តើម៖ តើពន្លឺជាអ្វី? សំណួរនេះត្រូវបានគេសួរអស់ជាច្រើនសតវត្សរ៍មកហើយ ប៉ុន្តែគ្មានចម្លើយទេ ទាល់តែផ្នែកអគ្គិសនី និងផ្នែកម៉ាញេទិចរួមបញ្ចូលគ្នាបង្កើតបានជាផ្នែកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលបកស្រាយដោយសមីការម៉ាក់ស្វែល(Maxwell's equation)។ សមីការនេះបាន បកស្រាយថា ដែនម៉ាញេទិចដែលប្រែប្រួលតាមពេលដើរតួជាប្រភពនៃដែនអគ្គិសនី ចំណែកឯដែនអគ្គិសនីដែលប្រែប្រួលតាមពេលដើរតួជាប្រភពនៃដែនម៉ាញេទិច។ ដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ អាចរក្សាគ្នាទៅវិញទៅមកដើម្បីបង្កើតរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលអាចដាលឆ្លងកាត់លំហ។ ពន្លឺដែលអាចមើលឃើញចេញពីរប៉ុខ្សែរធ្នារក្តៅនៃអំពូលគឺជាឧទាហរណ៍នៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចប្រភេទផ្សេងទៀតត្រូវបានបង្កើតដោយទូរទស្សន៍និងស្ថានីយ៍វិទ្យុ ម៉ាស៊ីនអ៊ិចរេ(X-ray) និងណ្វៃយ៉ូនៃធាតុវិទ្យុសកម្ម(Gamma ray)។

ក្នុងមេរៀននេះយើងនឹងប្រើសមីការ ម៉ាក់ស្វែល(Maxwell's equation)ធ្វើជាទ្រឹស្តីគោលដើម្បីយល់ដឹងពីរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។ ហើយយើងនឹងឃើញថា រលកនេះមានផ្ទុកថាមពល និងបរិមាណចលនា។ ក្នុងរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីត ដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ និងដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ គឺជាអនុគមន៍ស៊ីនុយសូអ៊ីតនៃពេលនិងទីតាំង ហើយមានប្រេកង់ និងជំហានរលកកំណត់ជាក់លាក់។ ពន្លឺដែលអាចមើលឃើញ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចប្រភេទផ្សេងទៀត ដែលបង្កើតដោយទូរទស្សន៍និងស្ថានីយ៍វិទ្យុ ម៉ាស៊ីនអ៊ិចរេ(X-ray) និងណ្វៃយ៉ូនៃធាតុវិទ្យុសកម្ម(Gamma ray) ខុសគ្នាតាមរយៈប្រេកង់ និងជំហានរលកតែប៉ុណ្ណោះ។

រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមិនដូចរលកនៅលើខ្សែ និងរលកសូរក្នុងសន្ទនីយ៍ដោយសាររលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមិនត្រូវការមជ្ឈដ្ឋានដើម្បីដាល ពន្លឺដែលយើងបានមើលឃើញដាលចេញពីផ្កាយនៅពេលយប់ វាបានដាលដោយគ្មានលំបាកអ្វីទាល់តែសោះបានចម្ងាយ ១០ ទៅ១០០ឆ្នាំពន្លឺក្នុងលំហទទេ។ ទោះបីយ៉ាងណាក៏ដោយ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច និងរលកមេកានិចមានចំនុចរួមច្រើន ហើយប្រើភាសាដូចគ្នាថែមទៀត។

៥.៣.សមីការម៉ាក់ស្វែល និងរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

យើងបានរៀនរួចហើយ នៅពេលដែនមិនប្រែប្រួលតាមពេល ដូចជាដែនអគ្គិសនីបង្កើតដោយបន្ទុកនៅស្ងៀម ឬដែនម៉ាញេទិចដែលកើតពីចរន្តជាប់ថេរ យើងអាចវិភាគដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចដាច់ចេញពីគ្នាដោយមិនគិតពីអន្តរកម្មរវាងដែនទាំងពីរនោះទេ។ ប៉ុន្តែនៅពេលដែនប្រែប្រួលតាមពេល

នោះវាឈប់ដាច់ដោយឡែកពីគ្នាទៀតហើយគឺវាមានអន្តរកម្មរវាងគ្នា។ ច្បាប់ផារ៉ាដេប្រាប់យើងថា ដែនម៉ាញេទិចដែលប្រែប្រួលតាមពេលដើរតួជាប្រភពនៃដែនអគ្គិសនីដូចជាកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុីក្នុងបូប៊ីន និងក្នុងត្រង់ស្វូម៉ាទ័រ។ ចំណែកច្បាប់អំពែដែលរួមមានចរន្តបម្លាស់ទីដែលរកឃើញដោយលោកម៉ាក់ស្វែលបានបង្ហាញថា ដែនអគ្គិសនីដែលប្រែប្រួលតាមពេលដើរតួជាប្រភពនៃដែនម៉ាញេទិច។ អន្តរកម្មដោយប្រយោលទៅវិញទៅមករវាងដែនទាំងពីរនេះត្រូវបានសង្ខេបដោយសមីការម៉ាក់ស្វែល។ ដូចនេះនៅពេលដែលដែនអគ្គិសនី ឬដែនម៉ាញេទិចប្រែប្រួលតាមពេល នោះដែនប្រភេទផ្សេងគ្នាត្រូវបានបង្កើតឡើងក្នុងតំបន់ជាប់ក្បែរគ្នានៃលំហ។ ដូចបង្ហាញក្នុងសមីការម៉ាក់ស្វែល នាំអោយយើងគិតពីលទ្ធភាពនៃបម្លាស់ទីអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលមានដែនអគ្គិសនីផង និងដែនម៉ាញេទិចផងប្រែប្រួលតាមពេលដែលអាចផ្លាស់ទីឆ្លងកាត់លំហពីតំបន់មួយទៅកាន់តំបន់មួយទៀតទោះបីគ្មានមជ្ឈដ្ឋាននៅតំបន់កណ្ដាលរវាងតំបន់មួយទៅតំបន់មួយទៀតក៏ដោយ។ បម្លាស់ទីនេះមានលក្ខណៈជារលក បើនិយាយអោយងាយស្រួលគឺត្រូវបានគេហៅថា**រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច**។ រលកទាំងនោះកើតមាននៅក្នុងការផ្សាយវិទ្យុ ទូរទស្សន៍ ពន្លឺ កាំ រស្មីអ៊ិចនិងការបន្សាយកាំរស្មីជាច្រើនផ្សេងៗទៀតដែលជាឧទាហរណ៍នៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។ បំណងរបស់យើងក្នុងមេរៀននេះគឺចង់ឃើញពីរបៀបពន្យល់ពីលក្ខណៈរលកនេះ ដោយប្រើគោលការណ៍អេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលយើងបានរៀនរួចកន្លងមក។

អគ្គិសនី ម៉ាញេទិច និងពន្លឺ

ដូចអ្វីដែលបានកើតឡើងញឹកញាប់ក្នុងការវិវត្តផ្នែកវិទ្យាសាស្ត្រ ការយល់ពីទ្រឹស្ដីនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមានការវិវត្តយ៉ាងខ្លាំងជាងអ្វីដែលយើងបានរៀបរាប់ខាងលើ។ ខណៈពេលដំបូងៗនៃកំណើតទ្រឹស្ដីអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចគឺនៅដើមសតវត្សទី១៩ មានខ្នាតពីរផ្សេងគ្នារបស់បន្ទុកអគ្គិសនីត្រូវបានប្រើ ខ្នាតទី១គឺប្រើក្នុងអេឡិចត្រូស្តាទិច ចំណែកទី២គឺប្រើក្នុងបាតុភូតម៉ាញេទិចដែលកើតឡើងដោយសារចរន្តអគ្គិសនី។ ក្នុងប្រព័ន្ធខ្នាតដែលបានប្រើនៅពេលនោះ ខ្នាតនៃបន្ទុកទាំងពីរនោះមានទំហំរូបវិទ្យាផ្សេងគ្នា។ ផលធៀបនៃខ្នាតទាំងពីរនោះមានទំហំដូចជាខ្នាតនៃល្បឿន ហើយការពិសោធន៍បានបង្ហាញថាផលធៀបនោះមានតម្លៃជាលេខដែលស្មើទៅនឹងតម្លៃនៃល្បឿនពន្លឺ $3\,10^8\,m/s$។ ក្នុងសម័យនោះ អ្នករូបវិទ្យាចាត់ទុកការរកឃើញនេះថាជារឿងចៃដន្យដ៏អស្ចារ្យ ប៉ុន្តែមិនមានគំនិតអ្វីមួយយកមកពន្យល់លទ្ធផលនេះឡើយ។ ក្នុងការស្រាវជ្រាវរុករកដើម្បីយល់ពីលទ្ធផលនេះ លោកម៉ាក់ស្វែល (១៨៣១-១៨៧៩)ជាមនុស្សដំបូងគេដែលបានបកស្រាយយ៉ាងច្បាស់លាស់ក្នុងឆ្នាំ១៨៦៥ថា បម្លាស់ទីអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចអាចផ្លាស់ទីក្នុងលំហសេរីដោយល្បឿនស្មើនឹងល្បឿនពន្លឺ ហើយគាត់ទាញសន្និដ្ឋានថាវាជារលកពន្លឺដែលអាចកើតឡើងតាមលក្ខណៈអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចតាមធម្មជាតិ។

រូបទី៥.៤.រូបថតលោកម៉ាក់ស្វែល

ក្នុងពេលជាមួយគ្នាដែរគាត់ក៏បានរកឃើញថា គោលការណ៍គ្រឹះនៃផ្នែកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចអាចបង្ហាញដោយប្រើសមីការចំនួន៤ដែលសព្វថ្ងៃនេះយើងហៅថាសមីការម៉ាក់ស្វែល(Maxwell)។ សមីការទី១ គឺច្បាប់ Gauss សម្រាប់ដែនអគ្គិសនី ទី២ច្បាប់ Gauss សម្រាប់ដែនម៉ាញេទិចដែលបង្ហាញពីអវត្តមាននៃដែនម៉ាញេទិចឯកប៉ូល(ម៉ូណូប៉ូល) ទី៣ច្បាប់អំពែដែលរួមមានចរន្តបម្លាស់ទី និងទី៤គឺច្បាប់ផារ៉ាដេ Faraday។

ច្បាប់Gaussសម្រាប់ដែនអគ្គិសនី $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{encl}}{\varepsilon_0}$

ច្បាប់Gauss សម្រាប់ដែនម៉ាញេទិច $\oiint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$

ច្បាប់ Ampere $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(I_c + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)_{encl}$

ច្បាប់Faraday $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

សមីការទាំងនេះអាចអនុវត្តបានចំពោះដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចក្នុងសុញ្ញាកាស។ បើសិនវាកើតមានក្នុងមជ្ឈដ្ឋានមួយ នោះពែមីទីវីតេ ε_0 និងពែរមេអាប៊ីលីតេ μ_0 នៃសុញ្ញាកាសត្រូវបានជំនួសដោយ ε និង μ នៃមជ្ឈដ្ឋាននោះ។ បើសិនជាតម្លៃនៃ ϵ និង μ មានតម្លៃខុសគ្នាត្រង់ចំនុចផ្សេងគ្នាក្នុងតំបន់អាំងតេក្រាល ហើយបន្ទាប់មកតម្លៃ ϵ និង μ នោះយើងត្រូវតែបញ្ជូនទៅដាក់អង្គខាងឆ្វេងនៃសមីការ $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{encl}}{\varepsilon_0}$ និងសមីការ $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(I_c + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)_{encl}$ រៀងគ្នាដោយដាក់ក្នុងអាំងតេក្រាល។ ហើយតម្លៃនៃ ϵ ក្នុងសមីការត្រូវ $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(I_c + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)_{encl}$ ដាក់បញ្ចូលក្នុងអាំងតេក្រាលដែលផ្តល់អោយមានតួ $\frac{d\Phi_B}{dt}$ ។

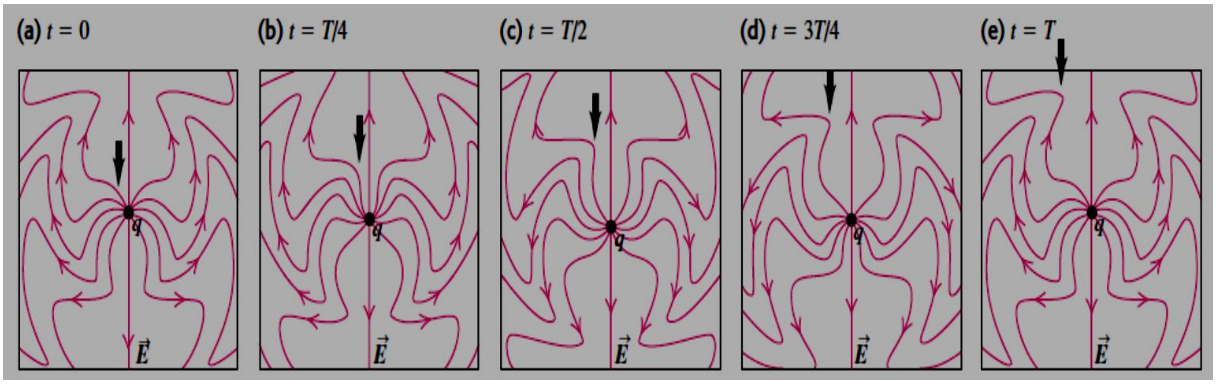
ដោយយោងលើសមីការម៉ាក់ស្វែល ចំនុចបន្ទុកដែលនៅស្ងៀមបង្កើតបានដែនអគ្គិសនីស្តាទិច $\vec{E}$ ប៉ុន្តែមិនមែនដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ ទេ។ សមីការម៉ាក់ស្វែលក៏អាចប្រើសម្រាប់បង្ហាញថា ដើម្បីអោយចំនុចបន្ទុកមួយអាចបង្កើតរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច បន្ទុកនោះដាច់ខាតត្រូវតែបង្កើនល្បឿនអោយមានសំទុះ។ តាមពិតវាជាលទ្ធផលទូទៅនៃសមីការម៉ាក់ស្វែល រាល់បន្ទុកដែលមានសំទុះសុទ្ធតែអាចបង្កើតថាមពលអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។

រូបទី៥.៥.បង្គោលខ្សែភ្លើងដែលមានតង់ស្យុងខ្ពស់បន្សាយរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

រាល់ទូរស័ព្ទចល័ត សេវាកម្មអ៊ីនធើណែតគ្មានខ្សែ ប្រព័ន្ធផ្សាយវិទ្យុបានបន្សាយសញ្ញាក្រោមទម្រង់ជារលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលកើតចេញពីបន្ទុកអគ្គិសនីដែលមានចលនាស្ទុះ។ ចំណែកឯប្រព័ន្ធខ្សែបណ្តាញអគ្គិសនីវាបានផ្ទុកនូវចរន្តឆ្លាស់យ៉ាងធំដែលមានន័យថាបរិមាណបន្ទុកយ៉ាងច្រើនសំបើមមានចលនាស្ទុះទៅមុខ និងទៅក្រោយហើយបង្កើតបានជារលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។ រលកទាំងនេះអាចបង្កើតសម្លេងខ្សោយតិចៗ(លឺសម្លងរំខានឆ្លងប៉ុស្ដិ៍)ដែលចេញពីវិទ្យុក្នុងរថយន្តរបស់យើងនៅពេលយើងបើកបរក្បែរៗបណ្តាញខ្សែអគ្គិសនីទាំងនោះ។

- ✓ **ការផលិតនៃការបន្សាយរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច**

វិធីមួយដែលចំនុចបន្ទុកអគ្គិសនីមួយអាចបន្សាយរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចគឺធ្វើអោយវាមានលំយោលក្រោមទម្រង់ជាលំយោលអាកម៉ូនិចងាយ ដែលធ្វើអោយវាមានសំទុះស្ទើរតែគ្រប់ខណៈទាំងអស់(លើកលែងតែនៅពេលវាឆ្លងកាត់ទីតាំងលំនឹងរបស់វា)។ រូបខាងក្រោមបង្ហាញពីខ្សែដែនអគ្គិសនីមួយចំនួនដែលកើតឡើងពីបន្ទុកមួយដែលមានចលនាលំយោល។ ខ្សែដែនទាំងនោះមើលមិនឃើញឡើយ ប៉ុន្តែយើងត្រូវគិតថាខ្សែដែននោះមានលក្ខណៈជាខ្សែដែលរីកចេញពីចំនុចបន្ទុកទៅកាន់ទីតាំងអនន្ត។ លំយោលនៃបន្ទុកចុះឡើងៗវាបានបង្កើតជារលកដែលផ្លាស់ទីចេញពីចំនុចបន្ទុកទៅក្រៅតាមបណ្តោយខ្សែទាំងនោះ។



រូបទី៥.៦.ខ្សែដែនអគ្គិសនីក្នុងរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។

រូបទី៥.៦ខាងលើបង្ហាញពីខ្សែដែនអគ្គិសនីដែលកើតពីចំនុចបន្ទុកមានចលនាលំយោលអាកម៉ូនិចងាយ រូបនេះត្រូវបានមើលឃើញក្នុងខណៈពេល៥ផ្សេងគ្នាសម្រាប់លំយោលមួយខួប។ គន្លងនៃបម្លាស់របស់បន្ទុកស្ថិតក្នុងប្លង់នៃរូបនេះ។ នៅខណៈ $t = 0$ ចំនុចបន្ទុកស្ថិតនៅត្រង់បម្លាស់ទីអតិបរមាផ្នែកខាងលើ។ ចំណែកសញ្ញាព្រួញបង្ហាញពីការរុំព័ទ្ធបញ្ចូលគ្នានៃខ្សែដែនអគ្គិសនី នៅពេលវាផ្លាស់ទីចេញពីចំនុចបន្ទុកឆ្ពោះទៅក្រៅ។ ហើយខ្សែដែនម៉ាញេទិចមិនបានបង្ហាញក្នុងរូបនេះទេ វាជាខ្សែរង់ដែលស្ថិតក្នុងប្លង់កែងទៅនឹងប្លង់នៃខ្សែដែនអគ្គិសនីដែលមានផ្ចិតរួមគ្នានៅលើអ័ក្សនៃលំយោល។

ត្រូវចងចាំថាបន្ទុកមិនអាចបន្សាយរលកអោយបានស្មើៗគ្នាគ្រប់ទិសនោះទេ រលកដែលខ្លាំងជាងគេគឺផ្តុំបានមុំ ៩០ដឺក្រេធៀបទៅនឹងអ័ក្សនៃចលនារបស់បន្ទុក ហើយបន្ទុកក៏មិនបានបង្កើតរលកតាមទិសស្របនឹងអ័ក្សចលនារបស់វាដែរ។ ការរៀបរាប់ទាំងនេះត្រូវបានសន្និដ្ឋានដោយរូបខ្សែខាងលើ។ ម្យ៉ាងទៀតក៏មានបម្លាស់ទីម៉ាញេទិចដែលរីកទៅខាងក្រៅដែលចេញពីចំនុចបន្ទុក ប៉ុន្តែមិនត្រូវបានបង្ហាញក្នុងរូបខាងលើទេ។ ដោយសារបម្លាស់ទីដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចរីកចេញឬបន្សាយចេញពីប្រភព ហេតុនេះហើយបានជាឈ្មោះ **បន្សាយអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច**ត្រូវបានគេប្រើជំនួសគ្នាបានជាមួយនឹងឃ្លា**រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។**

រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលមានជំហានរលកម៉ាក្រូស្កូពិច (ជំហានរលកធំ) ត្រូវបានបង្កើតឡើងដំបូងគេក្នុងឆ្នាំ១៨៨៧ ក្នុងបន្ទប់ពិសោធន៍ធ្វើដោយលោក ហេនរិច ហឺត(Heinrich Hertz) ដែលជាអ្នករូបវិទ្យាជនជាតិអាល្លឺម៉ង់។ គាត់បានប្រើបន្ទុកដែលមានចលនាលំយោលក្នុងសៀគ្វី L-C ធ្វើជាប្រភពនៃរលក គាត់បានទទួលសញ្ញានៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចនៅលើសៀគ្វីមួយផ្សេងទៀតដែលមានប្រេកង់ស្មើគ្នានឹងប្រេកង់នៃសៀគ្វីដើម L-C ។ លោកហឺតបានបង្កើតរលកជញ្ជ្រុំអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច ហើយបានវាស់ចម្ងាយរវាងថ្នាំងពីរនៅជិតគ្នាដែលជាពាក់កណ្តាលនៃជំហានរលក ហើយឈាន

ទៅដល់ការរកចម្ងាយជំហានរលក។ ដោយស្គាល់ប្រេកង់រេសូណង់នៃសៀគ្វីរបស់គាត់ នាំអោយគាត់អាចគណនារកឃើញល្បឿននៃរលកតាមទំនាក់ទំនងរវាងជំហានរលក និងប្រេកង់ $v = \lambda . f$។ គាត់បានរកឃើញថា ល្បឿនរលករបស់គាត់ស្មើនឹងល្បឿននៃពន្លឺ លទ្ធផលនេះបានផ្ទៀងផ្ទាត់ការព្យាករណ៍នៃទ្រឹស្តីរបស់ម៉ាក់ស្វែលយ៉ាងច្បាស់លាស់។ ហើយខ្នាតនៃប្រេកង់ត្រូវបានគេដាក់ឈ្មោះលោកហឺតដើម្បីផ្តល់ជាកិត្តិយសជូនគាត់។ មួយហឺតស្មើនឹងមួយជុំក្នុងមួយវិនាទី។

តម្លៃនៃល្បឿនពន្លឺដែលគេប្រើសព្វថ្ងៃហើយយើងតាងដោយអក្សរ $c = 299792458\, m/s$ ហើយគេបានកំណត់យកតម្លៃជាក់លាក់មួយគឺ $c = 3.10^{8}\, m/s$។

ការប្រើប្រាស់នៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចនៅក្នុងសារគមនាគមន៍ដែលមានចម្ងាយយ៉ាងឆ្ងាយ មិនត្រូវបានបង្កើតឡើងដោយលោកហឺតទេ។ ប៉ុន្តែវាត្រូវបានបង្កើតដោយលោក ម៉ាកូនី (Marconi) និងអ្នកផ្សេងទៀត ហើយពួកគាត់បានបង្កើតការផ្សាយតាមវិទ្យុដែលយើងប្រើប្រាស់សព្វថ្ងៃ (radio communication)។ ក្នុងឧបករណ៍**អ្នកបន្សាយសញ្ញាវិទ្យុ** បន្ទុកអគ្គិសនីត្រូវបានគេធ្វើអោយមានចលនាលំយោលនៅតាមបណ្តោយនៃប្រវែងអង់តែនដែលជាអង្គធាតុចម្លង ហើយបង្កើតបានជាលំយោលខ្សែដែនអគ្គិសនី និងខ្សែដែនម៉ាញេទិចដូចក្នុងរូបខាងលើ។ ដោយសារបន្ទុកយ៉ាងច្រើនមានលំយោលព្រមគ្នាៗក្នុងអង់តែន ធ្វើអោយកើតមានរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចយ៉ាងខ្លាំង ដែលជាហេតុនាំអោយគេអាចចាប់បានសញ្ញារលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចនៅតំបន់ឆ្ងាយៗ។ ចំណែកក្នុង**ឧបករណ៍ទទួលសញ្ញាវិទ្យុ**មានអង់តែនក៏ធ្វើពីអង្គធាតុចម្លងដែរ ហើយដែននៃរលកដែលចេញពីឧបករណ៍បន្សាយយ៉ាងឆ្ងាយបានបញ្ចេញកម្លាំងទៅលើបន្ទុកសេរីដែលស្ថិតក្នុងអង់តែននោះដែលអាចបង្កើតអោយមានចរន្តលំយោល ដែលក្រោយមកត្រូវបានឧបករណ៍ទទួលសញ្ញាចាប់បាន ហើយត្រូវបានពង្រីកដោយសៀគ្វីតំលើងក្នុងឧបករណ៍ទទួលសញ្ញានោះ។ ហើយក្នុងមេរៀននេះយើងផ្តោតតែលើរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចប៉ុណ្ណោះ យើងមិនផ្តោតលើរបៀបបង្កើតរលកនោះទេ។

✓ **ស្ប៊ិចនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច**

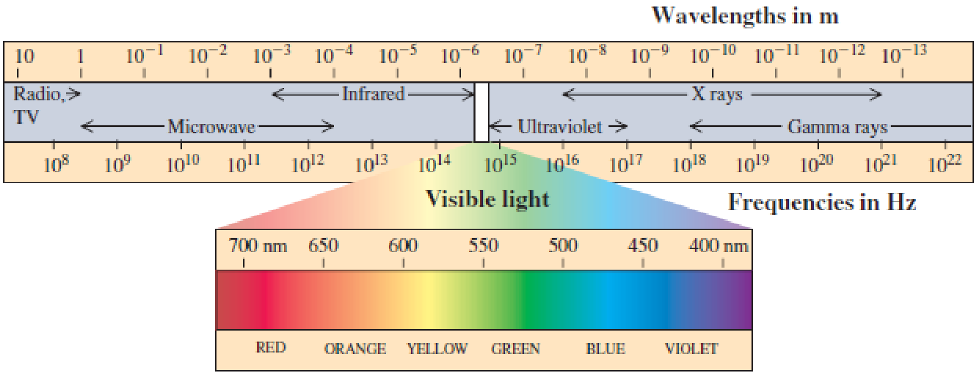
ស្ប៊ិចនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចគឺជាបណ្តុំនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចទាំងអស់ដែលមាន ប្រេកង់ និងជំហានរលកផ្សេងៗគ្នា។ រូបខាងក្រោមបង្ហាញពីលំដាប់នៃប្រេកង់ និងជំហានរលក ដែលគេតែងតែជួបប្រទះយ៉ាងញឹកញាប់ក្នុងស្ប៊ិចនេះ។ ទោះបីមានភាពខុសគ្នាយ៉ាងខ្លាំងក្នុងការប្រើប្រាស់របស់វា និងរបៀបផលិតវាយ៉ាងណាក៏ដោយ ក៏រលកទាំងនោះសុទ្ធតែមានល្បឿនស្មើៗគ្នាដែរក្នុងសុញ្ញាកាស ($c = 299792458\, m/s$)។ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចអាចមានប្រេកង់ f និងជំហានរលកខុសគ្នា λ ប៉ុន្តែទំនាក់ទំនងក្នុងសុញ្ញាកាស $c = \lambda f$ នៅតែអនុវត្តបាន។ យើងអាចចាប់បានសញ្ញានៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចក្នុងលំដាប់យ៉ាងតិចតួចមួយដោយប្រើញ្ញាណនៃភ្នែករបស់យើង ហើយរលកនោះត្រូវបានគេហៅថា **ពន្លឺមើលឃើញ**។ លំដាប់ជំហានរលកលាតសន្ធឹងប្រហែលពី 380nm ទៅ 750nm ហើយ

ប្រេកង់ត្រូវនឹងចន្លោះពី 790 ទៅ 400 THz(តេរ៉ាហឺត)។ ផ្នែកផ្សេងគ្នានៃស្ប៉ិចម៉ាញេទិចដែលភ្នែកមើលឃើញនេះបានធ្វើអោយភ្នែកមនុស្សចងចាំនូវពណ៌របស់ពន្លឺដែលមានប្រេកង់ផ្សេងគ្នាដូចក្នុងតារាងខាងក្រោម។ តារាងខាងក្រោមបង្ហាញពីជំហានរលកដែលត្រូវនឹងពណ៌នីមួយៗ។

Table 32.1 Wavelengths of Visible Light

380–450 nm	Violet
450–495 nm	Blue
495–570 nm	Green
570–590 nm	Yellow
590–620 nm	Orange
620–750 nm	Red

រូបទី៥.៧.ជំហានរលករបស់ពន្លឺមើលឃើញ។



ចំណែកឯពន្លឺពណ៌សវិញគឺជាការរួមបញ្ចូលគ្នានៃពន្លឺមើលឃើញទាំងអស់ខាងលើ។ ម្យ៉ាងវិញទៀតបើយើងប្រើប្រភព ឬឧបករណ៍ច្រុះ យើងអាចជ្រើសរើសលំដាប់ជំហានរលកបានយ៉ាងតូចចង្អៀត និងញឹកៗក្នុងលំដាប់ 2ទៅ 3nm(ណាណូម៉ែត្រ)។ ពន្លឺទាំងនោះត្រូវបានគេហៅថា ម៉ូណូក្រូម៉ាទិច (ពន្លឺតែមួយពណ៌)។ គេមិនអាចបង្កើតពន្លឺម៉ូណូក្រូម៉ាទិចដែលល្អឥតខ្ចោះបាននោះទេ។ នៅពេលយើងប្រើពាក្យពន្លឺម៉ូណូក្រូម៉ាទិចដែលមានជំហានរលក $\lambda = 550nm$ ដោយយោងលើការធ្វើពិសោធន៍ក្នុងបន្ទប់ពិសោធន៍ ដោយមានន័យថាវាជាលំដាប់តូចចង្អៀតមួយនៃជំហានរលកប្រហែល $550nm$ ដែលសមត្ថភាពឧបករណ៍អាចធ្វើបាន។ ពន្លឺដែលចេញពីឡាស៊ែរគឺមានលក្ខណៈម៉ូណូក្រូម៉ាទិចជាងការបង្កើតពន្លឺតាមវិធីផ្សេងៗទៀត។ ចំណែករលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលមើលមិនឃើញវិញមិនមែនគ្មានប្រយោជន៍ដូចពន្លឺមើលឃើញនោះទេ។ ក្នុងប្រព័ន្ធទំនាក់ទំនងសកលរបស់យើងគឺអាស្រ័យទៅលើរលកវិទ្យុដូចជា វិទ្យុAM ប្រើប្រេកង់ចន្លោះពី $5.4\,10^5 Hz$ ទៅ $1.6\,10^6 Hz$ ចំណែកឯការផ្សាយនៃវិទ្យុ FM ប្រើប្រាស់ប្រេកង់ចន្លោះ $8.8\,10^7 Hz$ ទៅ $1.08\,10^8 Hz$។ ចំណែកឯការផ្សាយទូរទស្សន៍ប្រើប្រេកង់នៅចន្លោះលំដាប់ខ្ពស់បំផុត និងតូចបំផុតនៃប្រេកង់របស់វិទ្យុ FM។ ចំណែកឯ

រលកមីក្រូក៏ត្រូវបានប្រើក្នុងសារគមនាគមន៍ដែរដូចជាក្នុងប្រព័ន្ធទូរស័ព្ទ និងបណ្ដាញអ៊ិនធើណែតគ្មានខ្សែ និងប្រើសម្រាប់រ៉ាដាព្យាករណ៍អាកាសធាតុដែលប្រើប្រេកង់ប្រហែល $3.10^9 Hz$។ កាមេរ៉ាភាគច្រើនបានបំពាក់ឧបករណ៍បន្សាយបាច់ពន្លឺក្រហមអាំងប្រា បន្ទាប់មកវាវិភាគលើពន្លឺក្រហមអាំងប្រាដែលចាំងផ្លាតត្រឡប់មកវិញដែលចេញពីវត្ថុ ដើម្បីដឹងពីចម្ងាយរវាងវត្ថុនិងកាមេរ៉ា បន្ទាប់មកវាកែតម្រូវកំណុំរបស់វាដោយស្វ័យប្រវត្តិក្នុងការថតយករូបភាពវត្ថុនោះ។ ចំណែក កាំរស្មីអ៊ិចវិញអាចផ្លាស់ទីជ្រាតចូលក្នុងសាច់របស់មនុស្សដែលមានប្រយោជន៍យ៉ាងខ្លាំងក្នុងការពិនិត្យធ្មេញ និងក្នុងរូបភាពវេជ្ជសាស្ត្រ។ ចំណែកកាំរស្មីហ្គាម៉ា(Gamma)វិញគឺជារលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលមានជំហានរលកខ្លីជាងគេហើយត្រូវបានប្រើក្នុងវេជ្ជសាស្ត្រក្នុងការបំផ្លាញកោសិកាមហារីក។

ឥឡូវយើងផ្តោតលើពន្លឺស្វាយអ៊ុលត្រា សត្វល្អិត និងបក្សីភាគច្រើនអាចមើលឃើញពន្លឺស្វាយអ៊ុលត្រាដែលមនុស្សមិនអាចមើលឃើញ។ ឧទាហរណ៍ដូចរូបផ្កាខាងឆ្វេងបង្ហាញពីសត្វល្អិតម្យ៉ាងដែលមានភ្នែកពណ៌ខ្មៅមើលមកយើង។ ចំណែករូបខាងស្តាំ(ពណ៌មិនពិតជាក់ស្តែង) ថតដោយប្រើកាមេរ៉ាដែលរួសនឹងពណ៌ស្វាយអ៊ុលត្រា វាបានបង្ហាញពីរបៀបដែលផ្កាតែមួយកើតឡើងចំពោះសត្វឃ្មុំដែលក្រេបជញ្ជក់លំអងផ្កានោះ។ អ្វីដែលគួរអោយចាប់អារម្មណ៍គឺចំនុចកណ្តាលដ៏ធំដែលភ្នែកមនុស្សមិនអាចមើលឃើញ។ ស្រដៀងគ្នាដែរ ចំពោះបក្សីដែលអាចមើលឃើញពន្លឺស្វាយអ៊ុលត្រាដូចជាសត្វសេក និងក្ងោកដែលមានស្នាមគំនូសស្វាយអ៊ុលត្រានៅលើខ្លួនវាដែលធ្វើអោយវាមានសម្រស់យ៉ាងរស់រវើកពេលវាមើលឃើញគ្នាវាជាងមនុស្សមើលឃើញវា។

រូបទី៥.៨.ពណ៌ផ្កាដែលមើលឃើញដោយមនុស្សនិងបក្សី។

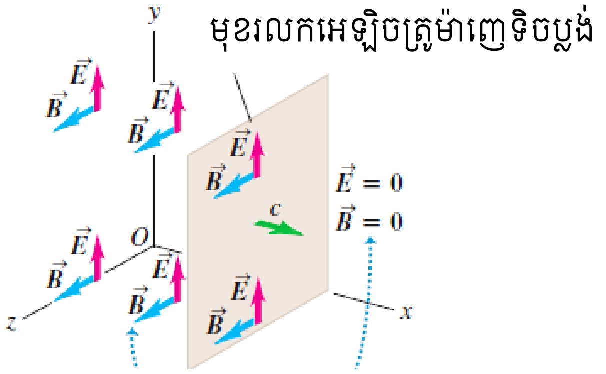
៥.៤.រលកប្លង់អេឡិចត្រូម៉ាញេទិច និងល្បឿនពន្លឺ

ឥឡូវយើងត្រៀមរួចស្រេចក្នុងការអភិវឌ្ឍគំនិតគ្រឹះនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច និងទំនាក់ទំនងរបស់វាទៅនឹងគោលការណ៍ម៉ាញេទិច។ ដំណើរការណ៍របស់យើងគឺបង្ហាញពីរូបរាងដែនងាយៗដែលមានលក្ខណៈជារលក។ យើងសន្មតថាដែនអគ្គិសនីមានតែជាតុតាមអ័ក្ស y ហើយដែនម៉ាញេទិចវិញមានតែជាតុតាមអ័ក្ស z ហើយសន្មតដែនទាំងពីរនេះផ្លាស់ទីព្រមគ្នាតាមអ័ក្ស x ដោយមានល្បឿន c ដែល

ដំបូងឡើយគេមិនទាន់ស្គាល់តម្លៃរបស់វា។ តាមការសន្មតខាងលើ យើងបានដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ និងដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ កែងគ្នាហើយដែនទាំងពីរក៏កែងទៅនឹងទិសដំណាលរបស់វាដែរ។ បន្ទាប់មកយើងនឹងធ្វើតេស្តសាកមើលថាតើវាត្រូវគ្នាទៅនឹងសមីការម៉ាក់ស្វែលដែរទេ ជាពិសេសច្បាប់អំពែ និងច្បាប់ផារ៉ាដេ។ យើងសង្ឃឹមថានឹងបានចម្លើយវិជ្ជមានដែលអាចរកឃើញតម្លៃពិតនៃល្បឿនពន្លឺ ហើយយើងក៏រំពឹងផងដែរថា សមីការរលកដែលយើងបានជួបប្រទះកន្លងមក អាចទាញចេញពីសមីការ Maxwell បាន។

- ✓ **រលកប្លង់អេឡិចត្រូម៉ាញេទិចធម្មតា**

ដោយប្រើប្រាស់ប្រព័ន្ធកូអរដោនេ (xyz)ដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម ដោយយើងស្រមៃថា លំហទាំងអស់ត្រូវបានបែងចែកជាពីរតំបន់ខ័ណ្ឌដោយប្លង់មួយកែងទៅនឹងអ័ក្សx ហើយស្របទៅនឹងប្លង់(yz) ។



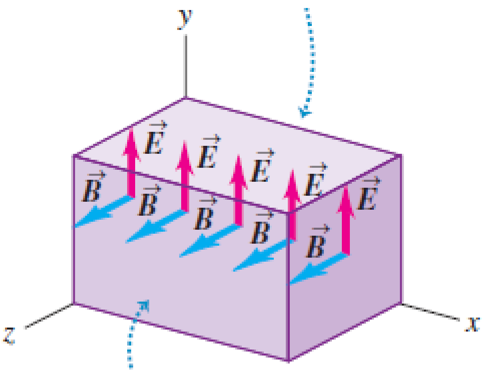
រូបទី៥.៩.មុខរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចប្លង់ ដែលប្លង់តំណាងឱ្យមុខរលកផ្លាស់ទីទៅខាងស្តាំ។

ដែនអគ្គិសនីនិងដែនម៉ាញេទិចជាដែនឯកសណ្ឋាននៅផ្នែកខាងក្រោយ
មុខរលកដែលផ្លាស់ទីហើយដែនស្មើសូន្យនៅផ្នែកខាងមុខរបស់ប្លង់។

តាមរូបខាងលើប្លង់តំណាងអោយមុខរលកដែលផ្លាស់ទីទៅខាងស្តាំតាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស(x) ដោយល្បឿន c។ ពល់ចំនុចនីមួយៗនៅផ្នែកខាងក្រោយ(ខាងឆ្វេង)នៃប្លង់មានដែនអគ្គិសនីឯកសណ្ឋានតាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស y ហើយមានដែនម៉ាញេទិចឯកសណ្ឋានតាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស z។ ដូច្នេះដែន $\vec{E}$ និង$\vec{B}$ ផ្លាស់ទីទៅខាងស្តាំឆ្ពោះទៅរកតំបន់ដែលគ្មានដែនអ្វីទាំងអស់កាលដំបូងឡើយ ហើយវាផ្លាស់ទីដោយល្បឿនកំណត់មួយ។ នេះហើយគឺជារលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចគ្រឹះដំបូងដែលគេអាចបង្កើតបាន។ រលកប្រភេទនេះមានដែនជាដែនឯកសណ្ឋាននៅរាល់ខណៈទាំងអស់ដែលវាស្ថិតនៅលើប្លង់ណាមួយដែលកែងទៅនឹងទិសដំណាលនៃរលក រលកប្រភេទនេះត្រូវបានគេហៅថា **រលកប្លង់**។ តាមរូបខាងលើយើងឃើញថា ដែនមានតម្លៃសូន្យនៅលើប្លង់ផ្នែកខាងស្តាំនៃមុខរលក ហើយដែនមានតម្លៃស្មើគ្នានៅលើប្លង់ផ្នែកខាងឆ្វេងនៃមុខរលក។ យើងនឹងសិក្សាលម្អិតបន្ថែមទៀតលើផ្នែករលកប្លង់នេះ។ យើងសួរសំណួរងាយៗថាតើរលកនេះអាចផ្ទៀងផ្ទាត់សមីការម៉ាក់ស្វែលដែរឬទេ។ យើងនឹងពិចារណាលើសមីការនីមួយក្នុងសមីការទាំងបួនរបស់ម៉ាក់ស្វែល។ យើងសាកផ្ទៀងផ្ទាត់ថាតើរលករបស់យើងផ្ទៀតផ្ទាត់សមីការទី១ និងទី២នៃសមីការម៉ាក់ស្វែលដែលជាច្បាប់ Gauss ចំពោះដែន

អគ្គិសនី និងចំពោះដែនម៉ាញេទិច។ ដើម្បីធ្វើរឿងនេះយើងសន្មតយកផ្ទៃរបស់Gaussមានរាងជាប្រលេពីប៉េតកែងដែលមានជ្រុងរបស់វាស្របទៅនឹងប្លង់ $(xy)(xz)(yz)$ ដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។

ដែនអគ្គិសនីមានតម្លៃស្មើគ្នានៅផ្នែកខាងលើ និងនៅផ្នែកបាតនៃផ្ទៃហ្គោស ហេតុនេះភ្លូចអគ្គិសនីសរុបឆ្លងកាត់ផ្ទៃស្មើសូន្យ។



ដែនម៉ាញេទិចមានតម្លៃស្មើគ្នានៅផ្នែកខាងឆ្វេងនិងនៅខាងស្តាំនៃផ្ទៃហ្គោស ហេតុនេះភ្លូចម៉ាញេទិចសរុបឆ្លងកាត់ផ្ទៃស្មើសូន្យ។

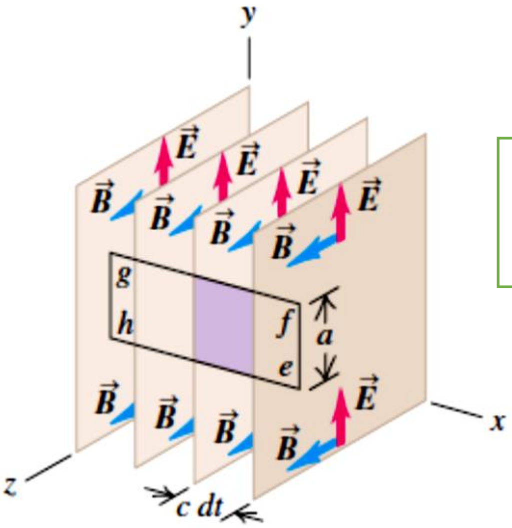
រូបទី៥.១០.(a) អនុវត្តច្បាប់ផារ៉ាដេលើប្លង់រលក។ (b)ក្នុងរយៈពេល(dt)ភ្លូចម៉ាញេទិចឆ្លងកាត់ចតុកោណកែងក្នុងប្លង់(xy)កើនឡើងចំនួន $d\Phi_B$។ ចំនួនកំណើននេះស្មើនឹងភ្លូចឆ្លងកាត់ផ្ទៃពណ៌ស្វាយដែលមានផ្ទៃ$a\,cdt$ ដែល $d\Phi_B = Bacdt$

យើងបាន $\frac{d\Phi_B}{dt} = Bac$

ប្រអប់ដែលព័ទ្ធជុំវិញគ្មានបន្ទុកអគ្គិសនីទេ។ ភ្លូចអគ្គិសនី និងភ្លូចម៉ាញេទិចសរុបដែលឆ្លងកាត់ប្រអប់មានតម្លៃសូន្យ ទោះបីជាផ្នែកខ្លះនៃប្រអប់ស្ថិតនៅតំបន់ដែល$E = B = 0$ ។ ករណីនេះគឺមិនកើតមានឡើយ បើសិនជាដែន $\vec{E}$ និង$\vec{B}$ មានជាតុផ្សំតាមអ័ក្សx ហើយស្របទៅនឹងទិសដំណាលរបស់រលក ហើយបើសិនមុខរលកស្ថិតនៅក្នុងប្រអប់វិញ វាគួរតែមានភ្លូចនៅផ្នែកខាងឆ្វេងនៃប្រអប់(នៅត្រង់ $x = 0$) ប៉ុន្តែមិនមានទេនៅផ្នែកខាងស្តាំនៃប្រអប់(នៅខាង $x > 0$)។

ដូចនេះដើម្បីអាចផ្ទៀងផ្ទាត់សមីការទី១ និងទី២នៃសមីការម៉ាក់ស្វែល ដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចត្រូវតែកែងទៅនឹងទិសដំណាលនៃរលកដែលរលកប្រភេទនេះត្រូវបានគេហៅថា **រលកទទឹង**។ សមីការម៉ាក់ស្វែលបន្ទាប់ដែលត្រូវពិចារណាគឺច្បាប់ផារ៉ាដេ $\oint \vec{E}\cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

ដើម្បីតេស្តថាតើរលករបស់យើងផ្ទៀងផ្ទាត់ច្បាប់ផារ៉ាដេឬទេ យើងត្រូវអនុវត្តច្បាប់នេះទៅលើចតុកោណកែង $efgh$ ដែលស្របទៅនឹងប្លង់(xy) ដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។



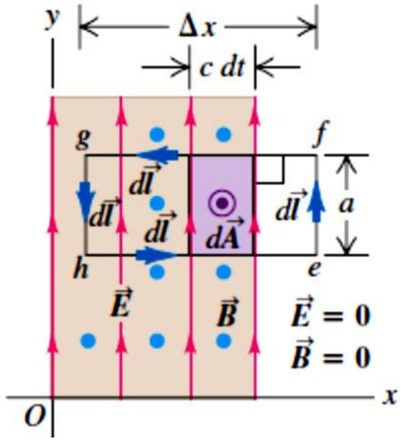
រូបទី៥.១០.(a)ក្នុងរយៈពេលdt មុខរលកផ្លាស់ទីបានប្រវែង cdt តាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្សx

ចំណែករូបខាងក្រោមបានបង្ហាញពីមុខកាត់ដែលស្របនឹងប្លង់(xy) ចតុកោណកែងនេះមានកម្ពស់ a និងទទឹងΔx។ ក្នុងរយៈពេលបង្ហាញក្នុងរូប មុខរលកបានផ្លាស់ទីបានប្រវែងមួយក្នុងចតុកោណកែង ចំណែកដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ មានតម្លៃសូន្យតាមបណ្តោយជ្រុង ef។ ដោយប្រើច្បាប់ផារ៉ាដេ យើងយកវ៉ិចទ័រផ្ទៃនៃចតុកោណកែង efgh មានទិសដៅតាមទិសដៅ z វិជ្ជមាន។ តាមរយៈជម្រើសនេះ ហើយតាមវិធានដៃស្តាំតម្រូវអោយយើងអាំងតេក្រាល$\oint \vec{E}.d\vec{l}$ តាមទិសដៅប្រាសទ្រនិចនាឡិកាជុំវិញចតុកោណកែង។ នៅរាល់ចំនុចដែលនៅលើជ្រុងef ដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$មានតម្លៃសូន្យ។ នៅរាល់ចំនុចដែលនៅលើជ្រុងfg និង he ដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$មានតម្លៃសូន្យ ឬក៏កែងទៅនឹងវ៉ិចទ័រ $d\vec{l}$ផង។ មានតែជ្រុង gh ទេដែលចូលរួមក្នុងអាំងតេក្រាល។ នៅលើជ្រុងនេះដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$និង $d\vec{l}$ មានទិសដៅផ្ទុយគ្នា។

យើងបាន$\oint \vec{E}\cdot d\vec{l} = -Ea$

ដូចនេះអង្គខាងឆ្វេងនៃអាំងតេក្រាល$\oint \vec{E}.d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ មានតម្លៃខុសពីសូន្យ។ ដើម្បីផ្ទៀងផ្ទាត់ច្បាប់ផារ៉ាដេ $\oint \vec{E}.d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ ត្រូវតែមានជាតុនៃដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ តាមអ័ក្សz ដែលកែងទៅនឹងដែន$\vec{E}$ ហេតុនេះហើយត្រូវតែមានភ្លុចម៉ាញេទិចΦ_Bខុសពីសូន្យឆ្លងកាត់ចតុកោណefgh ហើយមានដេរីវេខុសពីសូន្យ $\frac{d\Phi_B}{dt}$ ។ តាមពិតដែនម៉ាញេទិចមានជាតុផ្សំតែតាមអ័ក្សzប៉ុណ្ណោះ។ យើងបានសន្មតថា ជាតុផ្សំនេះមានទិសដៅតាមអ័ក្សz វិជ្ជមាន ពេលនេះយើងឃើញថាការសន្មតនេះត្រូវគ្នាជាមួយច្បាប់ផារ៉ាដេ។ ក្នុងចន្លោះពេល dt មុខរលកផ្លាស់ទីបានចម្ងាយ $c.dt$ ទៅខាងស្តាំដូចក្នុងរូបខាងក្រោម ហើយវាគូសបានផ្ទៃ $a.c.dt$ នៃចតុកោណកែង efgh។ ក្នុងចន្លោះពេលនេះ ភ្លុចម៉ាញេទិចΦ_Bដែលឆ្លងកាត់ចតុកោណកែង efgh កើនឡើងបាន $d\Phi_B = B(a.c.dt)$

គេបានកម្រិតនៃបំរួលបំរួលភ្លុចគឺ $\frac{d\Phi_B}{dt} = B.a.c$ ។



រូបទី៥.១០.(b) ស្ថានភាពក្នុង(a)ពេលយើងមើលឃើញពីចំហៀង។

ឥលូវយើងយក$\oint \vec{E}.d\vec{l} = -Ea$ និង $\frac{d\Phi_B}{dt} = B.a.c$ ជំនួសក្នុងសមីការនៃច្បាប់ផារ៉ាដេ

យើងបាន $-Ea = B.a.c$

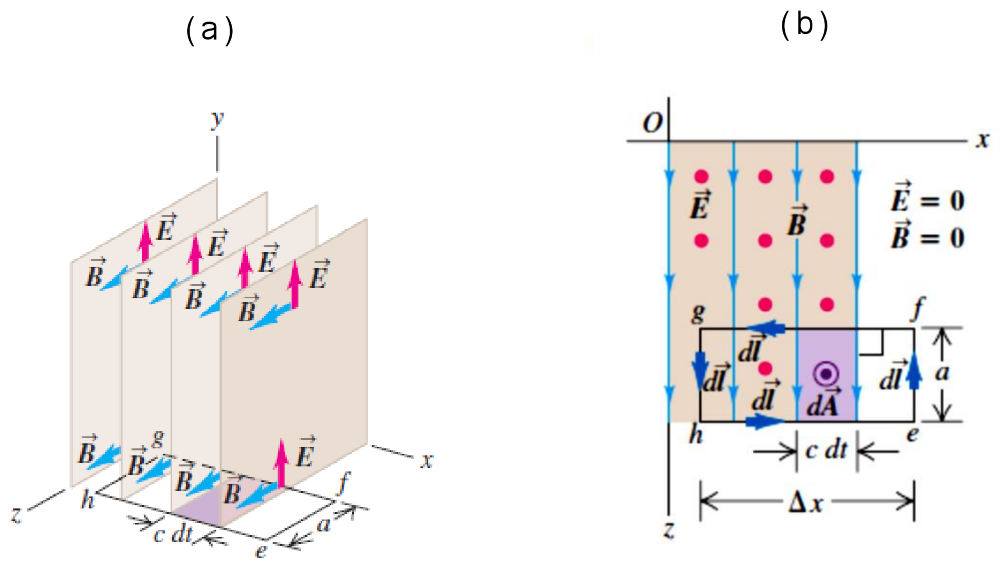
ដូចនេះ $E = cB$ (ចំពោះរលកអេឡិត្រូម៉ាញេទិចក្នុងសុញ្ញាកាស)

ទំនាក់ទំនងនេះបង្ហាញថា រលករបស់យើងត្រូវគ្នានឹងច្បាប់ផារ៉ាដេ តែក្នុងករណីមានទំនាក់ទំនងរវាងល្បឿនរលក និងតម្លៃនៃដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចប៉ុណ្ណោះ។ ត្រូវកត់ចំណាំថា បើសិនយើងសន្មតថា វ៉ិចទ័រដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ មានទិសដៅទៅខាងអ័ក្ស z អវិជ្ជមានវិញ យើងនឹងទទួលបានសញ្ញាដកក្នុង $E = c.B$ នេះដោយសារ c E B ជាតម្លៃវិជ្ជមាន ហេតុនេះយើងមិនមានចម្លើយអាចទៅរួចឡើយ។ លើសពីនេះទៅទៀត ជាតុផ្សំណាមួយនៃដែនម៉ាញេទិចតាមទិស y (ដែលស្របនឹងដែនអគ្គិសនី) មិនបានចូលរួមចំណែកក្នុងបំរែបំរួលភ្លុចម៉ាញេទិច Φ_Bដែលឆ្លងកាត់ចតុកោណកែង efgh (ស្របនឹងប្លង់ xy) ហេតុនេះហើយដែនម៉ាញេទិចតាមទិសនេះមិនមែនជាផ្នែកមួយនៃរលកឡើយ។

ចុងក្រោយនេះយើងធ្វើការគណនាស្រដៀងគ្នានឹងវិធីខាងលើដែរ ដោយប្រើច្បាប់អំពែដែលជាផ្នែកមួយនៃសមីការម៉ាក់ស្វែល។ មិនមានចរន្តចម្លងទេ ហេតុនេះ $I_C = 0$

ច្បាប់អំពែអាចសរសេរ $\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0.\epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$

ដើម្បីពិនិត្យមើលថាតើរលករបស់យើងត្រូវគ្នានឹងច្បាប់អំពែឬអត់ យើងផ្លាស់ទីចតុកោណកែង យើងបានចតុកោណកែងស្ថិតក្នុងប្លង់ xz ដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។



រូបទី៥.១១.(a) ក្នុងរយៈពេលdt មុខរលកផ្លាស់ទីបានប្រវែងcdt តាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្សx។(b) ក្នុងស្ថានភាព(a)បើយើងមើលពីលើ។

យើងពិនិត្យមើលស្ថានភាពនៅខណៈពេលដែលមុខរលកផ្លាស់ទីចូលក្នុងចតុកោណកែង។ យើងជ្រើសរើសយកទិសដៅវ៉ិចទ័រផ្ទៃ $d\vec{A}$ តាមទិសដៅ y វិជ្ជមាន ហេតុនេះវិធានដៃស្តាំតម្រូវអោយយើងធ្វើអាំងតេក្រាល$\oint\vec{B}.d\vec{l}$ តាមទិសដៅប្រាសទ្រនិចនាឡិកាជុំវិញចតុកោណកែង។ ដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ មានតម្លៃសូន្យនៅរាល់ចំនុចតាមបណ្តោយជ្រុងef ចំណែកឯចំនុចនីមួយៗនៅលើជ្រុង fg និង he វាមានតម្លៃសូន្យផង ឬកែងនឹង $d\vec{l}$ ផង។ មានតែនៅលើជ្រុង gh ទេដែលដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ និង $d\vec{l}$ ស្របគ្នា ហើយចូលរួមចំណែកក្នុងអាំងតេក្រាល។

គេបាន $\oint\vec{B}\cdot d\vec{l}=Ba$

យើងបានអង្គខាងឆ្វេងនៃសមីការក្នុងច្បាប់អំពែខុសពីសូន្យហើយអង្គខាងស្តាំក៏ត្រូវតែខុសពីសូន្យដែរ។ ដូចនេះដែនអគ្គិសនីត្រូវតែមានជាតុផ្សំរបស់វាតាមទិស y(កែងទៅនឹងដែន$\vec{B}$) ហេតុនេះហើយភ្លុចអគ្គិសនីΦ_E ដែលឆ្លងកាត់ចតុកោណកែង និងដេរីវេធៀបនឹងពេល $\frac{d\Phi_E}{dt}$ ក៏មានតម្លៃខុសពីសូន្យដែរ។ យើងឈានដល់ការធ្វើសេចក្តីសន្និដ្ឋានដូចច្បាប់ផារ៉ាដេដែរ ដែលដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ និងដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ ត្រូវតែកែងគ្នាទៅវិញទៅមកវាងគ្នា។

ក្នុងចន្លោះពេល dt ភ្លុចអគ្គិសនីΦ_E ដែលឆ្លងកាត់ចតុកោណកែងកើនឡើងបានតម្លៃដូចខាងក្រោម៖

$$d\Phi_E = E(ac.dt)$$

ដោយសារយើងជ្រើសរើសទិសដៅវិជ្ជមាននៃផ្ទៃ $d\vec{A}$ តាមទិសដៅ y វិជ្ជមាន នោះបំរែបំរួលភ្លុចអគ្គិសនីក៏វិជ្ជមានដែរ។

គេបានកម្រិតបំរែបំរួលភ្លុចអគ្គិសនីគឺ $d\Phi_E/dt = E(ac.)$

យើងយក $\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = Ba$ និង$d\Phi_E/dt = E(ac.)$ ជំនួសក្នុងច្បាប់អំពែ$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 \in_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$

គេបាន $Ba = \mu_0 \in_0 Eac$

ដូចនេះ $B = \mu_0 \in_0 cE$ (រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចក្នុងសុញ្ញាកាស)

ហេតុនេះរលកដែលយើងសន្មតគោរពតាមច្បាប់អំពែ លុះត្រាតែតម្លៃ B,c,E មានទំនាក់ទំនងគ្នាតាម $B = \mu_0\epsilon_0 cE$ប៉ុណ្ណោះ។

រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចរបស់យើងត្រូវតែគោរពតាមច្បាប់ទាំងពីរគឺច្បាប់ផារ៉ាដេ និងច្បាប់អំពែ។

តាមទំនាក់ទំនង $E = c.B$ និង $B = \mu_0\epsilon_0 cE$

គេបាន $\mu_0\epsilon_0 c = \frac{1}{C}$ ឬ $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0.\epsilon_0}}$ (ល្បឿននៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចក្នុងសុញ្ញាកាស)។

ដោយ $\mu_0 = 4\pi.10^7\, N/A^2$ និង $\epsilon_0 = 8.85.10^{-12}\, C^2/N.m^2$

គេបាន $c = \frac{1}{\sqrt{4\pi.10^7.8.85.10^{-12}}} = 3.10^8\, m/s$

រលកដែលយើងបានសន្មតគឺត្រូវគ្នានឹងគ្រប់ច្បាប់ទាំងអស់នៃសមីការMaxwell ដែលមុខរលកផ្លាស់ទីដោយល្បឿនដែលស្មើនឹងល្បឿនពន្លឺ។

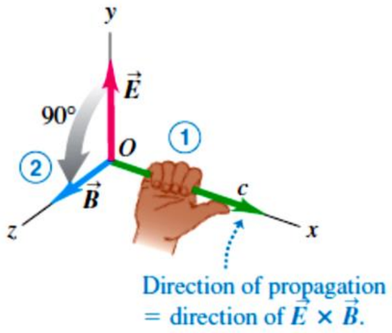
❖ លក្ខណៈគន្លឹះនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

យើងជ្រើសរើសរលកងាយមួយមកសិក្សាដើម្បីកុំអោយមានបញ្ហាពិបាកយល់ដោយសារគណិតវិទ្យា ប៉ុន្តែនេះជាករណីពិសេសដែលបង្ហាញពីលក្ខណៈសំខាន់ៗមួយចំនួននៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចៈ

រលកជាប្រភេទរលកទទឹង ហើយដែនទាំងពីរដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ និងដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ កែងទៅនឹងទិសដំណាលរលកផងដែរ។ ហើយដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ និងដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ កែងគ្នាទៅវិញទៅមក។ ទិសដំណាលនៃរលកជាទិសនៃផលគុណវ៉ិចទ័ររវាង $\vec{E}\times\vec{B}$ដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។

វិធានដៃស្តាំសម្រាប់រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចៈ

1.ដាក់មេដៃនៃដៃស្តាំរបស់យើងតាមទិសដំណាលរលក។



រូបទី៥.១២.វិធានដៃស្តាំសម្រាប់រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលបង្ហាញពីទិសដៅដែនអគ្គិសនីនិងទិសដៅដែនម៉ាញេទិចនិងទិសដៅដំណាលរបស់រលក។

2.បង្វិលវ៉ិចទ័រដែនអគ្គិសនីតាមការក្តោបម្រាមដៃ៩០ដឺក្រេ។

ផលធៀបកំណត់មួយគឺ $E = cB$

រលកផ្លាស់ទីក្នុងសុញ្ញាកាសដោយល្បឿនកំណត់មួយមិនប្រែប្រួល។ វាមិនដូចរលកមេកានិចទេ រលកមេកានិចត្រូវការមជ្ឈដ្ឋានដើម្បីបញ្ជូនរលក ប៉ុន្តែរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមិនត្រូវការមជ្ឈដ្ឋានសម្រាប់ដាលនោះទេ។

យើងអាចធ្វើអោយការពិភាក្សានេះមានភាពទូទៅនិងស្ថានភាពពិតជាក់ស្តែង។ ឧបមាថាយើងមានមុខរលកជាច្រើនដែលជាប្លង់ស្របៗគ្នាហើយកែងទៅនឹងអ័ក្ស(x) មុខរលកទាំងអស់ផ្លាស់ទីទៅស្តាំដោយដោយ c។ ឧបមាថាដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ និងដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$មិនប្រែប្រួលនៅគ្រប់ចំនុចទាំងអស់ក្នុងតំបន់តែមួយដែលស្ថិតនៅចន្លោះមុខរលកពីរ ប៉ុន្តែដែនទាំងនេះប្រែប្រួលពីតំបន់មួយទៅតំបន់មួយទៀត។ រលកទាំងអស់សុទ្ធតែរលកប្លង់ ប៉ុន្តែនៅពេលមួយដែនប្រែប្រួលជាដំណាក់កាលតាមបណ្តោយអ័ក្ស x។ រលកបែបនេះអាចត្រូវបានបង្កើតឡើងដោយការផ្តុំនៃរលកធម្មតាយ៉ាងច្រើន។ ករណីនេះអាចកើតមានឡើងដោយសារដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ និងដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ គោរពតាមគោលការណ៍តម្រួតនៃរលកដូចក្នុងករណីស្តាទិចដែរ៖ នៅពេលរលកពីរត្រួតគ្នា វ៉ិចទ័រសរុបនៃដែនអគ្គិសនីនៅគ្រប់ចំនុចនីមួយៗគឺជាផលបូកវ៉ិចទ័រដែន$\vec{E}$ នៃរលកនីមួយៗ ហើយស្រដៀងគ្នាចំពោះដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$។

យើងអាចពង្រីកស្ថានភាពខាងលើបន្តទៀតដើម្បីបង្ហាញថារលកមួយដែលមានដែនប្រែប្រួលតាមដំណាក់កាលក៏អាចផ្ទៀងផ្ទាត់ច្បាប់ផារ៉ាដេ និងច្បាប់អំពែដែលរលកទាំងអស់ផ្លាស់ទីដោយល្បឿន c ដែល$(c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0})$។ ក្នុងដែនកំណត់ដែលយើងធ្វើអោយមានដំណាក់កាលយ៉ាងតូចមែនទែន យើងនឹងមានរលកមួយដែលដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ និងដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ នៅខណៈនីមួយៗប្រែប្រួលជាបន្តបន្ទាប់តាមបណ្តោយអ័ក្ស(x)។គំរូនៃដែនទាំងមូលផ្លាស់ទីទៅស្តាំដោយល្បឿនc។ នៅចំនុចបន្ទាប់ យើងនឹងសិក្សាអំពីរលកដែលដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ និងដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ ជាអនុគមន៍ស៊ីនុយសូអ៊ីតនៃពេល

(t) និងលំហ(x)។ ដោយសារដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ និងដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$មានទំនាក់ទំនងគ្នាដោយ $E = cB$ បំរែបំរួលខួបនៃដែនទាំងពីរចំពោះរលកដែលផ្លាស់ទីតាមខួបត្រូវស្របផាសគ្នា។

រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមានលក្ខណៈប៉ូឡារីសាស្យុង(មានទិសដំណាលជាក់លាក់មួយ)។ ការពិភាក្សាខាងលើការជ្រើសរើសទិសនៃដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ គឺមិនបានត្រៀមទុកមុនទេ ដោយជ្រើសរើសយ៉ាងណាក៏បាន យើងគ្រាន់តែបញ្ជាក់ពីទិសនៃដែនអគ្គិសនីតាមអ័ក្ស(z) ហើយចំណែកដែនម៉ាញេទិចគួរតែតាមទិសនៃអ័ក្ស(y)។ រលកមួយដែលមានដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$តែងតែស្របទៅនឹងអ័ក្សណាមួយច្បាស់លាស់ត្រូវបានគេហៅថា**ប៉ូឡារីសាស្យុងលីនេអ៊ែរ** តាមបណ្ដោយអ័ក្សនោះ។ ជាទូទៅ បើរលកណាមួយផ្លាស់ទីតាមបណ្ដោយអ័ក្ស (x) អាចតាងដោយតម្រួតនៃរលកជាច្រើនដែលមានប៉ូឡារីសាស្យុងលីនេអ៊ែរតាមអ័ក្ស(y) និង(z)។

មេរៀនទី៥៖ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច(ត)

ដេរីវេនៃសមីការរលក

នេះគឺជាដេរីវេមួយផ្សេងទៀតនៃទំនាក់ទំនង$c=\frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$ចំពោះល្បឿននៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។ វាមានលក្ខណៈគណិតវិទ្យាច្រើនជាងអ្វីដែលយើងបានរៀនកន្លងមក ប៉ុន្តែវាបានបញ្ចូលដេរីវេនៃសមីការរលកសម្រាប់រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។

ក្នុងពេលពិភាក្សាអំពីរលកមេកានិច យើងបានបង្ហាញថាអនុវត្តមន៍$f(x,t)$ ដែលតាងអោយបម្លាស់ទីនៃចំនុចណាមួយនៃរលកមេកានិចដែលផ្លាស់ទីតាមបណ្តោយអ័ក្ស(x)ត្រូវតែផ្ទៀងផ្ទាត់សមីការ $\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2}=\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$ សមីការនេះត្រូវបានគេហៅថា**សមីការរលក** ដែល v ជាល្បឿនដំណាលរបស់រលក។

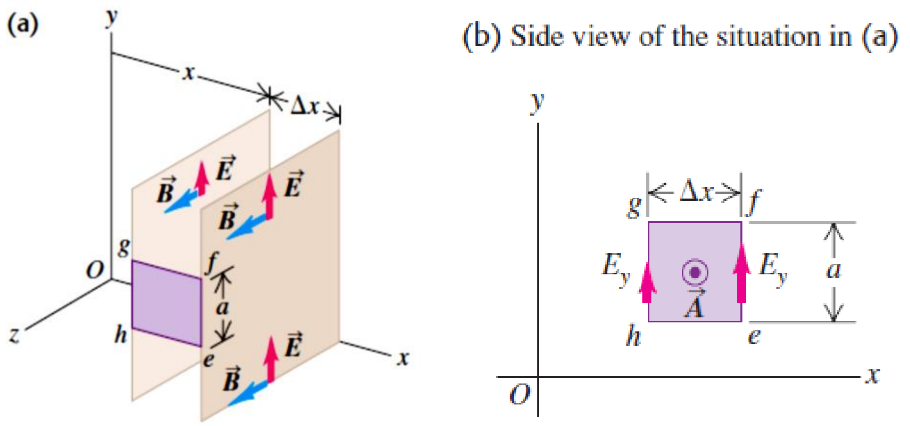
ដើម្បីទាញរកសមីការត្រូវគ្នានៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច យើងត្រូវពិចារណាលើរលកប្លង់សារជាថ្មីម្តងទៀត។ យើងសន្មតថានៅខណៈពេលនីមួយៗE_y និងB_z ជាដែនឯកសណ្ឋាននៅលើប្លង់ណាមួយដែលកែងទៅនឹងអ័ក្ស x ដែលជាទិសនៃដំណាលរលក។ ប៉ុន្តែយើងអោយដែនE_y និងB_z ប្រែប្រួលបន្តបន្ទាប់គ្នានៅពេលយើងទៅតាមបណ្តោយអ័ក្សx ហើយដែននីមួយៗជាអនុគមន៍នៃx និងt។ យើងពិចារណាលើតម្លៃនៃដែនE_y និងB_z ដែលនៅលើប្លង់ពីរកែងទៅនឹងអ័ក្ស x ដែលប្លង់មួយស្ថិតនៅត្រង់x ហើយប្លង់មួយទៀតនៅត្រង់$x+\Delta x$ ។

យើងធ្វើដូចមុនដែរ ដោយអនុវត្តលើច្បាប់ផារ៉ាដេលើចតុកោណកែងដែលដាក់អោយស្របនឹងប្លង់xy ដូចបង្ហាញក្នុងរូប(a)ខាងក្រោម។ តាមរូបជ្រុងខាងឆ្វេងgh នៃចតុកោណកែងស្ថិតនៅត្រង់x ហើយជ្រុងខាងស្តាំ ef នៃចតុកោណកែងស្ថិតនៅត្រង់$x+\Delta x$ ។ នៅខណៈពេល t តម្លៃនៃដែនអគ្គិសនី E_y នៅលើជ្រុងទាំងពីរនេះគឺ $E_y(x,t)$ និង$E_y(x+\Delta x,t)$រៀងគ្នា។ នៅពេលយើងអនុវត្តច្បាប់ផារ៉ាដេ លើចតុកោណកែងនេះគេបានសមីការដូចខាងក្រោម៖

គេបាន $\oint \vec{E}\cdot d\vec{l}=-E_y(x,t)a+E_y(x+\Delta x,t)a=a\left[E_y(x+\Delta x.t)-E_y(x,t)\right]$

ដើម្បីរកភ្លុចម៉ាញេទិចដែលឆ្លងកាត់ចតុកោណកែងនេះ យើងត្រូវសន្មតថាប្រវែងΔx តូចល្មម ដែលដែនម៉ាញេទិចB_z ស្ទើរតែឯកសណ្ឋាននៅលើចតុកោណកែងនេះ។

គេបានក្នុងករណីនេះ $\Phi_B=B_z(x,t)A=B_z(x,t)a\Delta x$ ហើយ$\frac{d\Phi_B}{dt}=\frac{\partial B_z(x,t)}{\partial t}a\Delta x$



រូបទី៥.១៣.ច្បាប់ផារ៉ាដេដែលអនុវត្តលើចតុកោណដែលមាន
កម្ពស់a ទទឹងΔx ហើយវាស្របនឹងប្លង់(xy)។

យើងប្រើ$\frac{d\Phi_B}{dt} = \frac{\partial B_z(x,t)}{\partial t} a\Delta x$ ជាទម្រង់ដេរីវេដោយផ្នែកពីព្រោះដែនម៉ាញេទិចជាអនុគមន៍នៃ x ផងនិង tផង។ ពេលយើងយក$\frac{d\Phi_B}{dt} = \frac{\partial B_z(x,t)}{\partial t} a\Delta x$ និង$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = a[E_y(x+\Delta x,t) - E_y(x,t)]$ ជំនួសចូលក្នុងច្បាប់ផារ៉ាដេ។

គេបាន $a[E_y(x+\Delta x,t) - E_y(x,t)] = -\frac{\partial B_z(x,t)}{\partial t} a\Delta x$

គេអាចសរសេរ $\frac{E_y(x+\Delta x,t) - E_y(x,t)}{\Delta x} = -\frac{\partial B_z(x,t)}{\partial t}$

ក្រោយមក បើសិនជាយើងធ្វើអោយចតុកោណកែងកាន់តែស្តើង គេបាន $\Delta x \to 0$។

យើងធ្វើលីមីតនៃសមីការនេះនៅពេល$\Delta x \to 0$ គេបាន$\frac{\partial E_y(x,t)}{\partial x} = -\frac{\partial B_z(x,t)}{\partial t}$

សមីការនេះបង្ហាញថា បើសិនជាមានជាតុនៃដែនម៉ាញេទិចB_zប្រែប្រួលតាមពេលt ត្រូវតែកើតមានជាតុនៃដែនអគ្គិសនី E_yដែលប្រែប្រួលតាម x និងប្រាសមកវិញ។

បន្ទាប់មកយើងប្រើច្បាប់អំពែម្តង លើចតុកោណកែងដូចក្នុងរូបខាងក្រោម។

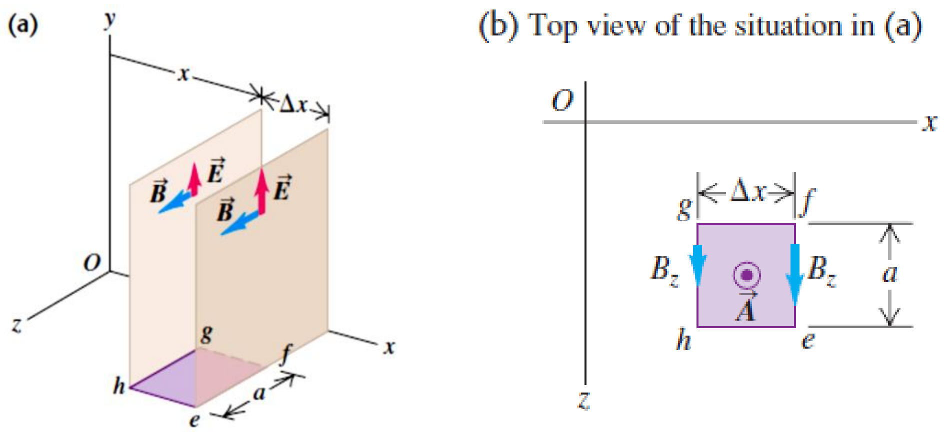
គេបាន $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = -B_z(x+\Delta x,t)a + B_z(x,t)a$

យើងងសន្មតថា ចតុកោណកែងស្តើង យើងបានភ្លុចអគ្គិសនីΦ_E

គេបាន $\Phi_B = E_y(x,t)A = E_y(x,t)a\Delta x$

គេបានកម្រិតនៃបំរែបំរួលភ្លុចអគ្គិសនី $\frac{d\Phi_B}{dt} = \frac{\partial E_y(x,t)}{\partial t} a\Delta x$

យើងយក$\frac{d\Phi_B}{dt} = \frac{\partial E_y(x,t)}{\partial t} a\Delta x$ និង$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = -B_z(x+\Delta x,t)a + B_z(x,t)a$ ជំនួសចូលក្នុងច្បាប់អំពែ។



រូបទី៥.១៤.ការអនុវត្តច្បាប់អំពែរលើចតុកោណដែលមាន
កម្ពស់a ទទឹងΔx ហើយវាស្របនឹងប្លង់(xz)។

គេបាន $-B_z(x+\Delta x,t)a+B_z(x,t)a=\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial E_y(x,t)}{\partial t}a\Delta x$

ដូចខាងលើដែរ យើងចែកអង្គទាំងពីរនិង $a.\Delta x$បន្ទាប់មកធ្វើលីមីត $\Delta x\to 0$

យើងបាន $-\frac{\partial B_z(x,t)}{\partial x}=\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial E_y(x,t)}{\partial t}$

ឥលូវយើងខិតមកដល់ជំហានចុងក្រោយ យើងធ្វើដេរីវេដោយផ្នែកធៀបទៅនឹង x លើអង្គទាំងពីរនៃ $\frac{\partial E_y(x,t)}{\partial x}=-\frac{\partial B_z(x,t)}{\partial t}$និងធ្វើដេរីវេដោយផ្នែកធៀបទៅនឹង t លើអង្គទាំងពីរ

នៃសមីការ $-\frac{\partial B_z(x,t)}{\partial x}=\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial E_y(x,t)}{\partial t}$

គេបាន $\frac{\partial^2 E_y(x,t)}{\partial^2 x}=-\frac{\partial^2 B_z(x,t)}{\partial x\partial t}$ និង$-\frac{\partial^2 B_z(x,t)}{\partial x\partial t}=\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial^2 E_y(x,t)}{\partial t^2}$

យើងផ្គុំសមីការទាំងពីរខាងលើ ហើយយើងបំបាត់B_z គេបាន $\frac{\partial^2 E_y(x,t)}{\partial^2 x}=\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial^2 E_y(x,t)}{\partial^2 t}$

(នេះជាសមីការរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចក្នុងសុញ្ញាកាស) ទំនាក់ទំនងនេះមានទម្រង់ដូចគ្នាទៅនឹងសមីការរលកទូទៅ$\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2}=\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$ ។ ដោយសារដែនអគ្គិសនីE_yត្រូវតែផ្ទៀងផ្ទាត់នឹងសមីការទូទៅនេះ ហេតុនេះដែនអគ្គិសនីE_yត្រូវតែមានលក្ខណៈជារលកដែលមានសណ្ឋានដែលជាលឆ្លងកាត់លំហដោយមានល្បឿនកំណត់មួយ។ ដោយផ្ទឹមសមីការ $\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2}=\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$ និង

សមីការ$\frac{\partial^2 E_y(x,t)}{\partial^2 x}=\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial^2 E_y(x,t)}{\partial^2 t}$

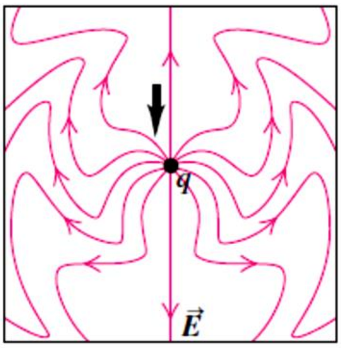
គេបាន$\frac{1}{v^2}=\mu_0\varepsilon_0$ ឬ$v=\frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$ ទំនាក់ទំនងនេះស្របគ្នានឹងល្បឿននៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលយើងបានសិក្សាកន្លងមក $c=\frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$ ។

យើងក៏អាចបង្ហាញថាដែនម៉ាញេទិចB_zជាដែនដែលមានលក្ខណៈរលកបានដែរដោយគ្រាន់តែធ្វើដេរីវេដោយផ្នែកធៀបនឹងt នៃសមីការ$\frac{\partial E_y(x,t)}{\partial x} = -\frac{\partial B_z(x,t)}{\partial t}$និងធ្វើដេរីវេដោយផ្នែកធៀបនឹងx នៃសមីការ $-\frac{\partial B_z(x,t)}{\partial x} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial E_y(x,t)}{\partial t}$ បន្ទាប់មកបូកបញ្ចូលគ្នាហើយបំបាត់E_y ។

៥.៥.រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីត

រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីតគឺជារលកស្រដៀងគ្នានឹងរលកមេកានិចទទឹងស៊ីនុយសូអ៊ីតដែលកើតមាននៅលើខ្សែយឺតដែរ។ ក្នុងរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីត ដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$និងដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$នៅត្រង់ចំនុចណាមួយក្នុងលំហជាអនុគមន៍ស៊ីនុយសូអ៊ីតនៃពេល(t) ហើយនៅខណៈពេលណាមួយ បម្លាស់ទីក្នុងលំហប្រែប្រួលនៃដែនទាំងពីរនោះក៏ជាអនុគមន៍ស៊ីនុសូអ៊ីតដែរ។

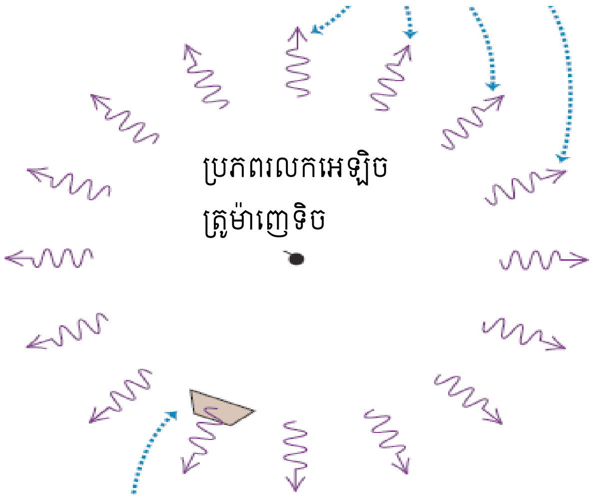
រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមួយចំនួនគឺជារលកប្លង់ដែលមានលក្ខណៈប្រហាក់ប្រហែលគ្នានឹងរលកដែលយើងបានសិក្សាខាងលើដែរ។ លក្ខណៈរបស់វានៅខណៈពេលណាមួយដែនទាំងអស់ជាដែនឯកសណ្ឋានស្ថិតនៅលើប្លង់ណាមួយដែលកែងទៅនឹងទិសដំណាលរបស់រលក។ សណ្ឋានទាំងមូលនៃរលកផ្លាស់ទីតាមទិសដំណាលដោយល្បឿនកំណត់មួយគឺ(c)។ ទិសដៅនៃដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$និងដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$កែងគ្នាហើយកែងទៅនឹងទិសដំណាលរបស់វា។ ដូចនេះរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីតជារលកទទឹងដែរ។ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលកើតពីលំយោលនៃចំនុចបន្ទុកអគ្គិសនីដែលបានបង្ហាញនៅផ្នែកមុនដូចក្នុងរូបខាងក្រោមគឺជាឧទាហរណ៍នៃរលកស៊ីនុយសូអ៊ីតដែលមិនមែនជារលកប្លង់។ ប៉ុន្តែបើសិនជាយើងកំណត់ការសង្កេតរបស់យើងអោយលម្អិតក្នុងតំបន់យ៉ាងតូចមួយនៃលំហក្នុងចម្ងាយយ៉ាងធំសមល្មមមួយពីប្រភពរលកដែលយើងអាចកំណត់ថារលកទាំងនេះគឺជារលកប្លង់។



រូបទី៥.១៥.ខ្សែដែនអគ្គិសនីនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។ ហើយដែនម៉ាញេទិចមិនត្រូវបានបង្ហាញនោះទេ។

រូបខាងក្រោមបង្ហាញពីរលកដែលឆ្លងកាត់ផ្ទៃតូចមួយនៅចម្ងាយឆ្ងាយគ្រប់គ្រាន់ពីប្រភពរលក ហើយគេចាត់ទុកថារលកទាំងនោះជារលកប្លង់។

រលកជាលឆ្លងកាត់ផ្ទៃធំមួយតាមទិសដៅផ្សេងៗគ្នា។



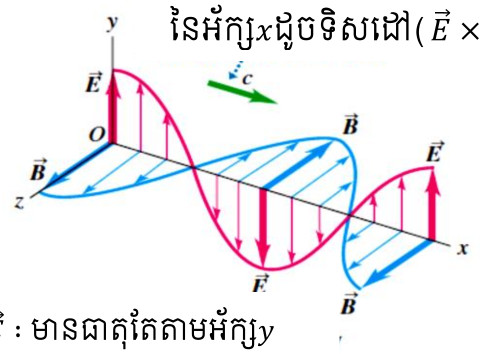
រូបទី៥.១៦.រលកជាលឆ្លងកាត់ផ្ទៃតូចមួយនៅចម្ងាយសមល្មមពីប្រភពហើយត្រូវបានគេសន្មតថាជារលកប្លង់។

ប៉ុន្តែរលកជាលឆ្លងកាត់ផ្ទៃតូចមួយហើយរលកទាំងអស់មានទិសនិងទិសដៅស្ទើរតែដូចគ្នា ការស ហេតុនេះយើងអាចសន្មតថាវាជារលកប្លង់។ វធៀបទៅនឹងផ្ទៃកោងនៃសំបកផែនដី ប៉ុន្តែមនុស្សដែលរស់នៅលើស័បកផែនដីមើលទៅហាក់ដូចជារាបស្មើ ដោយសារមនុស្សមានទំហំតូចណាស់ធៀបទៅនឹងកាំផែនដី។ ក្នុងផ្នែកនេះយើងកំណត់ការសង្កេតរបស់យើងទៅលើរលកប្លង់តែប៉ុណ្ណោះ។ ប្រេកង់ f ជំហានរលក λ និងល្បឿនដំណាលរលកគឺ c នៃរលកខួបមួយមានទំនាក់ទំនងគ្នាតាមរូបមន្ត $c = \lambda f$។ បើប្រេកង់ 100MHzជាប្រេកង់ការផ្សាយរបស់វិទ្យុដែលគេច្រើនប្រើក្នុងអាជីវកម្ម គេបានជំហានរលកគឺ $\lambda = \frac{3.10^8 m/s}{10^8 Hz} = 3\ m$

ដែននៃរលកស៊ីនុយសូអ៊ីត

រូបខាងក្រោមបង្ហាញពីដំណាលត្រង់តាមឯកទិស(linearly polarized)នៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីតដែលផ្លាស់ទីតាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្សx។

រលកជាលតាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្សxដូចទិសដៅ($\vec{E} \times \vec{B}$)



$\vec{E}$: មានជាតុតែតាមអ័ក្សy

$\vec{B}$: មានជាតុតែតាមអ័ក្សz

រូបទី៥.១៧.ការតាងដែនអគ្គិសនីនិងដែនម៉ាញេទិចជាអនុគមន៍ទៅនឹងxសម្រាប់រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចប្លង់ស៊ីនុយសូអ៊ីតដែលរងប៉ូលកម្មតាមអ័ក្ស(x)។

វ៉ិចទ័រដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$និងដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ត្រូវបានដាក់បង្ហាញតែពីរឬបីចំនុចដែលស្ថិតនៅលើ អ័ក្សx តាមទិសដៅវិជ្ជមាន។ ត្រូវកត់ចំណាំថាដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$និងដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$មានចលនា លំយោលស្របផាសគ្នា៖ បានន័យថា វ៉ិចទ័រដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ មានតម្លៃអតិបរមា នោះវ៉ិចទ័រដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$មានតម្លៃអតិបរមាដែរ ហើយវ៉ិចទ័រដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ មានតម្លៃសូន្យ នោះវ៉ិចទ័រដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$មានតម្លៃសូន្យដែរ។ យើងចំណាំផងដែរ វ៉ិចទ័រដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$មានទិសដៅតាមទិសដៅវិជ្ជមានអ័ក្សy ចំណែកឯវ៉ិចទ័រដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$មានទិសដៅតាមទិសដៅវិជ្ជមានអ័ក្ស z ។ ហើយនៅពេលវ៉ិចទ័រដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ មានទិសដៅតាមទិសដៅអវិជ្ជមានអ័ក្ស y នោះដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$មានទិសដៅតាមទិសដៅអវិជ្ជមានអ័ក្សzដែរ។ នៅគ្រប់ចំនុចទាំងអស់ ផលគុណនៃវ៉ិចទ័រ $\vec{E} \times \vec{B}$ចង្អុលតាមទិសដៅដំណាលនៃរលក (ទិសដៅវិជ្ជមានរបស់អ័ក្សx)។ ហើយរូបខាងលើបង្ហាញពីដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចជាអនុគមន៍នៃx ចំពោះរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចប្លង់ស៊ីនុយសូអ៊ីតដែលដាលត្រង់តាមឯកទិស(linearly polarized)។ រូបនេះបង្ហាញមួយជំហានរលកនៃរលកនៅខណៈ$t = 0$។ រូបនេះក៏បានបង្ហាញដែនដែលចំនុចរបស់វាស្ថិតតែនៅលើអ័ក្សx ប៉ុណ្ណោះ។

ចំណាំ៖ linearly polarized នៃរលកគឺជាការបង្ហាញដំណាលរលកហើយជាតុនៃដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$តែងតែស្របទៅនឹងអ័ក្សណាមួយនៅគ្រប់ខណៈទាំងអស់។ ឧទាហរណ៍ក្នុងរូបខាងលើ ជាតុនៃដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ត្រូវបានបង្ហាញថាស្របទៅនឹងអ័ក្សyជានិច្ច។

ការប្រុងប្រយ័ត្ន៖ ក្នុងរលកប្លង់ ដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចនៅគ្រប់ទីកន្លែងទាំងអស់។

រូបខាងលើបង្ហាញតែចំនុចនៃដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចខ្លះៗដែលកើតមាននៅលើអ័ក្ស x តាមពិតវាបានបង្ហាញរូបខ្វះចន្លោះមិនទាន់គ្រប់ជ្រុងជ្រោយទេ។ ម្យ៉ាងទៀតក្នុងរលកប្លង់ស៊ីនុយសូអ៊ីតមានដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចនៅគ្រប់ចំនុចទាំងអស់នៃលំហ។ យើងស្រមៃមើលថាប្លង់មួយដែលកែងទៅនឹងអ័ក្សx (ស្របទៅនឹងប្លង់ yz)នៅត្រង់ចំនុចពិសេសមួយ នៅខណៈពេលពិសេសមួយដែនទាំងនោះមានតម្លៃដូចគ្នានៅគ្រប់ចំនុចទាំងអស់ក្នុងប្លង់នោះ។ ហើយតម្លៃខុសៗគ្នាបើសិនស្ថិតនៅលើប្លង់ខុសគ្នា។

យើងអាចពិពណ៌នាអំពីរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចតាមរយៈ**អនុគមន៍រលក**ដូចដែលយើងបានសិក្សាក្នុងករណីរលកខ្សែ។ ទម្រង់មួយនៃអនុគមន៍រលកចំពោះរលកទទឹងមួយដែលផ្លាស់ទីតាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្សx តាមបណ្តោយខ្សែយឺតគឺមានរាង៖ $y\left(x,t\right)=A\cos\left(kx-\omega t\right)$

ដែល $y(x,t)$ជាបម្លាស់ទីទទឹងដែលចេញពីទីតាំងលំនឹងរបស់វានៅខណៈពេល t នៃចំនុចមួយដែលមានកូអរដោនេx ស្ថិតនៅលើខ្សែ។ ទំហំAជាបម្លាស់ទីអតិបរមាឬហៅថាអំព្លីទុតនៃរលក ហើយωជាប្រេកង់មុំ(ពុលសាស្យុង)ដែល$\omega = 2\pi f$ និង $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ហៅថាចំនួនរលក ដែល λជាជំហានរលក។

យើងតាង$E_y(x,t)$និង$B_z(x,t)$ជាតម្លៃខណៈនៃជាតុដែនអគ្គិសនីតាមអ័ក្សy និងដែនម៉ាញេទិចតាមអ័ក្សz រៀងគ្នា។ ហើយតាងE_{max}និងB_{max}ជាអំព្លីទុតនៃដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចរៀងគ្នា។

គេបានអនុគមន៍រលកសម្រាប់ដែននីមួយៗគឺ

$E_y\left(x,t\right) = E_{\max}\cos\left(kx-\omega t\right)$ ហើយ $B_z\left(x,t\right) = B_{\max}\cos\left(kx-\omega t\right)$

(រលកប្លង់អេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីតដាលតាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្សx)

យើងអាចសរសេរអនុគមន៍រលកក្រោមទម្រង់ជាវ៉ិចទ័រ៖

គេបាន$\vec{E}\left(x,t\right)=\vec{j}\,\mathrm{E}_{\max}\cos\left(kx-\omega t\right)$ និង $\vec{B}\left(x,t\right)=\vec{k}B_{\max}\cos\left(kx-\omega t\right)$

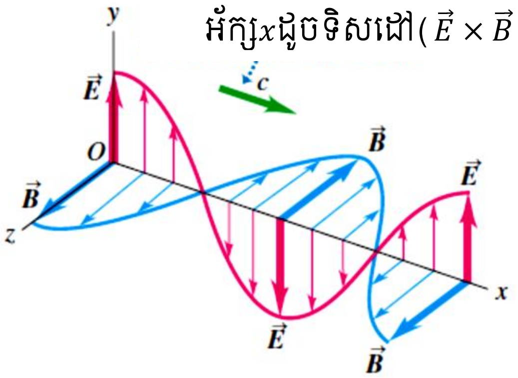
ការប្រុងប្រយ័ត្ន៖ $k=\frac{2\pi}{\lambda}$ ហៅថាចំនួនរលក ហើយ$\hat{k}$ជាវ៉ិចទ័រឯកតា។

រូបខាងក្រោមបង្ហាញពីតម្លៃខណៈនៃដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចជាអនុគមន៍នៃxនៅខណៈពេល $t=0$ ដែលយើងអាចសរសេរ $E_y(x,t=0)$និង$B_z(x,t=0)$

ពេលវេលាចេះតែដើរទៅមុខហើយ នោះរលកដាលទៅខាងស្តាំដោយមានល្បឿនc។ តាមរយៈសមីការ $E_y(x,t)=E_{max}\,cos(kx-\omega t)$ និង $B_z(x,t)=B_{max}\,cos(kx-\omega t)$

ហើយ $\vec{E}(x,t)=\hat{j}E_{max}\,cos(kx-\omega t)$និង$\vec{B}(x,t)=\hat{k}B_{max}\,cos(kx-\omega t)$

រលកដាលតាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃ
អ័ក្សxដូចទិសដៅ($\vec{E}\times\vec{B}$)



រូបទី៥.១៨.ដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចកែងគ្នាជានិច្ច។

បានបង្ហាញថា នៅត្រង់ចំនុចណាមួយ លំយោលស៊ីនុយសូអ៊ីតនៃដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចមានលំយោលស្របផាសគ្នា។

នៅផ្នែកមុន យើងមានទំនាក់ទំនង $E=cB$

ហេតុនេះយើងបាន អំព្លីទុតមានទំនាក់ទំនង $E_{max}=cB_{max}$(រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចក្នុងសុញ្ញាកាស)។ ទំនាក់ទំនងអំព្លីទុត និងផាស ទាំងនេះគឺតម្រូវអោយសមីការ

$E_y(x,t) = E_{max}\, cos(kx - \omega t)$និង $B_z(x,t) = B_{max}\, cos(kx - \omega t)$ ផ្ទៀងផ្ទាត់ក្នុងសមីការ

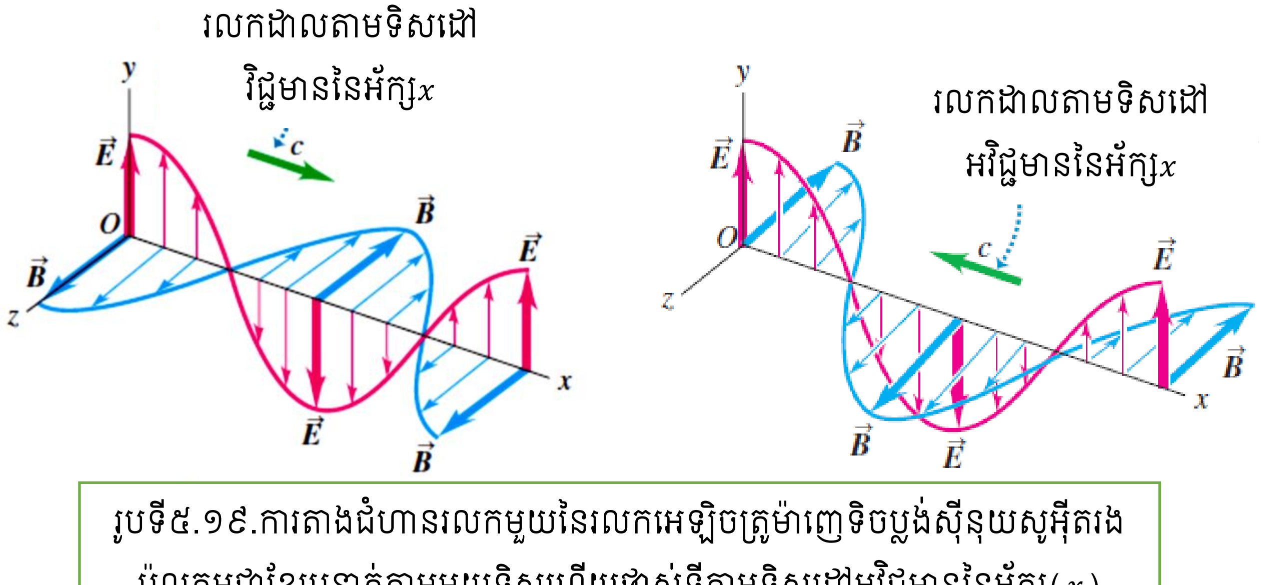
ទាំងនេះ $\frac{\partial E_y(x,t)}{\partial x} = -\frac{\partial B_z(x,t)}{\partial t}$ និង $-\frac{\partial B_z(x,t)}{\partial x} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E_y(x,t)}{\partial t}$ ដែលបានមកពីច្បាប់ផារ៉ាដេ និងច្បាប់អំពែ។ ចូរប្រើទំនាក់ទំនងទាំងនេះដើម្បីបង្ហាញថា $E_{max} = cB_{max}$

រូបខាងក្រោមបង្ហាញដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចនៃរលកមួយដែលដាលតាមទិសដៅអវិជ្ជមាននៃអ័ក្សx។ នៅត្រង់ចំនុចមួយដែលដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$មានទិសដៅតាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្សyនោះដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ត្រូវតែមានទិសដៅតាមទិសដៅអវិជ្ជមាននៃអ័ក្សz។ ហើយបើដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$មានទិសដៅតាមទិសដៅអវិជ្ជមាននៃអ័ក្សyនោះដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ត្រូវតែមានទិសដៅតាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្សz។ យើងបានអនុគមន៍រលកសម្រាប់រលកនេះគឺអាចសរសេរ $E_y(x,t) = E_{max}\, cos(kx + \omega t)$និង $B_z(x,t) = B_{max}\, cos(kx + \omega t)$

(រលកប្លង់អេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីតដែលដាលតាមទិសដៅអវិជ្ជមាននៃអ័ក្សx)

បើសិនរលកដាលតាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្សx នៅត្រង់ចំនុចណាមួយលំយោលស៊ីនុយសូអ៊ីតនៃដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$និងដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$មានលំយោលស្របផាស ហើយផលគុណវ៉ិចទ័រ $\vec{E} \times \vec{B}$ចង្អុលតាមទិសដៅដំណាលរបស់រលក។

រូបទាំងពីរខាងក្រោមនេះបង្ហាញពីរលកស៊ីនុយសូអ៊ីតដែលមានប៉ូឡារ៉ាយលីនេអ៊ែរតាមទិសyដូចគ្នាដោយដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ តែងតែស្របទៅនឹងអ័ក្សyជានិច្ច។



រូបទី៥.១៩.ការតាងជំហានរលកមួយនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចប្លង់ស៊ីនុយសូអ៊ីតរងប៉ូលកម្មជាខ្សែបន្ទាត់តាមមួយទិសហើយផ្លាស់ទីតាមទិសដៅអវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស(x)

នៅខណៈ$t = 0$។ ដែនទាំងពីរត្រូវបានបង្ហាញតែនៅត្រង់ចំនុចដែលនៅលើអ័ក្ស(x)។

វិធីសាស្ត្រដោះស្រាយលំហាត់

រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

- ការកំណត់បញ្ញត្តិដែលទាក់ទងៈ ក្នុងរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមានបញ្ញត្តិជាច្រើនដែលយកមកពីរលកមេកានិចមកអនុវត្ត។ ភាពខុសគ្នាមួយចំពោះរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចនោះគឺវាត្រូវបានពិពណ៌នាដោយទំហំពីរ(ក្នុងករណីនេះ ជាដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ និងដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$) តែមិនមែនជាទំហំមួយដូចក្នុងបម្លាស់នៃខ្សែ ។

- ការរៀបចំ លំហាត់ដោយប្រើប្រាស់ជំហានខាងក្រោម

    - គូសដ្យាក្រាមបង្ហាញពីទិសដៅដំណាលនៃរលកនិងទិសដៅនៃ $\vec{E}$និង $\vec{B}$
    - កំណត់អថេរដែលត្រូវគណនា។

- ការគណនា ចម្លើយនៃលំហាត់ៈ

មេរៀនទី៥៖ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិច(ត)

រលកអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិចក្នុងមជ្ឈដ្ឋានមួយ

ហេតុមកដល់ពេលនេះយើងបានកំណត់ការពិភាក្សារបស់យើងលើរលកដែលផ្លាស់ទីក្នុង**សុញ្ញាកាស**។ ប៉ុន្តែរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចក៏អាចដាលឆ្លងកាត់មជ្ឈដ្ឋានបានដែរ ដោយគិតថាពន្លឺអាចដាលឆ្លងកាត់ទឹក ខ្យល់ និងកែវបានដែរ។ ក្នុងផ្នែកនេះយើងនឹងពង្រីកការវិភាគរបស់យើងលើរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចក្នុងអង្គធាតុមិនចម្លងដូចជា**ឌីអេឡិចទ្រិច**។

ក្នុងឌីអេឡិចទ្រិចល្បឿននៃរលកមិនដូចក្នុងសុញ្ញាកាសនោះទេ ហើយល្បឿនតាងដោយអក្សរ vជំនួសដោយល្បឿនc។ ច្បាប់ផារ៉ាដេមិនប្រែប្រួលទេ ប៉ុន្តែក្នុងសមីការ $E = cB$ ដែលទាញចេញពីច្បាប់ផារ៉ាដេ ល្បឿនcត្រូវបានជំនួសដោយv។ ក្នុងច្បាប់អំពែ ចរន្តបម្លាស់ទី មិនមានទម្រង់ដូចមុនទេដោយ $\epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$ ត្រូវបានជំនួសដោយ $\in \frac{d□_E}{dt} = k \in_0 \frac{d□_E}{dt}$

ដែល K ជាថេរឌីឡិចទ្រិច ហើយ ϵ ជាពែរមីទីវីតេនៃឌីអេឡិចទ្រិច។ ចំណែកμ_0ក្នុងច្បាប់អំពែ ត្រូវតែជំនួសដោយ$\mu = K_m \mu_0$ ដែលK_mជាពែរមេអាប៊ីលីតេធៀបនៃឌីអេឡិចទ្រិច ហើយμជាពែរមេអាប៊ីលីតេនៃឌីអេឡិចទ្រិច។ ហេតុនេះយើងអាចជំនួស $E = cB$ និង $B = \mu_0 \epsilon_0 c E$ ត្រូវជំនួសដោយ $E = vB$ និង $B = \mu \epsilon v E$

ដោយយើងធ្វើតាមដំណើរការដូចក្នុងសុញ្ញាកាសដែរ យើងរកឃើញថាល្បឿនរលកគឺ

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu \in}} = \frac{1}{\sqrt{KK_m}} \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \in_0}} = \frac{c}{\sqrt{KK_m}}$$

(ល្បឿនរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចក្នុងឌីអេឡិចទ្រិច)

សម្រាប់ឌីអេឡិចទ្រិចភាគច្រើន ពែរមេអាប៊ីលីតេធៀបស្ទើរតែស្មើនឹង១(លើកលែងតែមជ្ឈដ្ឋានហ្វែរ៉ូម៉ាញេទិចអ៊ីសូឡង់)។ នៅពេល $K_m \cong 1$

គេបាន $v = \frac{1}{\sqrt{K}} \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = \frac{c}{\sqrt{K}}$ ដោយសារ Kជាថេរឌីឡិចទ្រិចហើយតម្លៃតែងតែធំជាង១ ហេតុនេះហើយបានជាល្បឿនរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចក្នុងមជ្ឈដ្ឋានឌីអេឡិចទ្រិចតែងតែតូចជាងល្បឿនរបស់វាក្នុងសុញ្ញាកាស(c)ដោយមានកត្តា$\frac{1}{\sqrt{K}}$ ។ ហើយផលធៀបរវាង c និង v ត្រូវបានគេស្គាល់ក្នុងអុបទិចថាជាសន្ទស្សន៍ចំណាំងបែរ(n)នៃមជ្ឈដ្ឋាន។ នៅពេល $K_m \cong 1$

គេបាន $\frac{c}{v} = n = \sqrt{KK_m} \cong \sqrt{K}$

តាមធម្មតា យើងមិនអាចប្រើតម្លៃ K ក្នុងតារាងបានទេ ដោយសារក្នុងសមីការនេះតម្លៃត្រូវបានវាស់ដោយដែនអគ្គិសនីថេរ។ នៅពេលដែនលំយោលដោយល្បឿនលឿនខ្លាំង វាមិនមានពេលគ្រប់គ្រាន់

ដើម្បីតម្រង់ទិសដៅនៃឌីប៉ូលអគ្គិសនីដែលកើតឡើងដោយដែនថេរនោះទេ។ តម្លៃនៃ Kនៅពេលដែនមានលំយោលយ៉ាងលឿនមានតម្លៃតូចជាងខ្លាំងបើធៀបតម្លៃក្នុងតារាង។ ឧទាហរណ៍តម្លៃ$K = 80.4$ សម្រាប់ដែនថេរ ប៉ុន្តែវាមានតម្លៃ$K = 1.8$ ចំពោះរលកដែលមានប្រេកង់កម្រិតពន្លឺមើលឃើញ។ ហេតុនេះតម្លៃKជាអនុគមន៍ទៅនឹងប្រេកង់(អនុគមន៍ឌីអេឡិចទ្រិច)។

រូបទី៥.២០.ថេរឌីអេឡិចទ្រិចKរបស់ទឹកប្រហែល1.8សម្រាប់ពន្លឺមើលឃើញ ហេតុនេះល្បឿនពន្លឺមើលឃើញក្នុងទឹកថយចុះជាងក្នុងសុញ្ញាកាសដោយកត្តា$\frac{1}{\sqrt{K}} = \frac{1}{\sqrt{1.8}} = 0.75$។

ថេរឌីអេឡិចទ្រិចK នៃទឹកប្រហែល 1.8 សម្រាប់ពន្លឺមើលឃើញហេតុនេះ ល្បឿននៃពន្លឺ(មើលឃើញ) នៅក្នុងទឹកទាបជាងសុញ្ញាកាសដោយកត្តា $\frac{1}{\sqrt{K}} = \frac{1}{\sqrt{1.8}} = 0.75$។

ឧទាហរណ៍ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចក្នុងរូបធាតុផ្សេងៗ

១. នៅល្ងាចមួយ អ្នកបានដើរទៅកាន់ហាងលក់គ្រឿងអលង្ការរួចក៏កាន់ដុំពេជ្រមួយដុំដាក់ក្រោមពន្លឺនៃចង្កៀងចំហាយសូដ្យូមនៅតាមផ្លូវ។ កម្តៅនៃចំហាយសូដ្យូមបានបន្សាយពន្លឺពណ៌លឿងដែលមានប្រេកង់ $5.09 \times 10^{14} Hz$ ។ កំណត់ជំហានរលកក្នុងសុញ្ញាកាសនិងល្បឿនរលកនៅក្នុងដុំពេជ្រសម្រាប់ $K = 5.84$និង $K_m = 1.00$ សម្រាប់ប្រេកង់នេះ។

២. រលកវិទ្យុ $90.0 MHz$ (នៅក្នុងបង់វិទ្យុ FM) ឆ្លងកាត់សុញ្ញាកាសទៅកាន់ ferrite អ៊ីសូឡង់ (ជាប្រភេទរូបធាតុ ferromagnetic) ។ កំណត់ជំហានរលកនៅក្នុងសុញ្ញាកាសនិងល្បឿនរលកព្រមទាំងជំហានរលកនៅក្នុង ferrite សម្រាប់ $K = 10.0$ $K_m = 1000$ សម្រាប់ប្រេកង់នេះ។

មេរៀនទី៥៖ រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច(ត)

៥.៦.ថាមពល និងបរិមាណចលនាក្នុងរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

វាជារឿងធម្មតាទេដែលថាមពលមានទំនាក់ទំនងទៅនឹងរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច ត្រូវគិតពីថាមពលដែលពន្លឺព្រះអាទិត្យបញ្ចេញមកផែនដីយើង។ ម៉ាស៊ីនកម្តៅម្ហូបអាហារ (Microwave) ឧបករណ៍បន្សាយវិទ្យុ និងពន្លឺឡាស៊ែរសម្រាប់វះកាត់ជំងឺភ្នែក ទាំងអស់នេះសុទ្ធតែប្រើថាមពលដែលរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមាន។ ដើម្បីយល់ពីរបៀបប្រើប្រាស់ថាមពលនេះ យើងត្រូវទាញរកទំនាក់ទំនងយ៉ាងលម្អិតក្នុងរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។

យើងចាប់ផ្តើមពីរូបមន្ត **ដង់ស៊ីតេថាមពល**ក្នុងដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចក្នុងតំបន់នៃលំហទទេដែលមានដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ និងដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$នោះដង់ស៊ីតេថាមពលសរុបគឺ

$$u = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{B^2}{2\mu_0}$$

ដែល ϵ_0 និងμ_0ជាពៃរមីទីវីតេ និងពៃរមេអាប៊ីលីតេ នៃលំហសេរី។ ចំពោះរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចក្នុងសុញ្ញាកាស តម្លៃនៃដែនអគ្គិសនីE និងដែនម៉ាញេទិចB មានទំនាក់ទំនងគ្នាតាមរូបមន្ត

$$B = \frac{E}{c} = \sqrt{\mu_0\varepsilon_0}E$$

យើងផ្ទុំគ្នា$u = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{B^2}{2\mu_0}$ និង$B = \frac{E}{c} = \sqrt{\mu_0\varepsilon_0}E$

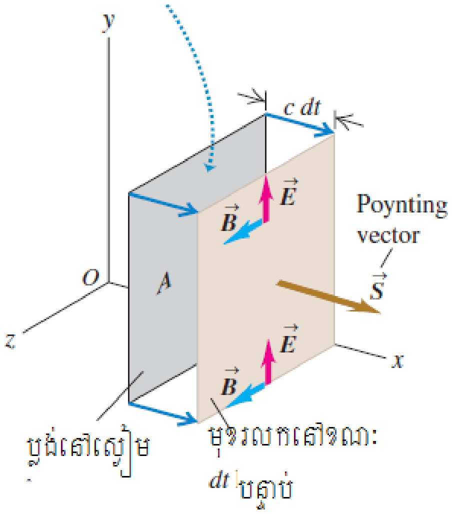
យើងទាញ$u = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0}\left(\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}E\right)^2 = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 = \varepsilon_0 E^2$

ទំនាក់ទំនងនេះបង្ហាញថា ក្នុងសុញ្ញាកាសដង់ស៊ីតេថាមពលដែលមានទំនាក់ទំនងជាមួយដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ ក្នុងរលកធម្មតារបស់យើងស្មើនឹងដង់ស៊ីតេថាមពលនៃដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$ ។ ជាទូទៅ តម្លៃដែនអគ្គិសនីE គឺជាអនុគមន៍នៃពេល t និងទីតាំង x ហេតុនេះហើយបានជាដង់ស៊ីតេថាមពលក៏ជាអនុគមន៍នៃពេល t និងទីតាំងx ដែរ។

លំហូរថាមពលនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច និងវ៉ិចទ័រ(Poynting)

រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដូចជារលកជឿនដែលដឹកជញ្ជូនថាមពលពីតំបន់មួយទៅតំបន់មួយទៀត។ យើងអាចរៀបរាប់ការបញ្ជូនថាមពលនេះជាអនុគមន៍ទៅនឹងថាមពលដែលផ្ទេរក្នុងមួយខ្នាតពេល និងក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃមុខកាត់ ឬអាចនិយាយថាអានុភាពក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃ សម្រាប់ផ្ទៃដែលកែងទៅនឹងទិសដំណាលនៃរលក។ ដើម្បីមើលពីលំហូរថាមពលមានជាប់ទាក់ទងទៅនឹងដែន ដោយពិចារណាលើប្លង់ដែលនៅស្ងៀមមួយដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោមដែលកែងទៅនឹងអ័ក្សx ហើយត្រួតលើមុខរលកនៅខណៈណាមួយ។

នៅខណៈdt មាឌនៅចន្លោះប្លង់ស្មៀមនិងមុខ
រលកមានផ្ទុកថាមពលចំនួន$dU = uAc\ dt$។



រូបទី៥.២១.មុខរលកនៅនៅខណៈdt បន្ទាប់ពីវាឆ្លងកាត់ប្លង់ស្មៀមមួយដែលមានផ្ទៃA។

ក្នុងរយៈពេល dtបន្ទាប់មុខរលកបានផ្លាស់ទីបានប្រវែង $c\ dt$ ទៅខាងស្តាំនៃប្លង់ស្មៀមនោះ។ យើងសន្មតថាប្លង់នោះមានផ្ទៃ A យើងកត់សំគាល់ថា ថាមពលក្នុងលំហនៅផ្នែកខាងស្តាំនៃផ្ទៃនេះត្រូវតែឆ្លងកាត់ផ្ទៃនេះដើម្បីទៅដល់ទីតាំងថ្មីមួយទៀត។ មាឌdVនៃតំបន់នោះស្មើនឹងផលគុណរវាងផ្ទៃ A និងប្រវែង $c\ dt$ ហើយថាមពល dUនៃតំបន់នេះគឺដង់ស៊ីតេថាមពល u គុណនឹងមាឌ dV។

គេបាន $dU = udV = (\varepsilon_0 E^2)(Acdt)$

ថាមពលនេះឆ្លងកាត់ផ្ទៃ A ក្នុងរយៈពេល dt ។ លំហូរថាមពលក្នុងមួយខ្នាតពេល ក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃដែលយើងតាងដោយ S។ គេបាន $S = \frac{1}{A}\frac{dU}{dt} = \varepsilon_0 c E^2$ (ក្នុងសុញ្ញាកាស)

តាមរូបមន្ត$E = cB$ ហើយ$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$

យើងអាចសរសេរតាមទម្រង់ផ្សេងទៀត $S = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} E^2 = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} E^2 = \frac{EB}{\mu_0}$ (ក្នុងសុញ្ញាកាស)

ខ្នាតរបស់S គឺថាមពលក្នុងមួយខ្នាតពេល ក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃ ឬអានុភាពក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃ ហើយខ្នាត SI គឺ $\frac{1J}{s\cdot m^2}$ឬ $\frac{1W}{m^2}$ ។

យើងអាចសរសេរជាទំហំវ៉ិចទ័រ $S = \frac{\vec{E}\times\vec{B}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E}\times\vec{B}$ (វ៉ិចទ័រ Poynting ក្នុងសុញ្ញាកាស)

វ៉ិចទ័រ$\vec{S}$ជាវ៉ិចទ័រផយតីង(Poynting)ដែលវ៉ិចទ័រនេះត្រូវបានបង្កើតដោយអ្នករូបវិទ្យាអង់គ្លេសឈ្មោះចនផយតីង(John Poynting) (1852-1914)។ ទិសដៅរបស់វ៉ិចទ័រនេះដូចទិសដៅដំណាលរបស់រលកដែរ។ រូបខាងក្រោមបង្ហាញពីការដំឡើងផ្ទាំងសូឡាដាក់លើដំបូលផ្ទះដែលគេដាក់ផ្ទាំងសូឡាទ្រេតយ៉ាងណាអោយផ្ទាំងនេះបែរមុខទៅរកទិសពន្លឺព្រះអាទិត្យ បានន័យថាបែរមុខទៅរកវ៉ិចទ័រ Poynting នៃ

វលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចរបស់ពន្លឺព្រះអាទិត្យ។ ហេតុនេះហើយបានជាផ្ទាំងសូឡាអាចស្រូបថាមពលបានច្រើនអតិបរមា។

រូបទី៥.២២.ផ្ទាំងសូឡាដែលនៅលើដំបូលផ្ទះបែរមុខទៅរកពន្លឺព្រះអាទិត្យបានន័យថាវាបែរទៅរកវ៉ិចទ័រ Poynting

នៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចពីព្រះអាទិត្យ។ ហេតុនេះផ្ទាំងសូឡាអាចស្រូបថាមពលព្រះអាទិត្យអតិបរមា។

តាមរយៈរូបមន្ត$S = \frac{1}{A}\frac{dU}{dt} = \varepsilon_0 c E^2$ និងរូបមន្ត$S = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}E^2 = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}E^2 = \frac{EB}{\mu_0}$នេះជាលំហូរថាមពលក្នុងមួយខ្នាតពេលក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃឆ្លងកាត់មុខកាត់ដែលកែងទៅនឹងទិសដំណាលរបស់រលក។ លំហូរថាមលសរុបក្នុងមួយខ្នាតពេល(អានុភាព P) នៅខាងក្រៅផ្ទៃបិទណាមួយគឺជាអាំងតេក្រាលនៃវ៉ិចទ័រ $\vec{S}$ លើផ្ទៃ៖

គេបាន $P = \oint \vec{S} \cdot d\vec{A}$

សម្រាប់រលកស៊ីនុយសូអ៊ីតដែលយើងបានរៀនកន្លងមក ក៏ដូចជារលកផ្សេងៗជាច្រើនទៀតដែរ ដែលមានដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចនៅត្រង់ចំនុចណាមួយប្រែប្រួលតាមពេល ហេតុនេះ វ៉ិចទ័រ Poynting ក៏ប្រែប្រួលតាមពេលដែរ។ ដោយសារប្រេកង់នៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែល យើងប្រើភាគច្រើនមានតម្លៃធំ នោះការប្រែប្រួលតាមពេលនៃវ៉ិចទ័រ Poynting ប្រព្រឹត្តិទៅយ៉ាងរហ័ស ហេតុនេះហើយវិធីដែលល្អបំផុតគឺយើងត្រូវពិនិត្យមើលតម្លៃមធ្យមរបស់វា។ តម្លៃមធ្យមនៃវ៉ិចទ័រ Poynting នៅត្រង់ចំនុចមួយត្រូវបានគេហៅថា អាំងតង់ស៊ីតេនៃបន្សាយកាំរស្មីនៅត្រង់ចំនុចនោះ។ ខ្នាតSI នៃអាំងតង់ស៊ីតេនេះគិតជាវ៉ាត់ក្នុងមួយខ្នាតម៉ែត្រការេ($1W/m^2$)

ឥលូវយើងធ្វើការលើអាំងតង់ស៊ីតេនៃរលកស៊ីនុយសូអ៊ីតដែលបានរៀបរាប់ដោយសមីការខាងក្រោម៖

$\vec{E}(x,t) = \hat{j}E_{max}\cos(kx - \omega t)$ហើយ$\vec{B}(x,t) = \hat{k}B_{max}\cos(kx - \omega t)$

យើងជំនួសតម្លៃ $\vec{E}(x,t)$ និង $\vec{B}(x,t)$ ក្នុងសមីការ$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E}(x,t) \times \vec{B}(x,t)$

គេបាន $\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}[\hat{j}E_{max}\cos(kx - \omega t)] \times [\hat{k}B_{max}\cos(kx - \omega t)]$

ដោយផលគុណវ៉ិចទ័រនៃវ៉ិចទ័រឯកតា $\hat{j} \times \hat{k} = \hat{\imath}$ ហើយ $cos^2(kx - \omega t)$មានតម្លៃវិជ្ជមានជានិច្ច នោះវ៉ិចទ័រ poynting $\vec{S}(x,t)$ តែងតែចង្អុលតាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្សx (ទិសដៅដំណាលរលក)។

ជាតុផ្សំតាមអ័ក្ស(x)នៃវ៉ិចទ័រ poynting $\vec{S}(x,t)$គឺ $S_x(x,t) = \frac{E_{max}B_{max}}{\mu_0} cos^2(kx - \omega t)$

គេបាន $S_x(x,t) = \frac{E_{max}B_{max}}{\mu_0} cos^2(kx - \omega t) = \frac{E_{max}B_{max}}{2\,\mu_0}[1 + cos2(kx - \omega t)\,]$

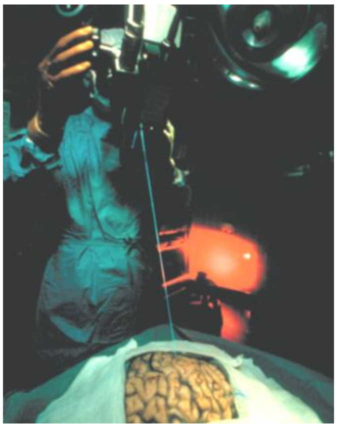
តម្លៃមធ្យមនៃ $cos2(kx - \omega t)$ស្មើសូន្យដោយសារនៅចំនុចណាមួយ វាមានតម្លៃវិជ្ជមានក្នុងរយៈពេលកន្លះខួប ហើយវាមានតម្លៃអវិជ្ជមានក្នុងរយៈពេលកន្លះខួបផ្សេងទៀត។ ដូចនេះ តម្លៃមធ្យមនៃវ៉ិចទ័រ poynting ក្នុងរយៈមួយខួបពេញគឺ $\overrightarrow{S_{av}} = \hat{\imath}S_{av}$ ដែល $S_{av} = \frac{E_{max}B_{max}}{2\mu_0}$

ដោយតម្លៃមធ្យមនៃវ៉ិចទ័រផយភីង(poytingសម្រាប់រលកស៊ីនុយសូអ៊ីតគឺជាអាំងតង់ស៊ីតេនៃរលកគឺស្មើនឹងកន្លះនៃតម្លៃអតិបរមា។

គេបាន $I = S_{av} = \frac{E_{max}B_{max}}{2\,\mu_0} = \frac{E^2_{max}}{2\,\mu_0\,c} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}}E^2_{max} = \frac{1}{2}\epsilon_0 c E^2_{max}$(អាំងស៊ីតេនៃរលកស៊ីនុយសូអ៊ីតក្នុងសុញ្ញាកាស)។

ការអនុវត្តក្នុងវេជ្ជសាស្ត្រ៖ ការវះកាត់ដោយប្រើកាំរស្មីឡាស៊ែរ

កាំរស្មីឡាស៊ែរត្រូវបានប្រើយ៉ាងច្រើនក្នុងវេជ្ជសាស្ត្រ ហើយដើរតួជាកាំបិតវះកាត់យ៉ាងស្តើង មុតមិនចេញឈាម ហើយសុក្រិតច្បាស់លាស់កម្រិតខ្ពស់។ គេអាចឈានទៅដល់ និងកាត់ដុំម៉ាសមហារីកដោយមិនបង្កអោយមានកំហូចដល់ជាលិកាល្អៗដែលនៅជិតខាងដុំម៉ាសនោះ ដូចជាការវះកាត់ខួរក្បាលដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។ អានុភាពចេញរបស់កាំរស្មីឡាស៊ែរដែលគេប្រើមានតម្លៃតូចជាង ៤០វ៉ាត់(40W)គឺតូចជាងអានុភាពនៃអំពូលភ្លើងដែលមានសរសៃវង់ៗ(អំពូលពងមាន់)ទៅទៀត។ ប៉ុន្តែទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយ អានុភាពនេះត្រូវបានគេបញ្ចូលផ្តុំគ្នាក្នុងផ្ទៃតូចមួយដែលមានអង្កត់ផ្ចិត0.1 ទៅ 2.0 mm ហេតុនេះអាំងតង់ស៊ីតេនៃពន្លឺស្មើនឹងតម្លៃមធ្យមនៃវ៉ិចទ័រ Poynting (ហើយមានតម្លៃប្រហែល $5 \times 10^9 W/m^2$)



រូបទី៥.២៣.(ពន្លឺឡាស៊ែរដែលប្រើសម្រាប់វះកាត់) ឡាស៊ែរត្រូវបានគេប្រើយ៉ាងច្រើនក្នុងវេជ្ជសាស្ត្រ ដោយសារវាមានសុក្រិតភាពខ្ពស់ ជាកាំបិតវះកាត់មិនចេញឈាម។ វាអាចជាលទៅដល់ដុំសាច់មហារីក ហើយអាចកាត់ដាច់ដុំសាច់កាចនោះ ដែលអាចបង្កគ្រោះថ្នាក់តិចបំផុតដល់ជាលិកាល្អដូចក្នុងករណីការវះកាត់ខួរក្បាលបង្ហាញក្នុងរូបនេះ។ អានុភាពចេញរបស់ឡាស៊ែរជាទូទៅក្រោម40W តូចជាងអានុភាពរបស់ពន្លឺអំពូលទៅទៀត។ ប៉ុន្តែអានុភាពនេះត្រូវបានគេប្រមូលផ្តុំគ្នាត្រង់ចំនុចតូចមួយមានអង្កត់ផ្ចិតប្រហែល0.1mm ទៅ0.2mm។ ហេតុនេះអាំងតង់ស៊ីតេពន្លឺ(ស្មើនឹងតម្លៃមធ្យមនៃវ៉ិចទ័រ Poynting)ធំបំផុតគឺ$5 \times 10^9 W/m^2$។

ការប្រែប្រួលតាមពេលវេលា៖ អាំងតង់ស៊ីតេ និងវ៉ិចទ័រ Poynting

នៅត្រង់ចំនុចណាមួយ x តម្លៃនៃវ៉ិចទ័រ Poyntingប្រែប្រួលតាមពេល។ ហេតុនេះគេបានកម្រិតបំរែបំរួលខណៈដែលថាមពលរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចក្នុងរលកប្លង់ស៊ីនុយសូអ៊ីតបានដាលមកដល់ផ្ទៃមួយមិនមានតម្លៃថេរនោះទេ។ ស្ថានភាពនេះហាក់ដូចជាផ្ទុយទៅនឹងអ្វីដែលយើងមានបទពិសោធន៍ប្រចាំថ្ងៃដូចជាពន្លឺមកពីព្រះអាទិត្យ ពន្លឺមកពីអំពូល ឬពន្លឺឡាស៊ែរស្តេនដែលស្ថិតនៅតាមហាងកើតចេញមកហាក់ដូចជាមានតម្លៃថេរមិនប្រែប្រួល។ តាមពិតវ៉ិចទ័រPoyntingដែលចេញពីប្រភពទាំងនោះប្រែប្រួលតាមពេល ប៉ុន្តែបំរែបំរួលនោះលឿនរហ័សខ្លាំងពេកដែលយើងមិនអាចកត់សំគាល់បានឡើយដោយសារប្រេកង់លំយោលធំខ្លាំងពេកប្រហែល $5.10^{14} Hz$ សម្រាប់ពន្លឺមើលឃើញ។ អ្វីដែលយើងបានដឹងបានឃើញដោយញ្ញាណគឺកម្រិតមធ្យមដែលថាមពលបានឈានមកដល់ភ្នែក ដោយមូលហេតុនេះហើយបានជាយើងច្រើនប្រើពាក្យ អាំងតង់ស៊ីតេ(តម្លៃមធ្យមនៃវ៉ិចទ័រ Poynting)ដើម្បីរៀបរាប់ពីកម្រិតទំហំនៃការបន្សាយអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។

តាមរយៈការពិភាក្សាខាងលើ យើងផ្តោតលើតែរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលផ្លាស់ទីក្នុងសុញ្ញាកាស។ បើសិនជារលកដាលក្នុងមជ្ឈដ្ឋានឌីអេឡិចទ្រិច នោះសមីការខាងលើត្រូវតែកែប្រែ។ ការប្រែប្រួលនេះមានភាពងាយស្រួលខ្លាំងណាស់ ដោយគ្រាន់តែជំនួសϵ_0ដោយϵ ហើយជំនួសμ_0 ដោយμ នៃមជ្ឈដ្ឋានឌីអេឡិចទ្រិច ចំណែកល្បឿនត្រូវជំនួស c ដោយ v ល្បឿននៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចក្នុងមជ្ឈដ្ឋានឌីអេឡិចទ្រិច។ ប៉ុន្តែអ្វីដែលយើងសន្មតនោះគឺដង់ស៊ីតេក្នុងវ៉ិចទ័រដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចត្រូវមានតម្លៃថេរដដែលទោះបីស្ថិតក្នុងមជ្ឈដ្ឋានឌីអេឡិចទ្រិចក៏ដោយ។

ឧទាហរណ៍១៖ (ថាមពលក្នុងរលកមិនមែនស៊ីនុយសូអ៊ីត)

សម្រាប់រលកមិនមែនស៊ីនុយសូអ៊ីតដែលបានបកស្រាយនៅក្នុងចំណុចមុន ដោយយើងសន្មតថា $E = 100\frac{V}{m} = 100\frac{N}{C}$ ។ កំណត់តម្លៃនៃ B ដង់ស៊ីតេថាមពល u និងអត្រាលំហូរនៃថាមពលក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃ S ។

ឧទាហរណ៍២ ៖(ថាមពលក្នុងរលកស៊ីនុយសូអ៊ីត)

ស្ថានីយ៍វិទ្យុនៅលើបរិយាកាសផែនដីបន្សាយរលកស៊ីនុយសូអ៊ីតជាមួយនឹងអានុភាពមធ្យមសរុប 50KW ។ សន្មតថាការបញ្ជូននេះបន្សាយស្មើៗគ្នាទៅគ្រប់ទិសដែលស្ថិតនៅផ្នែកខាងលើ។ កំណត់តម្លៃដែនអគ្គិសនីនិងដែនម៉ាញេទិច $E_{\max}$ និង $B_{\max}$ ចាប់បានដោយផ្កាយរណបចម្ងាយ $100km$ ពីអង់តែន។

សំពាធបរិមាណចលនានៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច និងសម្ពាធនៃបន្សាយកាំរស្មី

ដោយប្រើការសង្កេតដែលថាមពលត្រូវការចាំបាច់ក្នុងការបង្កើតដែនអគ្គិសនីនិងដែនម៉ាញេទិច យើងបានបង្ហាញថារលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមានផ្ទុក និងដឹកជញ្ជូនថាមពល។ ហើយវាត្រូវបានបង្ហាញដែរថាមានបរិមាណចលនាp ហើយមានដង់ស៊ីតេបរិមាណចលនា(ជាបរិមាណចលនាdp ក្នុងមួយខ្នាតមាឌdV) ដែលមានតម្លៃ $\frac{dp}{dV}=\frac{EB}{\mu_0 c^2}=\frac{S}{c^2}$

បរិមាណចលនានេះគឺជាលក្ខណៈរបស់ដែន វាមិនជាប់ទាក់ទងទៅនឹងម៉ាសនៃភាគល្អិតដែលផ្លាស់ទីដូចធម្មតានោះទេ។

ហើយក៏មានកម្រិតលំហូរបរិមាណចលនារបស់វាដែរ។ មាឌdV ដែលរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស្ថិតនៅ(មានល្បឿនc)បានជាលឆ្លងកាត់ផ្ទៃA ក្នុងរយៈពេលdt គឺ$dV = Acdt$

យើងជំនួសតម្លៃនេះក្នុងសមីការ $\frac{dp}{dV}=\frac{EB}{\mu_0 c^2}=\frac{S}{c^2}$

យើងបានកម្រិតលំហូរបរិមាណចលនាក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃគឺ$\frac{1}{A}\frac{dp}{dt}=\frac{S}{c}=\frac{EB}{\mu_0 c}$

នេះគឺបរិមាណចលនាដែលបញ្ជូនក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃ និងក្នុងមួយខ្នាតពេល។ យើងទទួលបានកម្រិតបរិមាណចលនាដែលបញ្ជូនក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃជាមធ្យមដោយជំនួស S

ក្នុងសមីការ $\frac{1}{A}\frac{dp}{dt}=\frac{S}{c}=\frac{EB}{\mu_0 c}$ ដោយ $S_{av}=I$ យើងបាន $\frac{1}{A}\frac{dp}{dt}=\frac{I}{c}$

បរិមាណចលនានេះប្រើសម្រាប់បង្កើត**សម្ពាធនៃការបន្សាយកាំរស្មី**។ នៅពេលរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមួយត្រូវបានស្រូបទាំងស្រុងដោយផ្ទៃមួយ នោះបរិមាណចលនារបស់រលកក៏ត្រូវបានបញ្ជូនទៅអោយផ្ទៃនោះដែរ។ ដើម្បីសម្រួលអោយងាយយល់ យើងត្រូវពិចារណាលើផ្ទៃដែលកែងទៅនឹងទិសដំណាលរបស់រលក។ ដោយប្រើរូបមន្ត $\frac{dp}{dt}$ ដែលបរិមាណចលនាត្រូវបានស្រូបដោយផ្ទៃស្មើនឹងកម្លាំងដែលបញ្ចេញទៅលើផ្ទៃ។ តម្លៃមធ្យមនៃកម្លាំងក្នុងមួយខ្នាតផ្ទៃបញ្ចេញដោយរលកឬសម្ពាធនៃការបន្សាយកាំរស្មី p_{rad}គឺជាតម្លៃមធ្យមនៃ $\frac{dp}{dt}$ ចែកនឹងផ្ទៃសម្រូបរលក(A)។

គេបាន$p_{rad}=\frac{S_{av}}{c}=\frac{I}{c}$ (សម្ពាធនៃការបន្សាយកាំរស្មី ហើយរលកត្រូវបានស្រូបទាំងស្រុង)។

បើសិនជារលកត្រូវបានផ្លាតទាំងស្រុង នោះបំរែបំរួលបរិមាណចលនាកើនឡើងទ្វេរដង។

គេបាន$p_{rad}=\frac{2S_{av}}{c}=\frac{2I}{c}$ (សម្ពាធនៃការបន្សាយកាំរស្មី ហើយរលកត្រូវបានបំផ្លាតទាំងស្រុង)។

ឧទាហរណ៍៖ តម្លៃ I ឬ S_{av} ចំពោះពន្លឺព្រះអាទិត្យចាំងផ្ទាល់នៅមុនពេលឆ្លងកាត់បរិយាកាសផែនដីវាមានតម្លៃប្រហែល $1.4\,kW/m^2$

នោះយើងបានតម្លៃសម្ពាធមធ្យម $p_{rad} = \frac{S_{av}}{c} = \frac{1.4\times10^3\frac{W}{m^2}}{3.0\times10^8\frac{m}{s}} = 4.7\times10^{-6}Pa$

ក្នុងករណីរលកផ្លាតទាំងស្រុងនោះសម្ពាធកើនឡើងទ្វេរដង $\frac{2I}{c} = 9.4\times10^{-6}Pa$

សម្ពាធនេះជាសម្ពាធដែលតូចខ្លាំង ក្នុងលំដាប់ប្រហែល$10^{-10}atm$ ប៉ុន្តែគេអាចវាស់វាបានដោយប្រើឧបករណ៍ដែលមានភាពរួសខ្លាំង។ សម្ពាធនៃការបន្សាយកាំរស្មីព្រះអាទិត្យមានតម្លៃធំខ្លាំងនៅក្នុងព្រះអាទិត្យជាងនៅលើផែនដី។ នៅក្នុងផ្កាយដែលមានទំហំធំហើយភ្លឺខ្លាំងជាងព្រះអាទិត្យ នោះសម្ពាធនៃការបន្សាយកាំរស្មីក៏កាន់តែធំខ្លាំងដែរដែលអនុញ្ញាតិអោយផ្កាយទាំងនោះអាចបង្កើនសម្ពាធឧស្ម័នដែលនៅក្បែរផ្កាយ ហើយវាជួយការពារផ្កាយនោះពីការបែកបាក់រលាយដោយសារកម្លាំងទំនាញផ្ទាល់របស់ផ្កាយនោះ។ ក្នុងករណីខ្លះសម្ពាធនៃការបន្សាយកាំរស្មីរបស់ផ្កាយអាចមានឥទ្ធិពលយ៉ាងសំបើមទៅលើរូបធាតុដែលនៅជុំវិញវាដូចក្នុងរូបខាងក្រោម។

រូបទី៥.២៤.នៅត្រង់ផ្ចិតនៃពពកឧស្ម័នគឺជាផ្កាយដែលមានអាំងតង់ស៊ីតេធំដែលបញ្ចេញសម្ពាធកាំរស្មីយ៉ាងធំលើបរិយាកាសដែលនៅជុំវិញវា។ ដោយមានជំនួយពីខ្យល់នៃភាគល្អិតចេញពីផ្កាយ វាបានបង្កើតបានជាពពុះក្នុងពពកនោះដែលជាលទ្ធផលនៃការបញ្ចេញសម្ពាធបន្សាយកាំរស្មីមានកម្ពស់ប្រវែង៧០ឆ្នាំពន្លឺ។

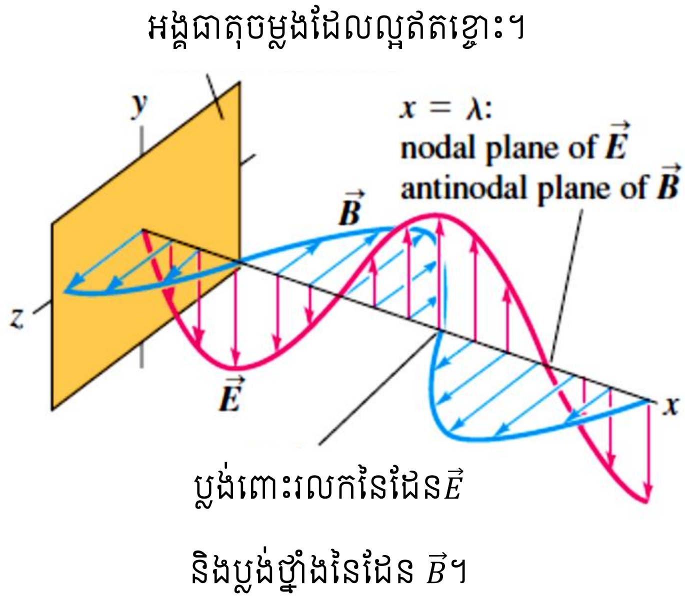
រូបនេះបង្ហាញថានៅត្រង់ផ្ចិតដែលស្ថិតនៅចន្លោះពពកឧស្ម័នគឺជាក្រុមនៃផ្កាយដែលបញ្ចេញពន្លឺយ៉ាងខ្លាំងហើយបានបញ្ចេញសម្ពាធនៃការបន្សាយកាំរស្មីយ៉ាងធំទៅលើបរិយាកាសដែលនៅជុំវិញវា។ ដោយមានជំនួយពីលំហូរនៃភាគល្អិតដែលចេញពីផ្កាយក្នុងរយៈពេលរាប់លានឆ្នាំកន្លងមកហើយ សម្ពាធនៃការបន្សាយកាំរស្មីបានប្រមូលពពុះពពកយ៉ាងវែងប្រវែង 70 ឆ្នាំពន្លឺ។

៥.៧៖ រលកជញ្ជ្រាំអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចអាចចាំងផ្លាតត្រឡប់មកវិញបាន ផ្ទៃនៃអង្គធាតុចម្លង(បន្ទះលោហៈដែលរលោង) ឬផ្ទៃនៃឌីអេឡិចទ្រិច(បន្ទះកញ្ចក់)អាចដើរតួជាអ្នកបំផ្លាតរលក។ គោលការណ៍តម្រួតនៃរលកក៏អាចប្រើសម្រាប់រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចបានដែរ ហើយក៏អាចប្រើសម្រាប់ដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចនៃរលកនេះផងដែរ។ តម្រួតរវាងរលកចាំងប៉ះ និងរលកចាំងផ្លាតបង្កើតអោយមានរលក

ជញ្ជ្រុំ។ ស្ថានភាពនេះគឺដូចគ្នានឹងរលកតម្រួតលើខ្សែយឺត ដើម្បីយល់អោយកាន់តែច្បាស់សូមទៅមើលឡើងវិញអំពីរលកជញ្ជ្រុំលើខ្សែនោះ។

ឧបមាថាមានបន្ទះរលោងនៃអង្គធាតុចម្លងល្អឥតខ្ចោះ(មិនមានរេស៊ីស្តង់)ត្រូវបានដាក់ក្នុងប្លង់(yz) ដូចក្នុងរូបខាងក្រោម ហើយរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលរងប៉ូលកម្មលីនេអ៊ែរមួយ(ត្រង់ចំនុចនីមួយៗ ដែនអគ្គិសនីស្របនឹងអ័ក្ស y ជានិច្ច ចំណែកឯដែនម៉ាញេទិចស្របនឹងអ័ក្ស z ជានិច្ច) បានដាលតាមទិសដៅអវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស x ទៅប៉ះផ្ទៃខាងលើ។



រូបទី៥.២៥.ការតាងដែនអគ្គិសនីនិងដែនម៉ាញេទិចរលកជញ្ជ្រុំអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលរងប៉ូលកម្មតាមមួយទិស(ខ្សែ)នៅពេល$\omega t = \frac{3\pi}{4}(rad)$។ ប្លង់ណាមួយដែលកែងទៅនឹងអ័ក្ស(x)ដែនអគ្គិសនីអតិបរមា(ពោះរលក)ខណៈដែលដែនម៉ាញេទិសស្មើសូន្យ(ថ្នាំង)និងប្រាសត្រឡប់មកវិញ។ រយៈពេលចុះតែកន្លងផុតទៅ ប៉ុន្តែគំរូរលកនេះមិនផ្លាស់ទីទៅមុខទេដោយដែនទាំងពីរមានចលនាលំយោលធម្មតា

ដូចដែលបានសិក្សាក្នុងអេឡិចត្រូស្តាទិច ដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$ គ្មានធាតុដែលស្របនឹងផ្ទៃរបស់បន្ទះលោហៈនៃអង្គធាតុចម្លងល្អឥតខ្ចោះ(មានតែធាតុដែលកែងនឹងផ្ទៃ)។ ដូច្នេះក្នុងស្ថានភាពពេលនេះដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ ត្រូវតែមានតម្លៃសូន្យគ្រប់កន្លែងក្នុងប្លង់(yz)។ ចំណែកដែនអគ្គិសនីនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចចាំងប៉ះមិនសូន្យគ្រប់ខណៈពេលក្នុងប្លង់ (yz) នោះទេ។ ប៉ុន្តែរលកចាំងប៉ះនេះបង្កើតបានចរន្តលំយោល(ចរន្តឆ្លាស់)នៅលើផ្ទៃនៃអង្គធាតុចម្លង ហើយចរន្តនេះបង្កើតបានដែនអគ្គិសនីបន្ថែមមួយទៀត។ ដែនអគ្គិសនីសរុបស្មើសូន្យព្រោះជាផលបូកវ៉ិចទ័រនៃដែនថ្មី និងដែនអគ្គិសនីនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលចាំងប៉ះ។ ដែនសរុបនេះស្មើសូន្យនៅគ្រប់កន្លែងនៅផ្នែកខាងក្នុងប្លង់ និងនៅលើផ្ទៃរបស់អង្គធាតុចម្លង។

ចរន្តដែលកើតមាននៅលើផ្ទៃនៃអង្គធាតុចម្លងក៏បានបង្កើតរលកចាំងផ្លាតដែលដាលចេញពីប្លង់ក្នុងទិសដៅវិជ្ជមានរបស់អ័ក្ស x។

ចំណាំ៖ រលកដាលទៅខាងស្តាំ $y = a\cos(kx - \omega t)$ ហើយរលកដាលទៅខាងឆ្វេងគឺ

$y = a\cos(kx + \omega t)$ ។ ហើយទិសដៅដំណាលរលកគឺកំណត់ដោយផលគុណវ៉ិចទ័រ $\vec{E} \times \vec{B}$

យើងមានរលកដែលដាលតាមទិសដៅអវិជ្ជមានរបស់អ័ក្ស x នោះដែនទាំងពីរគឺ ដែនអគ្គិសនីតាមទិសដៅវិជ្ជមានរបស់អ័ក្ស y ហើយដែនម៉ាញេទិចមានទិសដៅតាមទិសដៅអវិជ្ជមានរបស់អ័ក្ស z។ គេបាន $E_y(x,t) = E_{max}\cos(kx+\omega t)$ និង $B_z(x,t) = -B_{max}\cos(kx+\omega t)$

ចំណែករលកដែលដាលតាមទិសដៅវិជ្ជមានរបស់អ័ក្ស x នោះដែនទាំងពីរគឺ ដែនអគ្គិសនីតាមទិសដៅអវិជ្ជមានរបស់អ័ក្ស y ហើយដែនម៉ាញេទិចមានទិសដៅតាមទិសដៅអវិជ្ជមានរបស់អ័ក្ស z។ គេបាន $E_y(x,t) = -E_{max}\cos(kx-\omega t)$ និង $B_z(x,t) = -B_{max}\cos(kx-\omega t)$

តម្រួតរវាងរលកចាំងប៉ះ និងរលកចាំងផ្លាត យើងបានដែនអគ្គិសនីចាំងប៉ះ និងដែនអគ្គិសនីចាំងផ្លាតផ្គុំចូលគ្នាស្មើសូន្យនៅត្រង់ទីតាំង $x=0$ (ពីព្រោះនៅលើផ្ទៃរបស់អង្គធាតុចម្លង ដែនអគ្គិសនីត្រូវស្មើសូន្យ)។

តាមគោលការណ៍តម្រួតពោលថាដែនអគ្គិសនីសរុប$\vec{E}$ នៅត្រង់ចំនុចណាមួយគឺជាផលបូកវ៉ិចទ័រដែនអគ្គិសនីនៃរលកចាំងប៉ះ និងរលកចាំងផ្លាត ហើយដូចគ្នាចំពោះដែនម៉ាញេទិច។ ដូច្នេះអនុគមន៍រលកសម្រាប់តម្រួតនៃរលកពីរគឺជាផលបូកនៃរលកទាំងពីរខាងលើ។

គេបាន $E_y(x,t) = E_{max}\,[\cos(kx+\omega t) - cos(kx-\omega t)]$

ហើយ $B_z(x,t) = B_{max}[-\cos(kx+\omega t) - \cos(kx-\omega t)]$

តាមរូបមន្តត្រីកោណមាត្រ $cos(A \pm B) = cosAcosB \mp sinAsinB$

យើងបាន $E_y(x,t) = -2E_{max}\sin(kx)\sin(\omega t)$ និង$B_z(x,t) = -2B_{max}\cos(kx)\cos(\omega t)$

តាមទំនាក់ទំនង $E_y(x,t) = -2E_{max}\sin(kx)\sin(\omega t)$ យើងឃើញថា នៅត្រង់ $x=0$ នោះដែនអគ្គិសនី $E_y(x=0,t) = -2E_{max}\,\sin(0)\sin(\omega t) = 0$ ជានិច្ច លទ្ធផលនេះគឺសមស្របតាមតម្រូវការធម្មជាតិនៃផ្ទៃអង្គធាតុចម្លងដែលល្អឥតខ្ចោះ ដែលដើរតួដូចជាចំនុចនឹងមួយនៅផ្នែកខាងចុងនៃខ្សែ។ លើសពីនេះទៅទៀត ដែនអគ្គិសនី$E_y(x,t)$ មានតម្លៃសូន្យនៅគ្រប់ខណៈទាំងអស់នៅលើប្លង់ដែលកែងទៅនឹងអ័ក្ស x នៅពេល $\sin(kx) = 0$ ដែល $kx = 0, \pi, 2\pi, .. = n\pi$

ដែល $n = 0,1,2,3,4, \ldots\ldots\ldots\ldots$ ហើយ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

យើងបាន $x = n\frac{\lambda}{2}$ ដែល $n = 0,1,2,3,4, \ldots\ldots$ (ជាទីតាំងប្លង់ថ្នាំងនៃដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$)

ប្លង់ទាំងនេះត្រូវបានគេហៅថា ប្លង់ថ្នាំងនៃដែនអគ្គិសនី ហើយវាសមមូលទៅនឹងថ្នាំងដូចចំនុចថ្នាំងក្នុងរលកជញ្ជ្រំរបស់ខ្សែយឺត។ នៅចំនុចកណ្តាលនៃប្លង់ថ្នាំងពីរជាប់គ្នាគឺជាប្លង់ដែលស្ថិតនៅត្រង់ទីតាំងដែល $\sin(kx) = \pm 1$ ដែលប្លង់នីមួយៗ តម្លៃនៃដែនអគ្គិសនី$E_y(x,t)$ ស្មើនឹងតម្លៃអតិបរមា $2E_{max}$

ពីរដងក្នុងរយៈពេលមួយខួបលំយោល។ ប្លង់ទាំងនេះជាប្លង់ពោះនៃដែនអគ្គិសនី ហើយវាសមមូលទៅនឹងចំនុចពោះរលកនៃរលកជញ្រ្ជុំនៅលើខ្សែយឺត។

យើងមាន $\sin(kx) = \pm 1$ ដែល $kx = \frac{\pi}{2}, 3\frac{\pi}{2}, 5\frac{\pi}{2}, 7\frac{\pi}{2}, \dots \dots .. = (2n+1)\frac{\pi}{2}$ ហើយ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

យើងបាន $x = (2n+1)\frac{\lambda}{4}$ ដែល $n = 0,1,2,3,4, \dots \dots$ (ជាទីតាំងប្លង់ពោះនៃដែនអគ្គិសនី$\vec{E}$)

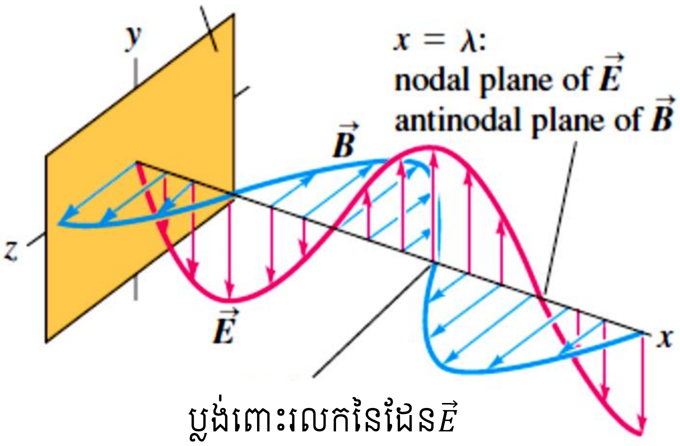
ចំណែកដែនម៉ាញេទិចសរុបស្មើសូន្យនៅគ្រប់ខណៈទាំងអស់នៃចំនុចដែលនៅក្នុងប្លង់។

ដែល $\cos(kx) = 0$ ដែល $kx = \frac{\pi}{2}, 3\frac{\pi}{2}, 5\frac{\pi}{2}, 7\frac{\pi}{2}, \dots \dots .. = (2n+1)\frac{\pi}{2}$ ដែល $n = 0,1,2,3,4, \dots \dots$

យើងបាន $x = (2n+1)\frac{\lambda}{4}$ ដែល $n = 0,1,2,3,4, \dots \dots$ (ជាទីតាំងថ្នាំងនៃដែនម៉ាញេទិច$\vec{B}$)

ប្លង់ទាំងនេះជាប្លង់ថ្នាំងនៃដែនម៉ាញេទិច ហើយមានប្លង់ពោះនៅចន្លោះកណ្តាលនៃប្លង់ថ្នាំងពីរដែលនៅជាប់គ្នា។ នៅក្នុងរូបខាងក្រោម បង្ហាញពីគំរូនៃរលកជញ្រ្ជុំនៅខណៈពេលមួយ។ ដែនម៉ាញេទិចមិនមានតម្លៃសូន្យទេនៅត្រង់ទីតាំងលើផ្ទៃរបស់អង្គធាតុចម្លង($x = 0$)។ ចរន្តដែលស្ថិតនៅលើផ្ទៃដែលត្រូវតែកើតមានសម្រាប់ធ្វើអោយដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ មានតម្លៃសូន្យនៅលើផ្ទៃ ហើយបង្កើតអោយមានដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$។ ប្លង់ថ្នាំងនៃដែននីមួយៗត្រូវបានឃ្លាតពីគ្នាប្រវែងកន្លះជំហានរលក។ ប្លង់ថ្នាំងនៃដែនមួយស្ថិតនៅចន្លោះកណ្តាលនៃប្លង់ពីរនៃដែនផ្សេងទៀត ហេតុនេះយើងទាញបានប្លង់ថ្នាំងនៃដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ ត្រួតនៅលើប្លង់ពោះនៃដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ និងច្រាសមកវិញ។

អង្គធាតុចម្លងដែលល្អឥតខ្ចោះ។



ប្លង់ពោះរលកនៃដែន$\vec{E}$

និងប្លង់ថ្នាំងនៃដែន $\vec{B}$។

រូបទី៥.២៥.ការតាងដែនអគ្គិសនីនិងដែនម៉ាញេទិចរលកជញ្រ្ជុំអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលរងប៉ូលកម្មតាមមួយទិស(ខ្សែ)នៅពេល$\omega t = \frac{3\pi}{4}(rad)$។ ប្លង់ណាមួយដែលកែងទៅនឹងអ័ក្ស(x)ដែនអគ្គិសនីអតិបរមា(ពោះរលក)ខណៈដែលដែនម៉ាញេទិសស្មើសូន្យ(ថ្នាំង)និងច្រាសត្រឡប់មកវិញ។ រយៈពេលចុះតែកន្លងផុតទៅ ប៉ុន្តែគំរូរលកនេះមិនផ្លាស់ទីទៅមុខទេ ដោយដែនទាំងពីរមានចលនាលំយោលធម្មតា

រូបខាងលើបង្ហាញពីដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចនៃរលកជញ្ជូំអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលទទួលប៉ូលកម្មលីនេអ៊ែរ។ ដែនអគ្គិសនីសរុបជាអនុគមន៍ស៊ីនុសនៃពេល(t) ហើយដែនម៉ាញេទិចជាអនុគមន៍កូស៊ីនុសនៃពេល t ។ បំរែបំរួលស៊ីនុយសូអ៊ីតនៃដែនទាំងពីរគឺខ្វែងផាសគ្នា (មុំ90°) ត្រង់ចំនុចនីមួយៗ។ នៅខណៈពេលដែល $\sin(\omega t) = 0$ នោះដែនអគ្គិសនីស្មើសូន្យនៅគ្រប់កន្លែងទាំងអស់ ចំណែកឯដែនម៉ាញេទិចមានតម្លៃអតិបរមា។ នៅពេល $\cos(\omega t) = 0$ ដែនម៉ាញេទិចស្មើសូន្យនៅគ្រប់កន្លែងទាំងអស់ ចំណែកឯដែនអគ្គិសនីមានតម្លៃអតិបរមា។ លក្ខណៈនេះមានការផ្ទុយពីដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចដែលស្របផាសគ្នាដែលយើងបានសិក្សាកន្លងមក។

រលកជញ្ជូំក្នុងប្រអប់មួយ

ឥលូវយើងបញ្ចូលប្លង់អង្គធាតុចម្លងទីពីរដែលស្របទៅនឹងប្លង់ទីមួយ ហើយចម្ងាយប្រវែង Lពីប្លង់ទីមួយនៅតាមបណ្តោយអ័ក្សវិជ្ជមាននៃ x។ ប្រអប់ដែលនៅចន្លោះប្លង់ទាំងពីរគឺប្រៀបដូចខ្សែយឺតមួយដែលលាតសន្ធឹងពីទីតាំង $x = 0$ ទៅ $x = L$។ ប្លង់ចម្លងទាំងពីរត្រូវតែជាប្លង់ថ្នាំងនៃដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ ហើយរលកជញ្ជូំអាចកើតមានលុះត្រាតែប្លង់ទីពីរស្ថិតនៅត្រង់ទីតាំងមួយដែល $E_y(x,t) = 0$ ហេតុនេះប្រវែង Lត្រូវតែជាពហុគុណនៃប្រវែងកន្លះជំហានរលក $\frac{\lambda}{2}$។

យើងបាន $L = n\frac{\lambda}{2}$ នោះយើងអាចសរសេរ $\lambda_n = \frac{2L}{n}(n = 1,2,3,4,5....)$

យើងអាចសរសេរប្រេកង់ $f_n = \frac{c}{\lambda_n} = n\frac{c}{2L}\ (n = 1,2,3,4,5,\dots\dots)$

ហេតុនេះហើយបានជាក្នុងម៉ាស៊ីនកំដៅម្ហូប microwave oven ដែលមានកន្លែងប៊ូតុង normal modes ដែលមានកំណត់លក្ខណៈប្រេកង់ រូបរាងរលក និងគំរូថ្នាំងដូចបង្ហាញក្នុងរូបខាងក្រោម។

រូបទី៥.២៦.ម៉ាស៊ីនរលកមីក្រូអូវិនត្រូវបានតំលើងដោយប្រើរលកជញ្ជូំអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលមានជំហានរលក $\lambda = 12.2cm$

ជំហានរលកនេះត្រូវបានស្រូបយ៉ាងខ្លាំងដោយទឹកដែលនៅក្នុងម្ហូប។ ដោយសាររលកមានថ្នាំងនៅចម្ងាយពីគ្នា $\lambda\backslash 2\ = 6.1cm$ ចានម្ហូបត្រូវតែវិលនៅពេលចំអិន បើសិនវាមិនវិលទេ នោះផ្នែកខ្លះនៃម្ហូបដែលស្ថិតនៅត្រង់តំបន់ថ្នាំងដែលអំពីទុតនៃដែនអគ្គិសនីស្មើសូន្យគឺនៅតែត្រជាក់ដដែល(មិនឆ្អិនទេ)។

តាមរយៈការវាស់ទីតាំងថ្នាំង យើងអាចវាស់ប្រវែងជំហានរលកបាន។ បើសិនយើងដឹងតម្លៃប្រេកង់ នោះយើងអាចកំណត់ល្បឿនរលក។ បច្ចេកទេសនេះត្រូវបានប្រើដោយលោក Hertzក្នុងឆ្នាំ១៨៨០ គាត់បានសង្កេតមុនគេបង្អស់លើផ្នែករលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច។ ផ្ទៃនៃអង្គធាតុចម្លងមិនមែនជាផ្ទៃបំផ្លាតរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចតែមួយគត់ដែលយើងអាចប្រើនោះទេ ការផ្លាតនៃរលកក៏អាចកើតមាននៅចន្លោះផ្ទៃរវាងមជ្ឈដ្ឋានអ៊ីសូឡង់ពីរដែលមានលក្ខណៈម៉ាញេទិច និងឌីអេឡិចទ្រិចខុសគ្នាបានដែរ។ លក្ខណៈនេះស្រដៀងគ្នាទៅនឹងតំណរនៃខ្សែពីរដែលមានតំណឹងខ្សែស្មើគ្នា ប៉ុន្តែមានដង់ស៊ីតេម៉ាសលីនេអ៊ែរផ្សេងគ្នា។ ជាទូទៅរលកមួយដែលចាំងប៉ះលើព្រំដែននៃផ្ទៃមួយ នោះមានរលកមួយផ្នែកឆ្លងផុតទៅកាន់មជ្ឈដ្ឋានទីពីរ ហើយមួយចំណែកទៀតអាចចាំងផ្លាតត្រឡប់ទៅមជ្ឈដ្ឋានទីមួយវិញ។ ឧទាហរណ៍ដូចជាពន្លឺចាំងចូលកញ្ចក់បង្អួច ពេលនោះមានពន្លឺមួយផ្នែកចាំងចូល ហើយមួយផ្នែកទៀតចាំងផ្លាតទៅវិញ។

ចំណែករូបខាងលើ បង្ហាញពីម៉ាស៊ីនកំដៅម្ហូបមួយ (microwave oven)ដែលបានរៀបចំកំណត់រលកជញ្ជ្រាំមានប្រវែងជំហានរលក $\lambda = 12.2\ cm$ ជំហានរលកនេះជាជំហានរលកដែលត្រូវបានស្រូបយ៉ាងខ្លាំងដោយទឹកនៅក្នុងម្ហូប។ ដោយសាររលកមានប្រវែងលំហថ្នាំង $\lambda/2 = 6.1\ cm$ ហើយម្ហូបត្រូវតែមានចលនារង្វិលនៅពេលចំអិនក្នុងម៉ាស៊ីននេះ បើសិនមិនវិលទេ នោះផ្នែកម្ហូបដែលស្ថិតនៅត្រង់ថ្នាំងដែលមានអំព្លីទុតនៃដែនអគ្គិសនីស្មើសូន្យ នោះម្ហូបត្រង់នោះនឹងមិនក្តៅនោះទេគឺវានៅតែត្រជាក់រហូត។ ចំណាំ៖ សមីការ $E_y(x,t) = -2E_{max}\ \sin(kx)\sin(\omega t)$ (32.34)

និង $B_z(x,t) = -2B_{max}\cos(kx)\cos(\omega t)$ (32.35)

ឧទាហរណ៍ អាំងតង់ស៊ីតេនៅក្នុងរលកជញ្ជ្រាំ

គណនាអាំងតង់ស៊ីតេនៃរលកជញ្ជ្រាំដែលបង្ហាញដោយសមីការ (32.34) និង(32.35)។

ដំណោះស្រាយ

អាំងតង់ស៊ីតេ I នៃរលកជាតម្លៃមធ្យម S_{av} នៃតម្លៃរបស់វ៉ិចទ័រ $\vec{S}$ ។ ហេតុនេះដើម្បីកំណត់តម្លៃមធ្យម S_{av} យើងប្រើប្រាស់សមីការ $\vec{S}(x,t) = \frac{1}{\mu_0}\vec{E}(x,t) \times \vec{B}(x,t)$

ដោយ $\vec{E}(x,t) = -2\vec{j}E_{max}\sin kx\cos\omega t$ និង $\vec{B}(x,t) = -2\vec{k}B_{max}\cos kx\sin\omega t$

នោះ $\vec{S}(x,t) = \frac{1}{\mu_0}\left[-2\vec{j}E_{max}\sin kx\cos\omega t\right] \times \left[-2\vec{k}\cos kx\sin\omega t\right]$

$$= \vec{i}\frac{E_{max}B_{max}}{\mu_0}\left(2\sin kx\cos kx\right)\left(2\sin\omega t\cos\omega t\right)$$

$$= \vec{i}S_x(x,t)$$

ដោយ $\sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha$ នោះកន្សោម$S_x(x,t)$ ខាងលើអាចសរសេរក្រោមទម្រង់៖

$$S_x\left(x,t\right)=\frac{E_{\max}B_{\max}\sin 2kx\cos 2\omega t}{\mu_0}$$

ដោយតម្លៃមធ្យមនៃអនុគមន៍ស៊ីនុសស្មើសូន្យគ្រប់ចំនួនជុំទាំងអស់នៃរង្វង់ ហេតុនេះតម្លៃមធ្យមនៃ $\vec{S}$ ស្មើសូន្យគ្រប់ចំណុចនោះ $I = S_{av} = 0$ ។

ឧទាហរណ៍ ២ ៖ (រលកជញ្ជ្រំនៅក្នុងប្រអប់)

រលកជញ្ជ្រំអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចត្រូវបានបង្កើតឡើងនៅក្នុងប្រអប់ ដែលក្នុងប្រអប់នោះមានជញ្ជាំងពីរស្របគ្នា ចម្លងបានល្អហើយមានចម្ងាយ 1.50cm ពីគ្នា។ (ក) គណនាជំហានរលកដែលវែងបំផុត λ និងប្រេកង់ទាបបំផុត f នៃរលកជញ្ជ្រំទាំងនេះ។ (ខ) សម្រាប់រលកជញ្ជ្រំនៃជំហានរលកនេះ តើនៅទីតាំងណាដែលដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ មានតម្លៃអតិបរមា? និងទីតាំងណាមានតម្លៃស្មើសូន្យ? តើទីតាំងណាដែលដែនម៉ាញេទិច $\vec{B}$ មានតម្លៃអតិបរមា? និងទីតាំងណាដែលដែនម៉ាញេទិចមានតម្លៃស្មើសូន្យ?

ដំណោះស្រាយ

(ក) គណនាជំហានរលកដែលវែងបំផុត λ និងប្រេកង់ទាបបំផុត f នៃរលកជញ្ជ្រំ៖

ចំពោះរលកជញ្ជ្រំដែលកើតមាននៅក្នុងប្រអប់ ជំហានរលកដែលវែងបំផុតនិងប្រេកង់ដែលទាបបំផុតលុះត្រាតែ $n = 1$ ហេតុនេះយើងបាន

ជំហានរលកដែលវែងបំផុត $\lambda_1 = 2L = 2\left(1.50\,\text{cm}\right) = 3.00\,\text{cm}$

ប្រេកង់ដែលទាបបំផុតនៃរលក $f_1 = \dfrac{c}{2L} = \dfrac{3.00\times10^8\ \text{m/s}}{2\left(1.50\times10^{-2}\ \text{m}\right)} = 10^{10}\ \text{Hz} = 10\,\text{GHz}$

(ខ) នៅពេល $n = 1$ មានតែពាក់កណ្តាលជំហានរលកមួយប៉ុណ្ណោះនៅចន្លោះជញ្ជាំង។ ដែនអគ្គិសនីមានប្លង់ថ្នាំង$\vec{E} = 0$ នៅត្រង់ជញ្ជាំងនិងប្លង់ពោះ(an antinodal plane)(ទីតាំង$\vec{E}$មានតម្លៃអតិបរមាន) នៅចន្លោះជញ្ជាំងទាំងពីរ។ ដែនម៉ាញេទិចមានប្លង់ពោះនៅត្រង់ជញ្ជាំងនិងមានប្លង់ថ្នាំងនៅចន្លោះកណ្តាលនៃប្លង់ពោះទាំងពីរ។

សំណួរត្រិះរិះ

១. ដោយធ្វើការវាស់នូវដែនអគ្គិសនីនិងដែនម៉ាញេទិចនៅត្រង់ចំណុចមួយនៅក្នុងលំហដែលមានរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច តើអ្នកអាចកំណត់នូវទិសដៅដែលរលកដាលមកបានដែរឬទេ? ចូរពន្យល់។

២. យោងទៅតាមច្បាប់អំពែ តើវាអាចទៅរួចដែរទេ ក្នុងការកើតមានចរន្តចម្លងនិងចរន្តបម្លាស់ទីក្នុងពេលដំណាលគ្នា? ចូរពន្យល់។

៣. ចូរលើកឧទាហរណ៍អំពីរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលកើតមានក្នុងជីវភាពប្រចាំថ្ងៃរបស់អ្នក។

តើវាមានលក្ខណៈដូចគ្នាយ៉ាងដូចម្តេច? និងខុសគ្នាយ៉ាងដូចម្តេច?

លំហាត់

១. (ក) តើគេត្រូវការរយៈពេលប៉ុន្មាន ដើម្បីឱ្យពន្លឺដាលពីព្រះចន្ទមកកាន់ផែនដី ដែលមានចម្ងាយ $384\,000\,\mathrm{km}$?

(ខ) ពន្លឺដែលចេញពីផ្កាយ Sirius ត្រូវការរយៈពេល 8.61 ឆ្នាំដើម្បីមកដល់ផែនដី។ តើចម្ងាយពីផែនដីទៅកាន់ Sirius មានប៉ុន្មានគីឡូម៉ែត(km)?

២. យើងពិនិត្យទៅលើលក្ខខណ្ឌនៃដែនអគ្គិសនីនិងដែនម៉ាញេទិចដែលឱ្យដូចខាងក្រោម។ នៅក្នុងករណីនីមួយៗ ចូរកំណត់ទិសដៅដំណាលនៃរលក។

(ក) $\vec{E}$ ក្នុងទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស(x)និង $\vec{B}$ក្នុងទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស(y)

(ខ) $\vec{E}$ ក្នុងទិសដៅអវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស y និង $\vec{B}$ក្នុងទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស x

(គ) $\vec{E}$ ក្នុងទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស z និង $\vec{B}$ក្នុងទិសដៅអវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស x

(ឃ)$\vec{E}$ ក្នុងទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស y និង $\vec{B}$ក្នុងទិសដៅអវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស z

៣. រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីតមួយដាលនៅក្នុងសុញ្ញាកាសក្នុងទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស(z) ។ ប្រសិនបើនៅក្នុងខណៈនិងទីតាំងណាមួយក្នុងលំហ ដែនអគ្គិសនីដាលក្នុងទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស x និងមានតម្លៃ $4.0\,\mathrm{V}/m$ ។ កំណត់តម្លៃនិងទិសដៅនៃដែនម៉ាញេទិចនៅត្រង់ខណៈនិងទីតាំងដូចគ្នានៅក្នុងលំហ។

៤. ពិនិត្យទៅលើការបង្ហាញពីទិសដៅនៃដែនអគ្គិសនីនិងដែនម៉ាញេទិចក្នុងករណីនីមួយៗដូចខាងក្រោម។

ចំពោះករណីនីមួយៗចូរកំណត់ទិសដៅដំណាលនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច EMW។

(ក) $\vec{E} = E\vec{\imath}, \vec{B} = -B\vec{\jmath}$

(ខ) $\vec{E} = E\vec{\jmath}, \vec{B} = B\vec{\imath}$

(គ) $\vec{E} = -E\vec{k}, \vec{B} = -B\vec{\imath}$

(ឃ) $\vec{E} = E\vec{\imath}, \vec{B} = -B\vec{k}$

រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីត

៥. Medical X rays. កាំរស្មី X នៅក្នុងវេជ្ជសាស្ត្រគេប្រើប្រាស់រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលមានជំហានរលក 0.10nm ។ តើប្រេកង់ ខួប និងចំនួនរលកនៃរលកស្មើប៉ុន្មាន?

៦. កាំរស្មីស្វាយអ៊ុលត្រា(ultraviolet radiation) ចែកចេញជាពីរប្រភេទ។ ស្វាយអ៊ុលត្រា A (UVA) មានជំហានរលកនៅចន្លោះពី 320nm ទៅ400nmដែលវាមិនប៉ះពាល់ដល់ស្បែកហើយត្រូវការចាំបាច់សម្រាប់បង្កើតនូវវីតាមីន-D ។ ហើយចំណែកឯប្រភេទ B (UVB) មានជំហានរលកចន្លោះ 280nm ទៅ320nmដែលប៉ះពាល់ដល់ស្បែកអាចបណ្តាលឱ្យមានជម្ងឺមហារីក។

(ក) កំណត់ប្រេកង់នៃកាំរស្មីស្វាយអ៊ុលត្រាប្រភេទនីមួយៗ (UVA&UVB)។

(ខ) កំណត់ចំនួនរលកនៃកាំរស្មីស្វាយអ៊ុលត្រានីមួយៗ។

៧. រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីតមួយមានដែនម៉ាញេទិចដែលមានអំព្លីទុត $1.25\mu\text{T}$ និងជំហានរលក 432nm ដាលនៅក្នុងសុញ្ញាកាសតាមទិសដៅវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស x។

(ក) កំណត់ប្រេកង់នៃរលកនេះ

(ខ) តើអំព្លីទុតនៃដែនអគ្គិសនីស្មើប៉ុន្មាន?

(គ) សរសេរសមីការដែនអគ្គិសនីនិងដែនម៉ាញេទិចជាអនុគមន៍នៃ x និង t។

៨. រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមួយមានជំហានរលក 435nm ដាលនៅក្នុងសុញ្ញាកាសតាមទិសដៅអវិជ្ជមាននៃអ័ក្ស z ។ ដែនអគ្គិសនីមានអំព្លីទុត $2.70\times10^{-3}\ \text{V}/m$ និងស្របនឹងអ័ក្ស x។

(ក) កំណត់ប្រេកង់នៃរលកនេះ

(ខ)កំណត់អំព្លីទុតនៃដែនម៉ាញេទិច។

(គ) សរសេរសមីការ $\vec{E}(z,t)$និង $\vec{B}(z,t)$ ។

៩. ពិនិត្យទៅលើរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដាលនៅក្នុងខ្យល់។

(ក) កំណត់ប្រេកង់នៃរលកដែលមានជំហានរលក

❶ 5.0km ❷ 5.0μm ❸ 5.0nm

(ខ) កំណត់ជំហានរលក(គិតជាម៉ែត្រនិងណាណូម៉ែត្រ)នៃ

❶. កាំរស្មីហ្គាម៉ាដែលមានប្រេកង់ 6.50×10^{21} Hz

❷. រលកស្ថានីយវិទ្យុដែលមានប្រេកង់ផ្សាយ $590\,\text{Hz}$ ។

១០. ដែនអគ្គិសនីនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីតគោរពតាមសមីការៈ

$$E = \left(375\,\text{V}/m\right)\cos\left[\left(1.99\times10^{7}\ \text{rad/m}\right)x + \left(5.95\times10^{15}\ \text{rad/s}\right)t\right]$$ ។

(ក) កំណត់អំព្លីទុតនៃដែនអគ្គិសនីនិងដែនម៉ាញេទិច។

(ខ) កំណត់ប្រេកង់ ខួប និងជំហានរលកនៃរលកនេះ។

តើរលកនេះរួសនឹងភ្នែករបស់មនុស្សដែរឬទេ ? ហេតុអ្វី ?

(គ) គណនាល្បឿននៃរលក។

១១. រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមានដែនអគ្គិសនីឱ្យដោយសមីការៈ

$$\vec{E}\left(x,t\right)=\left(3.10\times10^{5}\ \text{V/m}\right)\vec{k}\cos\left[ky-\left(12.65\times10^{12}\ \text{rad/s}\right)t\right]$$ ។

(ក) តើរលកនេះដាលក្នុងទិសដៅណា ?

(ខ) តើជំហានរលកស្មើប៉ុន្មាន ?

(គ) សរសេរសមីការ $\vec{B}(x,t)$។

១២. រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមួយមានដែនម៉ាញេទិចឱ្យដោយសមីការៈ

$$\vec{B}\left(x,t\right)=-\left(8.25\times10^{-9}\ \text{T}\right)\vec{j}\cos\left[\left(1.38\times10^{4}\ \text{rad/m}\right)x+\omega t\right]$$ ។

(ក) កំណត់ទិសដៅដំណាលនៃរលក។

(ខ) កំណត់ប្រេកង់ f នៃរលក។

(គ) សរសេរសមីការ $\vec{E}(x,t)$។

១៣. ស្ថានីយ៍វិទ្យុ WCCO ផ្សាយនៅតំបន់ Minneapolis មានប្រេកង់ផ្សាយ $830\,\text{kHz}$ ។ នៅត្រង់ចំណុចមួយនៅចម្ងាយពីស្ថានីយ៍ផ្សាយដែលអំព្លីទុតរបស់ដែនម៉ាញេទិចនៃរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមកពី WCCO ស្មើនឹង $4.82\times10^{-11}\ \text{T}$ ។ គណនា

(ក) ជំហានរលក

(ខ) ចំនួនរលក

(គ) ប្រេកង់មុំ

(ឃ) អំព្លីទុតនៃដែនអគ្គិសនី។

១៤. រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមានប្រេកង់ 65.0Hz បានដាលឆ្លងកាត់រូបធាតុអ៊ីសូឡង់ម៉ាញេទិច ដែលមានថេរឌីអេឡិចទ្រិច 3.64 និងជម្រាបម៉ាញេទិចធៀប 5.18 ចំពោះប្រេកង់នេះ។

(ក) តើល្បឿនដំណាលនៃរលកស្មើប៉ុន្មាន?

(ខ) តើជំហានរលកនៃរលកនេះស្មើប៉ុន្មាន?

(គ) តើអំព្លីទុតនៃដែនម៉ាញេទិចស្មើប៉ុន្មាន?

១៥. រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចមួយមានប្រេកង់ 5.70×10^{14} Hz ដាលដោយល្បឿន 2.17×10^{8} m/s ឆ្លងកាត់កំណាត់កែវមួយ។

(ក) កំណត់ជំហានរលកនៃរលកនៅក្នុងកែវនេះ។

(ខ) ជំហានរលកនៃរលកនេះដែលដាលឆ្លងកាត់ខ្យល់។

(គ) សន្ទស្សន៍ចំណាំងបែរ n នៃកែវសម្រាប់រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចដែលមានប្រេកង់នេះ។

(ឃ) ថេរឌីអេឡិចទ្រិចនៃកែវនៅប្រេកង់នេះ (សន្មតថាជម្រាបម៉ាញេទិចធៀបគឺ១ឯកតា)

ថាមពលនិងបរិមាណចលនានៅក្នុងរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

១៦. (ការព្យាបាលជំងឺមហារីកដោយប្រើថាមពលខ្ពស់)

អ្នកវិទ្យាសាស្ត្របានខិតខំស្រាវជ្រាវស្វែងរកបច្ចេកទេសថ្មីៗ ដើម្បីសម្លាប់កោសិកាមហារីកដោយធ្វើការបំផ្លាញកោសិកាទាំងនោះជាមួយនឹងកាំរស្មីដាច់ៗ (pulse) នៃពន្លឺស្វាយអ៊ុលត្រាមានថាមពលខ្ពស់ (ប្រហែល 10^{12} W) ដែលឆ្លងកាត់កោសិការយៈពេលខ្លីបំផុត (ត្រឹមតែណាណូវិនាទី)។ កាំរស្មីដាច់ៗទាំងនោះប្របល់ផ្ទៃកខាងក្នុងនៃកោសិកាដោយមិនធ្វើឱ្យវាផ្ទុះ មិនដូចទៅនឹងរញ្ជួយវែងដែលបានប្រើនោះទេ។ យើងចាត់ទុកថាកោសិកាទាំងនោះមានរាងជាថាសដែលមានអង្កត់ផ្ចិត $5.0\,\mu$m ដែលឆ្លងកាត់កោសិកាត្រឹមតែ 4.0ns ហើយមានអានុភាពមធ្យម 2.0×10^{12} W ។ យើងសន្មតថាថាមពលទាំងនោះរាយឯកសណ្ឋាននៅលើផ្ទៃនៃកោសិកា 100 សម្រាប់កាំរស្មីដាច់ៗនីមួយៗ។

(ក) តើមានថាមពលប៉ុន្មានដែលផ្តល់ទៅឱ្យកោសិកា?

(ខ) តើអាំងតង់ស៊ីតេ (គិតជា $\mathrm{W/m^2}$) ផ្តល់ទៅឱ្យកោសិកាស្មើប៉ុន្មាន?

(គ) តើតម្លៃអតិបរមានៃដែនអគ្គិសនីនិងដែនម៉ាញេទិចនៃកាំរស្មីដាច់ៗនេះស្មើប៉ុន្មាន?

១៧. (ដែនមកពីអំពូលភ្លើង)

យើងអាចចាត់ទុកថា អំពូលភ្លើង(incandescent light bulb) $75\,W$ ជាស្វ៊ែដែលមានអង្កត់ផ្ចិត $6.0\,cm$ ។ ថាមពលប្រមាណជា 5% ត្រូវបានបម្លែងទៅជាពន្លឺមើលឃើញចំណែកបរិមាណនៅសល់បានបម្លែងទៅជាកាំរស្មីអាំងហ្វ្រា(infrared radiation)។

(ក) តើអាំងតង់ស៊ីនៃពន្លឺមើលឃើញ(visible-light intensity) គិតជា W/m^2 នៅលើផ្ទៃនៃអំពូលស្មើប៉ុន្មាន?

(ខ)តើអំព្លីទុតនៃដែនអគ្គិសនីនិងដែនម៉ាញេទិចស្មើប៉ុន្មាន សម្រាប់រលកស៊ីនុយសូអ៊ីតដែលមានកម្រិតអាំងតង់ស៊ីតេរកឃើញនៅសំណួរ(ក)?

១៨. រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីតដែលចេញមកពីស្ថានីយ៍វិទ្យុមួយជាលឆ្លងកាត់បង្អួចដែលមានផ្ទៃ $0.500\,m^2$ ហើយកែងនឹងផ្ទៃនោះ ដែលដែនអគ្គិសនីនៃរលកនេះមានតម្លៃប្រសិទ្ធ(rms value) $0.0200\,V/m$ ។

តើមានថាមពលប៉ុន្មានដែលរលកនេះដឹកនាំឆ្លងកាត់បង្អួចក្នុងរយៈពេល $30.0\,s$?

១៩. អាំងតង់ស៊ីតេ(intensity)នៃបាច់ពន្លឺឡាស៊ែររាងស៊ីឡាំងមួយស្មើ $0.8000\,W/m^2$ ។ ផ្ទៃមុខកាត់នៃបាច់ពន្លឺឡាស៊ែរស្មើ $3.0\times10^{-4}\,m^2$ និងអាំងតង់ស៊ីតេនោះឯកសណ្ឋានឆ្លងកាត់ផ្ទៃនៃបាច់ឡាស៊ែរ។

(ក) តើអានុភាពមធ្យមចេញ(output) នៃពន្លឺឡាស៊ែរនេះស្មើប៉ុន្មាន?

(ខ) តើតម្លៃប្រសិទ្ធ (rms) នៃដែនអគ្គិសនីនៅក្នុងបាច់ពន្លឺឡាស៊ែរនេះស្មើប៉ុន្មាន?

២០. ឧបករណ៍វាស់នៅស្ថានីយ៍អវកាសមួយមានចម្ងាយ $2.0\times10^{10}\,m$ តារាមួយបានវាស់អាំងតង់ស៊ីតេសរុបនៃបន្សាយអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចពីតារានោះស្មើ $5.0\times10^{3}\,W/m^2$ ។ ប្រសិនបើតារានោះផ្សាយឯកសណ្ឋានទៅគ្រប់ទិសទាំងអស់ តើអានុភាពមធ្យមសរុបដែលតារាផ្សាយចេញស្មើប៉ុន្មាន?

២១. រលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីតមួយបានផ្សាយចេញពីទូរស័ព្ទដៃដែលមានជំហានរលក $35.4\,cm$ និងដែនអគ្គិសនីមានអំព្លីទុត $5.40\times10^{-2}\,V/m$ នៅចម្ងាយ $250\,m$ ពីទូរស័ព្ទ។

ចូរគណនាៈ

(ក) ប្រេកង់នៃរលក

(ខ) អំព្លីទុតនៃដែនម៉ាញេទិច

(គ) អាំងតង់ស៊ីតេនៃរលក

២២. ប្រភពពន្លឺម៉ូណូក្រូម៉ាទិចមួយមានអានុភាព(power output) $60.0\,\text{W}$ បានបន្សាយពន្លឺឯកសណ្ឋានទៅគ្រប់ទិសទាំងអស់ដែលមានជំហានរលក $700\,\text{nm}$ ។

គណនា $E_{\max}$ និង $B_{\max}$ សម្រាប់ពន្លឺនៅជំហានរលកនេះនៅចម្ងាយ $5.00\,\text{m}$ ពីប្រភព។

២៣. ប្រភពពន្លឺមួយបានបន្សាយពន្លឺឯកសណ្ឋានទៅកាន់គ្រប់ទិសទាំងអស់។ នៅចម្ងាយ $5.0\,\text{m}$ ពីប្រភពពន្លឺ សម្ពាធនៃបន្សាយលើផ្ទៃដែលស្រូបទាំងស្រុងស្មើ $9.0\times10^{-6}\,\text{Pa}$ ។ តើអានុភាពមធ្យមសរុបនៃប្រភពនេះស្មើប៉ុន្មាន?

២៤. ខ្សែចម្លងវង់មួយអាចត្រូវបានប្រើប្រាស់សម្រាប់ធ្វើជាអង់តែននៃវិទ្យុ។ ប្រសិនបើអង់តែននេះមានអង្កត់ផ្ចិត $18.0\,\text{cm}$ ត្រូវបានដាក់នៅចម្ងាយ $2.50\,\text{km}$ ពីប្រភពដែលមានប្រេកង់ $95.0\,\text{MHz}$ ដែលមានអានុភាពសរុប 55.0kW ។ តើកម្លាំងអគ្គិសនីចលករអាំងឌុីអតិបរមានៅក្នុងខ្សែចម្លងវង់ស្មើប៉ុន្មាន?សន្មតថាប្លង់នៃអង់តែននោះកែងនឹងទិសដៅនៃដែនម៉ាញេទិចនិងប្រភពផ្សាយឯកសណ្ឋានទៅគ្រប់ទិសដៅទាំងអស់ ។ (ចម្លើយ : $\varepsilon=\pi r^2\omega B_{\max}=0.0368\,\text{V}$)

២៥. (បន្ទប់ពិសោធន៍ឡាស៊ែរ)

ឡាស៊ែរ He-Ne តែងតែប្រើប្រាស់ដើម្បីបង្ហាញពីពិសោធន៍រូបវិទ្យាណាមួយ។ ឡាស៊ែរទាំងនេះបង្កើតពន្លឺមានជំហានរលក $633\,\text{nm}$ និងមានអានុភាព $0.500\,\text{W}$ រាយនៅលើបាច់ស៊ីឡាំងមានអង្កត់ផ្ចិត $1.00\,\text{nm}$ (តម្លៃនេះអាចប្រែប្រួល)។

(ក) តើអាំងតង់ស៊ីតេ*(intensity)* នៃបាច់ឡាស៊ែរនេះស្មើប៉ុន្មាន?

(ខ) តើតម្លៃអតិបរមានៃដែនអគ្គិសនីនិងដែនម៉ាញេទិចស្មើប៉ុន្មាន?

(គ) តើដង់ស៊ីតេថាមពលមធ្យមនៅក្នុងបាច់ពន្លឺឡាស៊ែរនេះស្មើប៉ុន្មាន?

រលកជញ្ជ្រុំអេឡិចត្រូម៉ាញេទិច

២៦. រលកជញ្ជ្រុំអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចនៅក្នុងរូបធាតុមួយមានប្រេកង់ $2.20\times10^{20}\,\text{Hz}$។ ប្លង់ថ្នាំងនៃ $\vec{B}$ មានចម្ងាយ $3.55\,\text{mm}$ ពីគ្នា។ ចូរកំណត់រកៈ

(ក) ជំហានរលកនៃរលកនៅក្នុងរូបធាតុនេះ។

(ខ) ចម្ងាយរវាងប្លង់ថ្នាំងនៃដែន $\vec{E}$ ពីដែលនៅជាប់គ្នា។

(គ) ល្បឿនដំណាលនៃរលក។

២៧. រលកជញ្ជ្រុំអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចនៅក្នុងខ្យល់មានប្រេកង់ $75.0\,\text{MHz}$ ។

(ក) តើចម្ងាយរវាងប្លង់ថ្នាំងនៃដែនអគ្គិសនី $\vec{E}$ ស្មើប៉ុន្មាន?

(ខ) តើចម្ងាយរវាងប្លង់ថ្នាំងនៃដែន$\vec{E}$និងប្លង់ថ្នាំងនៃដែន $\vec{B}$ ដែលជិតបំផុតស្មើប៉ុន្មាន?

លំហាត់បន្ថែម

២៨.ពិនិត្យមើលរលកអេឡិចត្រូម៉ាញេទិចស៊ីនុយសូអ៊ីតមានដែនមានសមីការដូចខាងក្រោម៖
$\vec{E} = E_{\max}\vec{j}\cos\left(kx - \omega t\right)$ និង $\vec{B} = B_{\max}\vec{k}\cos\left(kx - \omega t + \varphi\right)$ដែល $-\pi \le \phi \le \pi$ ។

បង្ហាញថាប្រសិនបើ $\vec{E}\&\vec{B}$ ផ្ទៀតផ្ទាត់សមីការ $\frac{\partial E_y(x,t)}{\partial x} = -\frac{\partial B_z(x,t)}{\partial t}$ (1)

និង $-\frac{\partial B_z(x,t)}{\partial x} = \epsilon_0\,\mu_0\frac{\partial E_y(x,t)}{\partial t}$ (2) នោះ $E_{\max} = cB_{\max}$ និង $\phi = 0$

($\phi = 0$ មានន័យថាដែន $\vec{E}\&\vec{B}$ យោលស្របផាសគ្នា)។

២៩.បង្ហាញថាដែនអគ្គិសនី និងដែនម៉ាញេទិចដែលមានសមីការរៀងគ្នាដូចខាងក្រោម៖

$E_y(x,t) = -2E_{\max}\sin kx\cos\omega t$ និង $B_z(x,t) = -2B_{\max}\cos kx\sin\omega t$ ផ្ទៀងផ្ទាត់សមីការ

$\frac{\partial^2 E_y(x,t)}{\partial x^2} = \epsilon_0\,\mu_0\frac{\partial^2 E_y(x,t)}{\partial t^2}$ ។ រួចហើយបង្ហាញថាសមីការពីរនេះផ្ទៀតផ្ទាត់សមីការ(1)និង(2)ក្នុងលំហាត់ទី២៨ ។