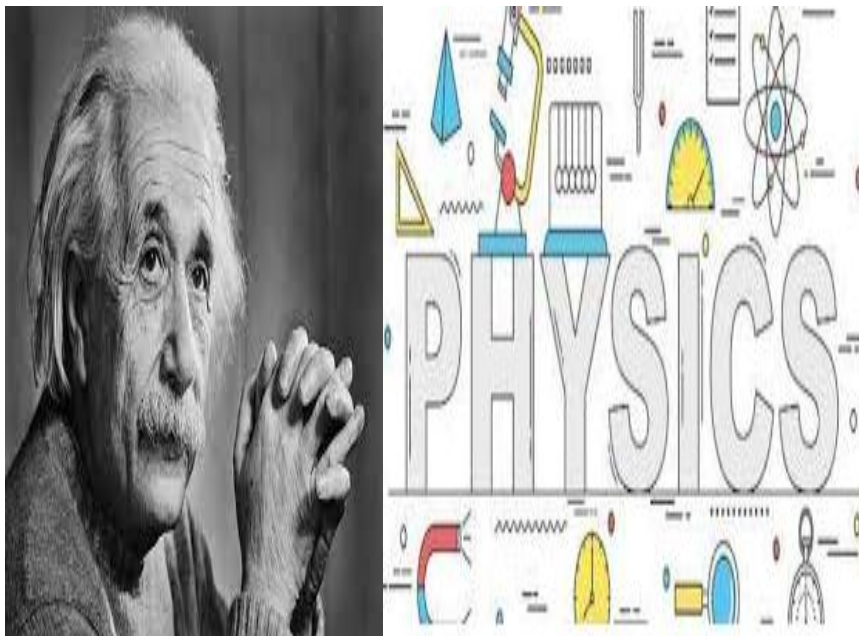


ໝວດວິຊາຄູ

សាមញ្ញឱង

ພິຊິກທົ່ວໄປ



ສິກຮຽນ2022

ຟີຊິກທົ່ວໄປ

(General physics)

ລະບົບ 12+4	ປີ 1	ພາກຮຽນທີ 1
------------	------	------------

ຮຽບຮຽງໂດຍ:

ຊອ ປທ ວໍລະດາ ຄຸດພະຈັນ

ຊອ ປັນຍາ ຈັນທະລັງສີ

ກວດແກ້ໂດຍ:

ປອ ສຸພັນ ເທບພະວົງສາ

ປທ ສຸກສະຫວັນ ອຸປະຊິດ

ສິກຮຽນ2022



ສາທາລະນະລັດ ປະຊາທິປະໄຕ ປະຊາຊົນລາວ

ສັນຕິພາບ ເອກະລາດ ປະຊາທິປະໄຕ ເອກະພາບ ວັດທະນະຖາວອນ

*****000*****



ວິທະຍາໄລຄູ ສາລະວັນ

ສະພາວິທະຍາສາດ

ເລກທີ.2.16.....ສພວສ

ເອກະສານຮັບຮອງ

ການອະນຸມັດຜ່ານ ຮັບຮອງຄື້ນຄ້ວາ,ຮຽບຮຽງປຶ້ມ

- ອີງຕາມ:ຂໍ້ຕົກລົງວ່າດ້ວຍການແຕ່ງຕັ້ງຄະນະຮັບຜິດຊອບການເຄື່ອນໄຫວກົດຈະກຳສະພາວິທະຍາສາດຂອງ
ວິທະຍາໄລຄູສາລະວັນປະຈຳສິກປີ 2022
ຈາກຜົນການກວດກາ,ກວດສອບດ້ານນີ້ໃນ,ຫຼັກການບັນດາອະນຸກຳມະການເຫັນວ່າການຄື້ນຄ້ວາ,ຮຽບຮຽງ
ປຶ້ມມີຄວາມຖືກຕ້ອງຕາມເນື້ອໃນຫົວຂໍ້ກຳນົດຂອງສະພາວິທະຍາສາດ ແລະ ສະພາວິທະຍາສາດໄດ້ຮັບຮອງ
ເອົາປຶ້ມເຫຼົ່ານີ້ເປັນສ່ວນໜຶ່ງນຳເຂົ້າໃນຂະບວນການຮຽນ-ການສອນໃນວິທະຍາໄລຄູສາລະວັນ

ຄະນະກຳມະການກວດສອບ	ລາຍເຊັນ
1. ທ່ານ ປທ ລາຫຸນ ເພັດສິມພອນ	
2. ທ່ານ ອຈ ປອ ນາງ ສຸລິພອນ ສິວິໄຊ	
3. ທ່ານ ປທ ອຸດຕະມະ ແສງອາລຸນ	

ທີ່ສາລະວັນ,ວັນທີ..... 28 DEC 2022

ປະທານສະພາວິທະຍາສາດ

ອົຈ. ນ. ສົມບອງ ແສນທະວິສາ
Sompong SONTANA



ສາທາລະນະລັດ ປະຊາທິປະໄຕ ປະຊາຊົນລາວ

ສັນຕິພາບ ເອກະລາດ ປະຊາທິປະໄຕ ເອກະພາບ ວັດທະນະຖາວອນ

*****000*****



ວິທະຍາໄລຄູ ສາລະວັນ

ພາກວິຊາເຄມີ

ເລກທີ...໑໒... ພມ

ເອກະສານຮັບຮອງການຮຽບຮຽງປຶ້ມ

ລ/ດ	ຊື່ຫົວຂໍ້	ພາກວິຊາ	ຜູ້ຄົ້ນຄວ້າ, ຮຽບຮຽງປຶ້ມ	ຊື່ຜູ້ກວດແກ້
1	ຮຽບຮຽງປຶ້ມແບບຮຽນ ພິຊິກສາດທົ່ວໄປ	ເຄມີ	1. ທ່ານ ຊອ ປທ ວິລະດາ ຄຸດພະຈັນ 2. ທ່ານ ຊອ ປັນຍາ ຈັນທະລັງສີ	1. ທ່ານ ປອ ສຸພັນ ເທບພະວົງສາ 2. ທ່ານ ປທ ສຸກສະຫວັນ ອຸປຊິດ

ຄະນະກຳມະການກວດແກ້	ລາຍເຊັນ
1. ທ່ານ ປອ ສຸພັນ ເທບພະວົງສາ	
2. ທ່ານ ປທ ສຸກສະຫວັນ ອຸປຊິດ	

ທີ່ສາລະວັນ, ວັນທີ... 17 MAY 2022

ຫົວໜ້າພາກວິຊາເຄມີ

ລາທູນ ເພັດສົມພອນ

Laheun PHETSOMPHONE

ຄຳນຳ

ຂ້າພະເຈົ້າເຊື່ອວ່າເອກະສານສະບັບນີ້ແມ່ນເອກະສານວິທະຍາສາດສະບັບໜຶ່ງທີ່ໜ້າສົນໃຈ ແລະ ປະໂຫຍດສຳລັບການສຶກສາ ເວົ້າລວມ ແລະ ສະຖາບັນການສຶກສາວິຊາຊີບຄູ ແລະ ແໜ່ງການອື່ນ ເວົ້າສະເພາະມັນມີຄວາມສຳຄັນເປັນຢ່າງຍິ່ງໃຫ້ແກ່ຜູ້ທີ່ເຮັດວຽກການສຶກສາໂດຍສະເພາະແມ່ນຜູ້ທີ່ເປັນຄູ, ຂ້າພະເຈົ້າໄດ້ໄດ້ພະຍາຍາມຈັດຫາເນື້ອໃນສຳຄັນກ່ຽວກັບຄວາມເປັນຄູ.

ເພື່ອປະຕິບັດຕາມຫຼັກສູດ ມ1 ຫາ ມ7 ເພື່ອຕອບສະໜອງກັບການປະກອບການສອນຂອງຄູຟີຊິກສາດ ແລະ ນັກສຶກສາ. ຈຶ່ງໄດ້ຮຽບຮຽງວິຊາຟີຊິກສາດທົ່ວໄປເຫຼົ່ານີ້ຂຶ້ນເນື້ອໃນຂອງປຶ້ມເຫຼົ່ານີ້ປະກອບດ້ວຍຄວາມຮູ້ພື້ນຖານກ່ຽວກັບ, ເວັກເຕີ ແລະ ການເຄື່ອນທີ່, ແຮງ ແລະ ກົດເກນຂອງການເຄື່ອນທີ່, ແຮງງານ ແລະ ພະລັງງານ, ກົນລະສາດທາດໄຫຼດື່ນ, ຄວາມຮ້ອນ ແລະ ອຸນຫະພູມ, ໄຟຟ້າສະຖິດ ແລະ ໄຟຟ້າກະແສໃນການຮຽບຮຽງໃນຄັ້ງນີ້ພວກເຮົາຕາມເອກະສານອ້າງອີງຕາມຫຼັກສູດ ແລະ ວິຊາຟີຊິກສາດ 2 -4 ມະຫາວິທະຍາໄລແຫ່ງຊາດວຽງຈັນປີ2002 ແລະ ແບບຮຽນ ຟີຊິກສາດ ຊັ້ນມັດທະຍົມປີທີ 5 ປີທີ 7 ສະຖາບັນຄົ້ນຄວ້າວິທະຍາສາດການສຶກສາແຫ່ງຊາດ 2006. ແຕ່ອາດມີຂໍ້ບົກພ່ອງຢູ່. ດັ່ງນັ້ນພວກຂ້າພະເຈົ້າຈະຖືເປັນພະຄຸນຢ່າສູງ ຖ້າທ່ານຜູ້ອ່ານໃຫ້ຄວາມກະລຸນາສົງຂ່າວມາຍັງພວກຂ້າພະເຈົ້າເພື່ອປັບປຸງປຶ້ມປະກອບການສອນໃຫ້ດີຂຶ້ນ.

ຊອ ປທ ວໍລະດາ ຄຸດພະຈັນ
ຊອ ປັນຍາ ຈັນທະລັງສີ

ສິກຮຽນ 2022

ສາລະບານ

ບົດທີ 1.....	1
ເວັກເຕີແລະການເຄື່ອນທີ່	1
1.1 ຄຸນສົມບັດຂອງຂະໜາດເວັກເຕີ.....	3
1.1.1 ການເທົ່າກັນຂອງເວັກເຕີ.....	3
1.1.2 ການລວມເວັກເຕີ.....	3
1.1.4 ເວັກເຕີໜຶ່ງໜ່ວຍ.....	7
1.1.5 ອົງປະກອບຂອງເວັກເຕີ.....	8
1.1.6 ຜົນຄູນສະກາແລແລະຜົນຄູນເວັກເຕີ.....	11
1.1.7 ເວັກເຕີບອກຕຳແໜ່ງການກະຈັດຄວາມໄວແລະຄວາມແຮງໃນ 1 ມິຕິ.....	14
1.1.8 ເວັກເຕີບອກຕຳແໜ່ງການກະຈັດຄວາມໄວແລະຄວາມເລັ່ງໃນ 2 ມິ.....	17
1.1.9 ເວັກເຕີບອກຕຳແໜ່ງການເຄື່ອນທີ່ຂອງຄວາມໄວແລະຄວາມແຮງໃນສາມມິຕິ.....	18
2. ໜ່ວຍເອສໄອແລະການແປງຫົວໜ່ວຍ	20
1. ເລກໝາຍສຳຄັນແລະຄວາມບໍ່ແນ່ນອນຂອງຜົນໄດ້ຮັບ.....	22
ບົດທີ 2.....	26
ແຮງແລະກົດເກນການເຄື່ອນທີ່.....	26
1. ມວນສານແລະແຮງ.....	26
2. ແຮງກິລິຍາ ແຮງປະຕິກິລິຍາ ແລະແຮງຕຶງເຊືອກ.....	27
3. ນ້ຳໜັກ.....	28
4. ແຮງຮຸກຮຸນ.....	28
5. ກົດການເຄື່ອນທີ່ຂັ້ນທີ 1 ຂອງນິວເຕິນ.....	30
ບົດທີ 3.....	33
ງານ ແລະ ພະລັງງານ.....	33
1. ງານ(work).....	33
2. ງານເນື່ອງຈາກແຮງບໍ່ຄົງທີ່.....	36

3. ພະລັງງານຈົນ	38
4 ພະລັງງານສັກ.....	39
5.ກົດເກນຮັກສາພະລັງງານ	44
6 . ກຳລັງ.....	47
ບົດທີ 4	50
ໂມເມນຕຳ ແລະ ການປະທະ.....	50
1. ໂມເມນຕາ.....	50
2. ການດົລຂອງແຮງ.....	51
3 ການຮັກສາໂມເມນຕຳ.....	55
4. ການຕຳກັນແບບ 1 ມີຕີ.....	56
5. ການຕຳກັນແບບບໍ່ຫົດຢຶດ (inelastic collision).....	57
6. ການຕຳກັນແບບ 2 ມີຕີ.....	61
7.ການຕຳກັນແບບຢຶດຫົດ	61
8. ກົດໄກນການເຄື່ອນທີ່ຂັ້ນ 1 ຂອງນິວເຕິນ	67
9. ກົດເກນໂນ້ມຖວ່ງຂອງນິວເຕິນ	78
ບົດທີ 5	84
ກົນລະສາດທາດໄຫຼ	84
1. ຄວາມດັນໃນຂອງແຫຼວ	84
2. ກົດຂອງປັດສະການ.....	88
3. ຜົນບັງຄັບໃຊ້ ແລະ ຫຼັກການອັກຊີແມັດ.....	89
4. ສົມຜົນແບັກໂນລີ.....	89
ບົດທີ 6	92
ຄື້ນ	92
1.ກົດເກນຂອງຮຸກ.....	92
2.ພະລັງງານຂອງການເຄື່ອນທີ່	96

1.ລູກໄກວ.....	97
ບົດທີ 7.....	99
ຄວາມຮ້ອນ ແລະ ອຸນຫະພູມ.....	99
1.ອຸນຫະພູມ.....	99
2. ການເກີດຄວາມຮ້ອນ.....	102
3.ການພາຄວາມຮ້ອນບໍ່ເສລີ.....	108
4.ຄວາມຮ້ອນ.....	111
5.ການສົ່ງຄວາມຮ້ອນ.....	112
6.ການຂະຫຍາຍຂອງວັດຖຸຍ້ອນຄວາມຮ້ອນ.....	113
7.ປະລິມານຄວາມຮ້ອນແຝງ.....	116
8.ສົມດູນຄວາມຮ້ອນ.....	116
9.ການຖ່າຍໂອນຄວາມຮ້ອນ.....	117
10. Conduction Heat transfer.....	117
ບົດທີ 8.....	121
ໄຟຟ້າສະຖິດ ແລະ ໄຟຟ້າກະແສ.....	121
1. ຄວາມແຮງໄຟຟ້າ ແລະ ກົດເກນກູລົງ.....	121
1.1 ກົດເກນກູລົງ.....	122
2. ທົ່ງໄຟຟ້າ.....	127
3 .ກົດເກນຂອງ ເກົາສ (Gauss's law)	131
4. ເສັ້ນຄວາມແຮງ ແລະ ຄວາມໄຫຼໄຟຟ້າ.....	134
5. ແຮງງານ ຂອງລະບົບເມັດໄຟຟ້າບັນຈຸ.....	135
6. ລະດັບໄຟຟ້າ (electric potential)	137
7.ການພົວພັນລະຫວ່າງລະດັບໄຟຟ້າ ແລະ ຄວາມເຂັ້ມທົ່ງໄຟຟ້າ.....	138

8. ລະດັບໄຟຟ້າທີ່ເກີດຈາກຄູ່ຂວັນໄຟຟ້າ (dipole electric).....	139
9. ການນຳໃຊ້ໄຟຟ້າສະຖິດ.....	144
1. ເຄື່ອງກັ່ນກອງອາກາດໄຟຟ້າສະຖິດ.	144
2. ເຄື່ອງຖ່າຍເອກກະສານ	144
ເອກະສານອ້າງອີງ.....	150

ບົດທີ 1 ເວັກເຕີແລະການເຄື່ອນທີ່

ເວລາ 9 ຊົ່ວໂມງ

ຈຸດປະສົງ: ໃຫ້ນັກສຶກສາສາມາດ

- ບອກທິດ ແລະການເຄື່ອນທີ່ຂອງເວັກເຕີໄດ້
- ບອກການລວມເວັກເຕີໄດ້
- ບອກອົງປະກອບຂອງເວັກເຕີໄດ້
- ນຳໃຊ້ຫຼັກການເຂົ້າໃນການຄິດໄລ່ໄດ້
- ນຳໃຊ້ຄວາມຮູ້ເພື່ອຄິດໄລ່ເວັກເຕີໄດ້
- ນຳເອົາຄວາມຮູ້ໄປປະຕິບັດໃນຊີວິດປະຈຳວັນໄດ້
- ບອກຕຳແໜ່ງຄວາມແຮງກັບການເຄື່ອນທີ່ໃນສາມມິຕິໄດ້
- ນຳໃຊ້ສູດໄປຄິດໄລ່ໃນການແກ້ບົດເລກໄດ້

ກິດຈະກຳ ແລະ ວິທີສອນ

- ການສອນແບບບັນຍາຍ ແລະ ອະທິບາຍ
- ການອນແບບຖາມ - ຕອບ
- ການເຮັດວຽກກຸ່ມ ແລະ ລາຍງານ

ສື່ການສອນ

- ເອກະສານປະກອບການບັນຍາຍ
- ເອກະສານປະກອບການສອນ

ການວັດ ແລະ ປະເມີນຜົນ

- ການມີສ່ວນຮ່ວມຂອງນັກຮຽນໃນເວລາປະຕິບັດກິດຈະກຳ
- ສັງເກດການຕອບຄຳຖາມຂອງນັກຮຽນ
- ສັງເກດການລາຍງານກຸ່ມຂອງນັກຮຽນ

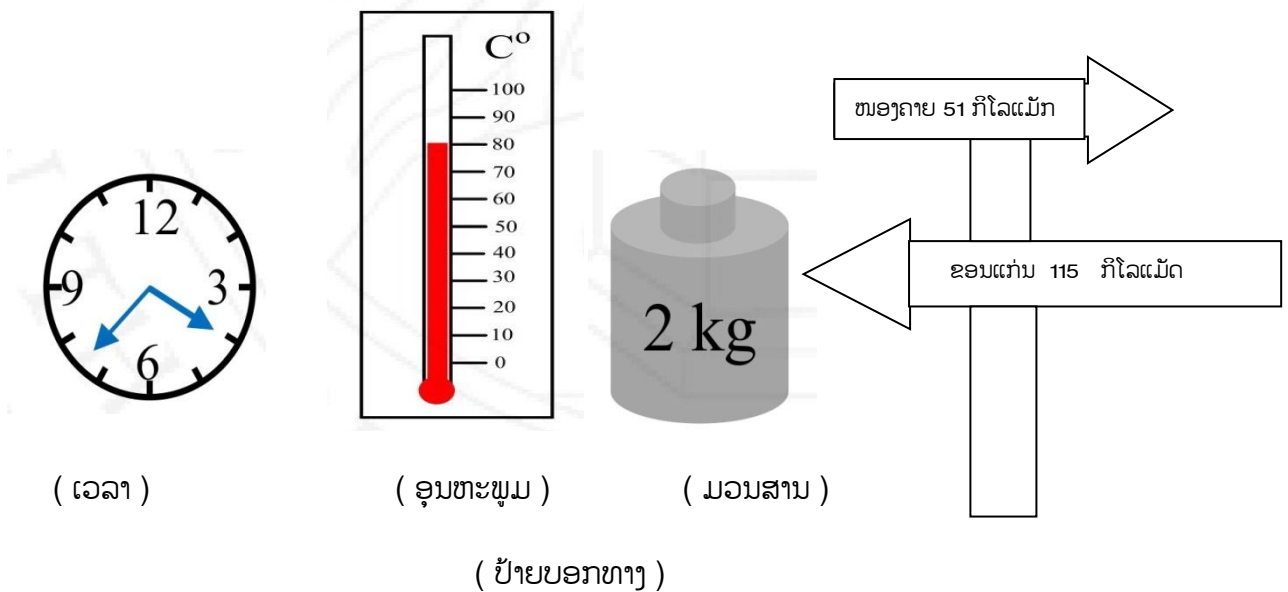
1. ເວັກເຕີແລະການເຄື່ອນທີ່

ໃນຊີວິດປະຈຳວັນມັກຈະພົບປະລິມານຕ່າງໆຫຼາຍໆຢ່າງເຊັ່ນ: ຂະໜາດ ຫຼື ຈຳນວນຂອງວັດຖຸໄລ ຍະຫ່າງລະ

ຫ່ວາງວັດຖຸ ຫຼື ສະຖານທີ່ຕຳແໜ່ງຫຼືທິດທາງຂອງວັດຖຸ ຫຼື ສະຖານທີ່ຄວາມໄວໃນການແລ່ນ, ຂັບລົດ, ອຸນຫະພູມຂອງນ້ຳຮ້ອນ, ຄວາມສະຫ່ວງຂອງດອກໄຟເປັນຕົ້ນເຊິ່ງໃຊ້ຕາມຄວາມລັງເຄີຍບໍ່ມີການແຍກປະລິມານເຫຼົ່ານັ້ນອອກເປັນສ່ວນໆຢ່າງຊັດເຈນແຕ່ໃນການສຶກສາທາງຟີຊິກໄດ້ຈຳແນກປະລິມານເຫຼົ່ານັ້ນເປັນ 2 ຊະນິດຄື: ປະລິມານເກລາຣ໌ (scalar quantity) ແລະປະລິມານເວັກເຕີ (Vector quantity) ເຊິ່ງໃຫ້ຄວາມສຳຄັນກັບຂະໜາດ ແລະຕຳແໜ່ງຂອງປະລິມານຕ່າງໆເຫຼົ່ານັ້ນຢ່າງຊັດເຈນ.

ປະລິມານສເກລາຣ໌ຄືປະລິມານທີ່ບອກພຽງຂະໜາດ (Magnitude) ຢ່າງດຽວກໍສາມາດເຂົ້າໃຈໄດ້ເຊັ່ນ: ມວນສານ, ບໍລິມາດ, ຄວາມຍາວ, ໄລຍະທາງ, ອຸນຫະພູມ, ພະລັງງານ, ຄວາມດັນ, ຄວາມໜາແໜ້ນເປັນຕົ້ນ. ຕົວຢ່າງ ມວນສານ 2 ກິໂລກຣາມອຸນຫະພູມບິນເທຣໂມມິຕີ 80 ອົງສາເຊວຊຽມຕາມຮູບ 1.1

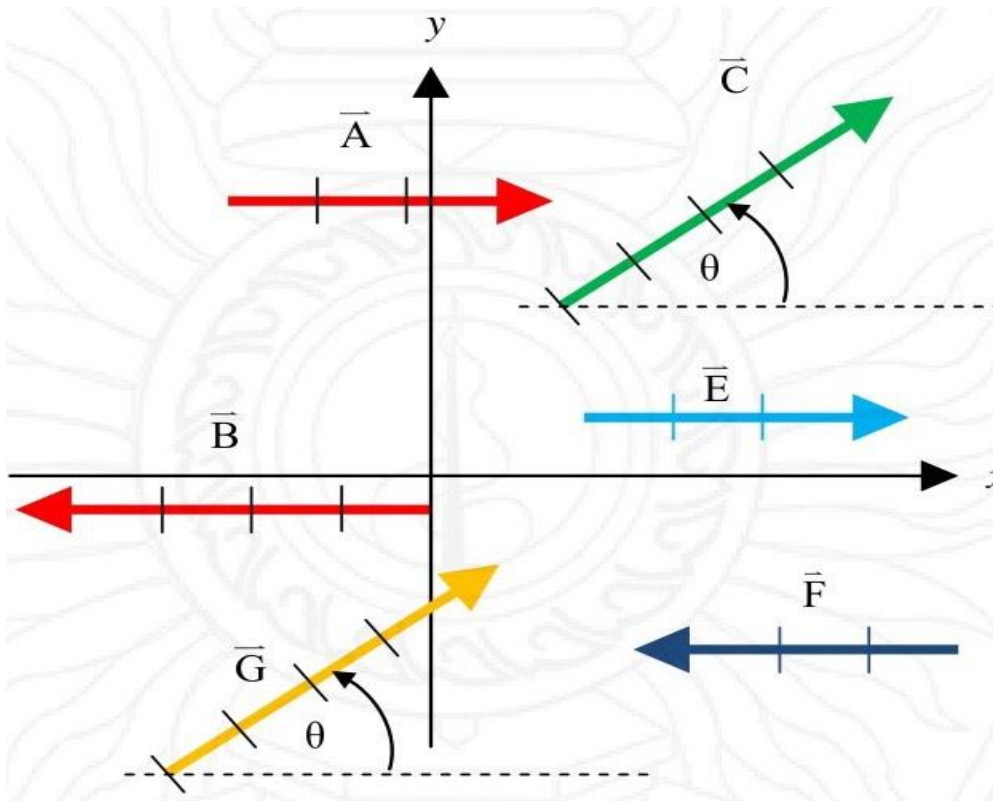
ປະລິມານເວັກເຕີຄືປະລິມານທີ່ຕ້ອງການບອກທັງຂະໜາດແລະທິດທາງ (Direction) ຈຶ່ງຈະສາມາດເຂົ້າໃຈໄດ້ຢ່າງຊັດເຈນເຊັ່ນ: ການກະຈາຍຄວາມໄວ, ຄວາມເລັ່ງ, ແຮງນໍ້າໜັກ, ໂມເມັນຕໍາ, ສະໜາມໄຟຟ້າ, ສະແມ່ເຫຼັກເປັນຕົ້ນ. ຕົວຢ່າງເຊັ່ນ: ປ້າຍບອກທາງທ່ອງທ່ຽວໃຫ້ໄປທາງຂວາມີອີກ 51 ກິໂລແມັດເຖິງໜອງຄາຍຕາມຮູບ.



ຮູບທີ 1.1 ສະແດງປະລິມານສເກລາຣ໌

ຮູບ 1.2 ສະແດງປະລິມານເວັກເຕີ

ໃນທາງຟີຊິກແລະຄະນິດສາດຈະໃຊ້ຕົວອັກສອນຄືກູນຕົວອັກສອນພາສາອັງກິດໃຊ້ແທນປະລິມານສະກາແລແລະປະລິມານເວັກເຕີເຊັ່ນ: ໃຊ້ຕົວອັກສອນ A B ຫຼື C ແມ່ນປະລິມານສະກາແລແລະໃຊ້ໂດຍມີລູກສອນກຳກັບຂ້າງເທິງຕົວອັກສອນ $\vec{A}$ $\vec{B}$ ຫຼື $\vec{C}$ ຫຼືໃຊ້ຕົວອັກສອນຕົວໜ້າ A B ຫຼື C ແທນປະລິມານເວັກເຕີເປັນຕົ້ນ. ນອກຈາກນີ້ປະລິມານເວັກເຕີຍັງສາມາດໃຊ້ເສັ້ນຊື່ຍາວມີຫົວລູກສອນຢູ່ປາຍຂ້າງໃດຂ້າງໜຶ່ງໂດຍຄວາມຍາວຂອງເສັ້ນແທນຂະໜາດແລະໃຫ້ຫົວລູກສອນແທນທິດທາງແລະມີມືຈຸດເລີ່ມຕົ້ນເປັນຂ້າງທີ່ບໍ່ມີຫົວລູກສອນແລະຈຸດສິ້ນສຸດຢູ່ຂ້າງທີ່ມີຫົວລູກສອນເຊັ່ນ : ເວັກເຕີ $\vec{A}$ ມີຂະໜາດ 3 ໜ່ວຍຊື້ໄປທາງທິດທາງເບື້ອງຂວາມີສ່ວນເວັກເຕີ $\vec{B}$ ມີຂະໜາດ 4 ໜ່ວຍຊື້ໄປທາງທິດທາງເບື້ອງຊ້າຍມີ ໃນຂະນະທີ່ເວັກເຕີ $\vec{C}$ ມີຂະໜາດ 4 ໜ່ວຍຊື້ໄປໃນທິດທາງເບື້ອງຂວາມີເປັນມຸມ θ ກັບແນວແກນ X ເປັນຕົ້ນ .ສະແດງດັ່ງຮູບ.1.3



ຮູບທີ 1.3 ສະແດງແຜນພາບທາງເລຂາຄະນິດຂອງເວັກເຕີໃນແບບຕ່າງໆ

1.1 ຄຸນສົມບັດຂອງຂະໜາດເວັກເຕີ

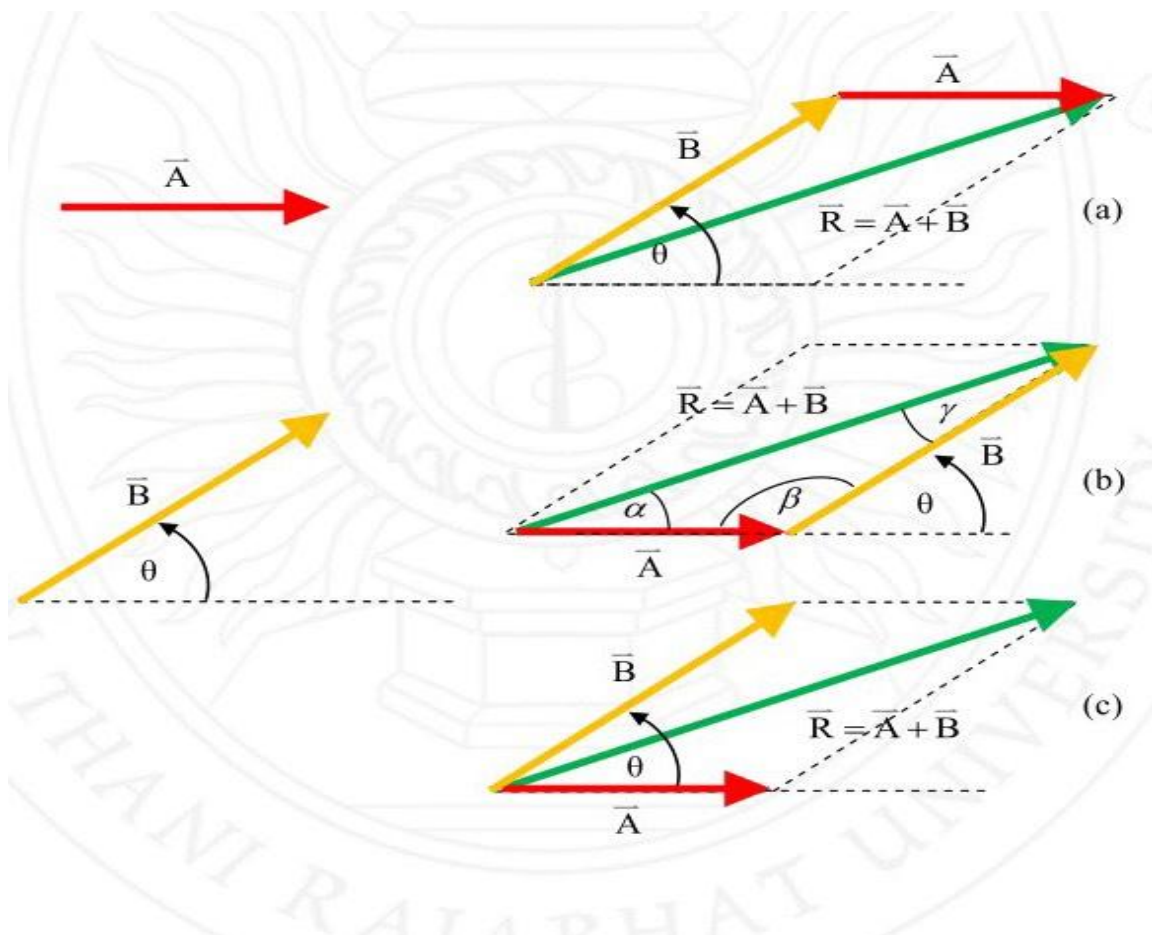
1.1.1 ການເທົ່າກັນຂອງເວັກເຕີ

ເວັກເຕີ 2 ເວັກເຕີຈະເທົ່າກັນຈະຕ້ອງມີຂະໜາດເທົ່າກັນແລະທິດທາງດຽວກັນຈາກຮູບທີ 1.3 ຈະເຫັນວ່າເວັກເຕີແຕ່ລະເວັກເຕີບໍ່ໄດ້ຢູ່ໃນຕໍາແໜ່ງດຽວກັນເທິງແຜນແຕ່ເຮົາສາມາດເລື່ອນເວັກເຕີເຫຼົ່ານັ້ນມາທຽບກັນໄດ້ເຊິ່ງຈະພົບວ່າ ເວັກເຕີ $\vec{A}$ ແລະ $\vec{E}$ ມີຂະໜາດດຽວກັນແລະຊື່ໄປໃນທິດທາງດຽວກັນແລະຊື່ໄປໃນທິດທາງດຽວກັນສາມາດຂຽນແທນດ້ວຍ $\vec{A} = \vec{E}$ (ເຊິ່ງຂຽນແທນດ້ວຍເວັກເຕີ $\vec{C}$ ແລະ $\vec{G}$) ສ່ວນເວັກເຕີ $\vec{A}$ ແລະ $\vec{F}$ ມີ ຂະໜາດເທົ່າກັນ ແຕ່ຊື່ໄປທິດທາງກົງກັນຂ້າມນັ້ນຄື $\vec{A} = -\vec{F}$ ໃນຂະນະທີ່ເວັກເຕີ $\vec{B}$ ແລະ $\vec{F}$ ຂຶ້ນໄປໃນທິດທາງດຽວກັນແຕ່ມີຂະໜາດບໍ່ເທົ່າກັນເຊິ່ງສາມາດຂຽນແທນດ້ວຍ $\vec{A} \neq \vec{F}$

1.1.2 ການລວມເວັກເຕີ

ເວັກເຕີ 2 ເວັກເຕີຫຼືຫຼາຍກ່ວາສາມາດຂຽນໄດ້ໂດຍວິທີການຂຽນແຜນພາບທາງເລຂາຄະນິດເຊິ່ງສາມາດເຮັດໄດ້ສອງວິທີຄື :

ວິທີທີ 1 : ນຳຈຸດເລີ່ມຕົ້ນເວັກເຕີສອງໄປຕໍ່ກັບຈຸດຊື່ນສຸດຂອງເວັກເຕີທຳອິດເຊັ່ນ : ເວັກເຕີ $\vec{A}$ ແລະ $\vec{B}$ ສາມາດລວມກັນໂດຍນຳຈຸດເລີ່ມຕົ້ນຂອງເວັກເຕີ $\vec{B}$ ຕໍ່ກັບຈຸດຊື່ນສຸດຂອງເວັກເຕີ $\vec{A}$ ໄປຍັງຈຸດຊື່ນສຸດຂອງ $\vec{B}$ ດັ່ງຮູບ 1.4 (a) ເຊິ່ງທັງສອງເວັກເຕີສາມາດສະຫຼັບກັນໄດ້ແລະຈາກຄຸນສົມບັດທີ່ສະຫຼັບກັນໄດ້ຂອງການບວກເວັກເຕີເຮັດໃຫ້ໄດ້ $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} = \vec{A} + \vec{B}$ ດັ່ງຮູບທີ 1.4(b)



ຮູບທີ 1.4 ສະແດງການລວມກັນຂອງເວັກເຕີໂດຍໃຊ້ວິທີການຂຽນແຜນພາບທາງເລຂາຄະນິດ

ວິທີທີ 2 : ສາມາດລວມກັນໄດ້ໂດຍນຳຈຸດເລີ່ມຕົ້ນຂອງເວັກເຕີ $\vec{A}$ ແລະ $\vec{B}$ ຕໍ່ກັບຈຸດຊື່ນສຸດຂອງເວັກເຕີ $\vec{A}$ ການສ້າງຮູບສີ່ຫຼ່ຽມຂ້າງຂະໜານດັ່ງຮູບທີ 1.4 (c) ຈາກເວັກເຕີ $\vec{A}$ ສາມາດຄານວນຫາຂະໜາດຂອງ R ໄດ້ຈາກ.

$$R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta}$$

ເມື່ອ R ຄືຂະໜາດຂອງ R

A ຄືຂະໜາດຂອງ $\vec{A}$

B ຄືຂະໜາດຂອງ $\vec{B}$

θ ຄືມຸມລະຫ່ວາງ $\vec{A}$ ແລະ $\vec{B}$

ນອກຈາກນີ້ຍັງສາຄຳນວນຫາມຸມເວັກເຕີ $\vec{R}$ ທີ່ຢູ່ຮ່ວມກັບເວັກເຕີ $\vec{A}$ ແລະ $\vec{B}$ ໂດຍການໃຊ້ໂກຊິນ (cosin law)

ດັ່ງຮູບທີ 1.4(ຂ)ຄື :

$$\frac{R}{\sin \beta} = \frac{A}{\sin \gamma} = \frac{B}{\sin \alpha}$$

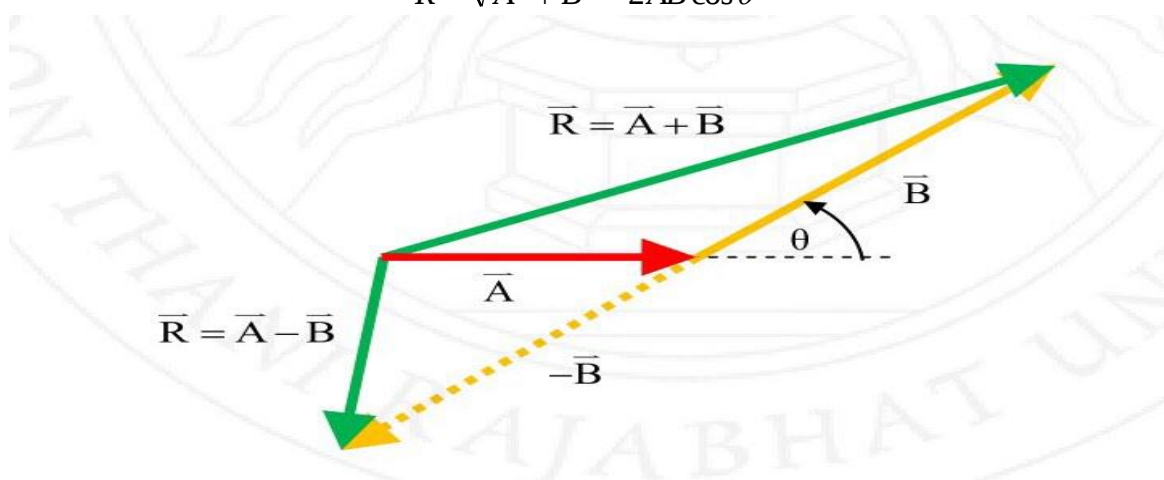
1.1.3 ການລົບເວັກເຕີ

ສາມາດເຮັດໄດ້ເຊັ່ນດຽວກັນກັບການບວກເວັກເຕີໂດຍໃຊ້ຫຼັກການບວກເວັກເຕີທຳອິດເວັກເຕີລົບອີກເວັກເຕີໜຶ່ງ (ທິດກົງກັນຂ້າມ) ດັ່ງສົມຜົນແລະຮູບທີ 1.5

$$\vec{A} + (-\vec{B}) = \vec{A} - \vec{B} \quad (1.3)$$

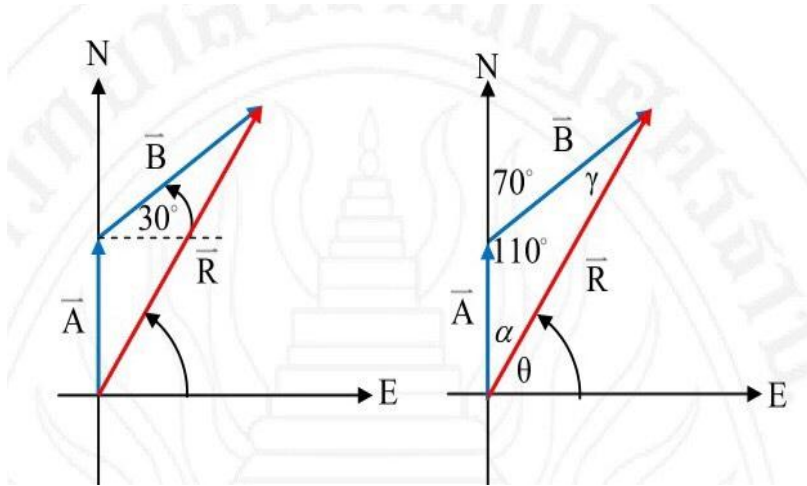
ສາມາດຄຳນວນຫາຂະໜາດແລະທິດທາງຂອງເວັກເຕີໄດ້ເຊັ່ນດຽວກັບການບວກເວັກເຕີຄື :

$$R = \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \cos \theta}$$



ຮູບທີ 1.5 ສະແດງການບວກລົບເວັກເຕີ

ຕົວຢ່າງ: 1.1 ທ້າວຕູນແລ່ນໄປທາງທິດເໜືອໄປໄດ້ໄລຍະການກະຈັດ 10 ກິໂລແມັດແລ້ວແລ່ນໄປທາງທິດຕາເວັນອອກສຽງເໜືອ ເປັນມຸມ 30 ອົງສາກັບທາງຕາເວັນອອກດ້ວຍໄລຍະການກະຈັດ 15 ກິໂລແມັດຈຶ່ງຊອກຫາຂະໜາດຂອງການກະຈັດແລະທິດທາງກັບການກະຈັດເປັນມຸມທາງຕາເວັນອອກ



1.6 ສະແດງທິດທາງການແລ່ນໂດຍໃຊ້ເວັກເຕີ

ວິທີແກ້: ກຳນົດໃຫ້ $\vec{A} = 10$ ກິໂລແມັດ

$$\vec{B} = 15 \text{ ກິໂລແມັດ}$$

$$\theta = 70 \text{ ອົງສາ}$$

$$\begin{aligned} \text{ຈາກ } R &= \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta} \\ &= \sqrt{(10)^2 + (15)^2 + 2(10)(15) \cos 70} \\ &= \sqrt{100 + 225 + 2(10)(15) \cos 70} \end{aligned}$$

$$R = 20.67 \text{ ກິໂລແມັດ}$$

$$\text{ແລະ } \frac{R}{\sin \beta} = \frac{B}{\sin \alpha}$$

$$\frac{0.02067}{\sin 110} = \frac{0.015}{\sin \alpha}$$

$$\sin \alpha = 0.684$$

$$\alpha = 43.15 \text{ ອົງສາ}$$

$$\theta = \alpha - 90 = 46.85 \text{ ອົງສາ}$$

ດັ່ງນັ້ນການກະຈັດໃນການແລ່ນຂອງທ້າວຕູນມີຂະໜາດເທົ່າກັບ 20.67 ກິໂລແມັດແລະມີທິດເປັນມຸມກັບທິດຕາເວັນອອກເທົ່າກັບ 46.85 ອົງສາ

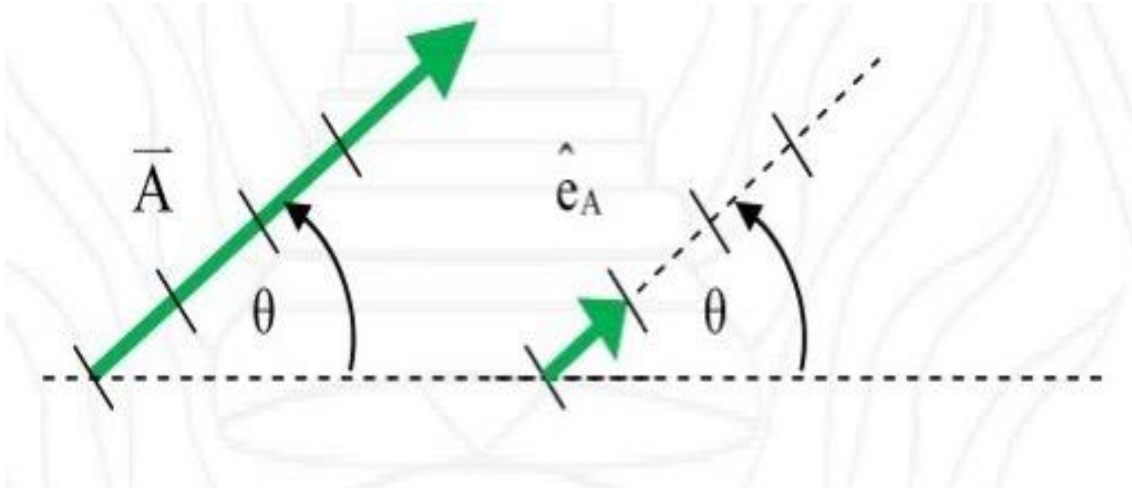
1.1.4 ເວັກເຕີໜຶ່ງໜ່ວຍ

ເວັກເຕີໜຶ່ງໜ່ວຍ (Unit vector) ຄືເວັກເຕີທີ່ມີຂະໜາດໜຶ່ງໜ່ວຍແລະມີທິດທາງດຽວກັບເວັກເຕີເຊັ່ນ:

ເວັກເຕີ $\vec{A}$ ມີຂະໜາດຂອງ A ໜ່ວຍມີທິດທາງເປັນມຸມກັບແນວລະດັບ θ ດັ່ງນັ້ນເວັກເຕີໜຶ່ງໜ່ວຍ $\vec{A}$ ໃຊ້ສັນຍາ

ລັກ $\hat{e}_A$ ດັ່ງຮູບ 1.7 ສາດໄດ້ຈາກເວັກເຕີ $\vec{A}$ ຫາດ້ວຍຂະໜາດຂອງເວັກເຕີ A ຂຽນໄດ້ເປັນ.

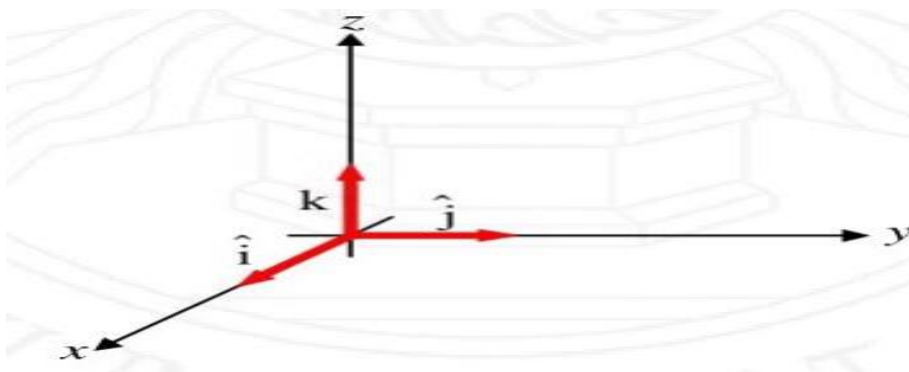
$$\hat{e}_A = \frac{\vec{A}}{A}$$



ຮູບ 1.7 ສະແດງເວັກເຕີໜຶ່ງໜ່ວຍເວັກເຕີ A

ນອກຈາກການກຳນົດທິດທາງເວັກເຕີໜຶ່ງໜ່ວຍ (Unit vector) ສາມາດກຳນົດຕາມແນວແກນໃນລະບົບ ແກນຕັ້ງສາກສາມາດຂຽນບວກເວັກເຕີໜຶ່ງໜ່ວຍຕາມທິດທາງແນວແກນນອນ x , y ແລະ z ໃນທິດທາງບວກ

ໂດຍໃຊ້ລັກສະນະ $\hat{i}$, $\hat{j}$ ແລະ $\hat{k}$ ດັ່ງຮູບ 1.8



ຮູບທີ 6.8 ສະແດງເວັກເຕີໜຶ່ງໜ່ວຍຕາມແນວແກນໃນລະບົບຕັ້ງສາກ

1.1.5 ອົງປະກອບຂອງເວັກເຕີ

ນອກຈາກການລວມກັນຂອງເວັກເຕີໂດຍອາໃສແຜນພາບທາງເລຂາຄະນິດເຮົາຍັງສາມາດລວມຂອງເວັກເຕີໂດຍການແຍກອົງປະກອບຂອງເວັກເຕີ (component of vector) ຕາມແນວແກນໃນລະບົບຕັ້ງສາກດັ່ງຮູບທີ 1.9 ຈະເຫັນວ່າ $\vec{A}$ ເປັນເວັກເຕີເຊິ່ງເກີດຈາກຜົນບວກຂອງເວັກເຕີຍ່ອຍໃນລະບົບຕັ້ງສາກ 2 ມິຕິ $\vec{A}_x$ ແລະ $\vec{A}_y$ ຫຼືອາດກ່າວໄດ້ວ່າເວັກເຕີ $\vec{A}$ ສາມາດຂຽນຜົນບວກຂອງເວັກເຕີຍ່ອຍໃນລະບົບຕັ້ງສາກໃດໆ (2 ມິຕິ) ຈະໄດ້ວ່າ .

$$\begin{aligned}\vec{A} &= (A_x, A_y) \\ \vec{A} &= \vec{A}_x + \vec{A}_y \quad (1.6) \\ \vec{A} &= A_x \hat{i} + A_y \hat{j}\end{aligned}$$

ໂດຍທີ່ A_x ແລະ A_y ເປັນຂະໜາດ $\vec{A}$ ແລະ $\vec{A}_y$ ໂດຍອາໃສຫຼັກຕຣິໂກໝມີຕິໄດ້ວ່າ $A_x = \cos \theta$

ແລະ $A_y = \sin \theta$ ສ່ວນ $\hat{i}$ ແລະ $\hat{j}$ ເປັນເວັກເຕີໜຶ່ງໜ່ວຍໃນທິດຊື່ແກນ X ແລະ Y ຕາມລຳດັບສາມາດຂຽນຮາກຂັ້ນສອງໄດ້ເປັນ

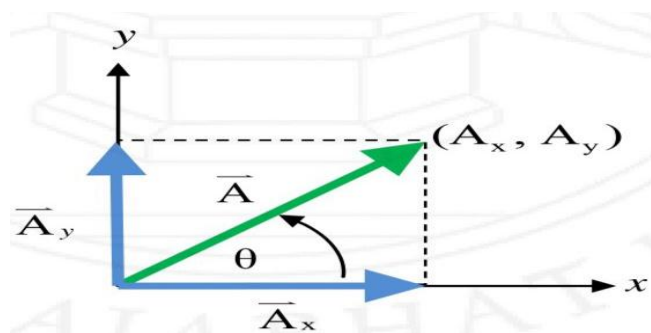
$$\vec{A} = \cos \theta \hat{i} + \sin \theta \hat{j} \quad (1.8)$$

ແລະສາມາດຫາຂະໜາດຂອງເວັກເຕີ $\vec{A}$ ໂດຍອາໃສຫຼັກການປີຕາກໍ

$$\begin{aligned}(\vec{A})^2 &= (A_x \hat{i})^2 + (A_y \hat{j})^2 \\ A &= \sqrt{(A_x)^2 + (A_y)^2}\end{aligned}$$

ແລະທິດທາງຂອງເວັກເຕີ $\vec{A}$ ທີ່ເປັນມຸມຕາມແກນ X

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



ຮູບທີ 1.9 ສະແດງເວັກເຕີລະບົບລະນາບ XY

ໃນທຳນອງດຽວກັນສາມາດຂຽນອົງປະກອບຂອງເວັກເຕີໃນລະບົບໂຄອອຣ໌ຕີເນຕັ້ງສາກສາມມິຕິໄດ້ດັ່ງຮູບທີ

$$\begin{aligned}\vec{A} &= (A_x, A_y, A_z) \\ \vec{A} &= \vec{A}_x + \vec{A}_y + \vec{A}_z\end{aligned}\quad (1.11)$$

$$\vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k} \quad (1.12)$$

$$\text{ໂດຍທີ່ } A_x = A \cos \theta$$

$$A_y = A \cos \beta$$

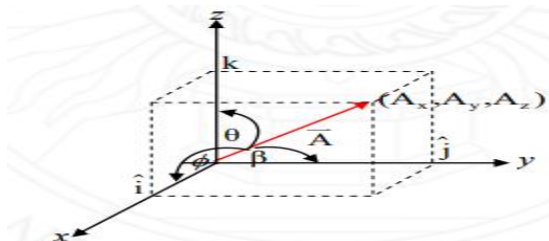
$$\text{ແລະ } A_z = A \cos \phi$$

ແລະສາມາດຫາຂະໜາດໂດຍອາໃສຫຼັກແກນປີຕາກໍຈະໄດ້:

$$\begin{aligned}(\vec{A})^2 &= (A_x \hat{i})^2 + (A_y \hat{j})^2 + (A_z \hat{k})^2 \\ A^2 &= \sqrt{(A_x)^2 + (A_y)^2 + (A_z)^2}\end{aligned}\quad (1.13)$$

ແລະທິດມາງຂອງເວັກເຕີ $\vec{A}$ ທີ່ເປັນມຸມຕາມແກນ x,y,z

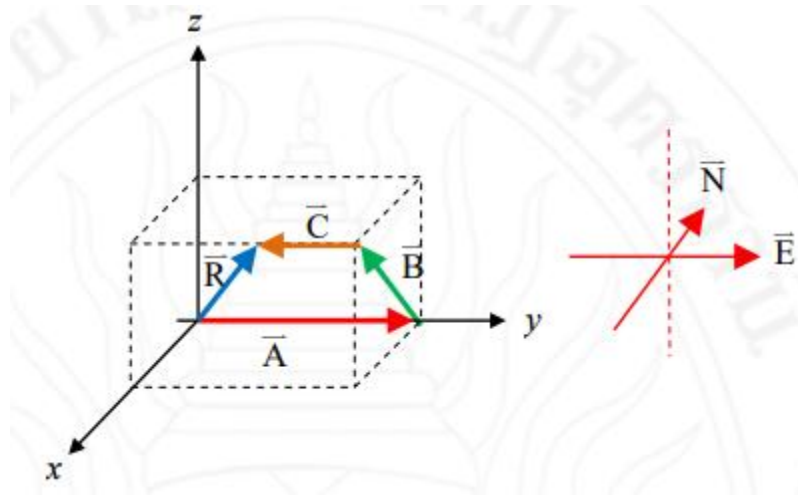
$$\left. \begin{aligned}\cos \phi &= \frac{A_z}{A} \\ \cos \beta &= \frac{A_y}{A} \\ \cos \theta &= \frac{A_x}{A}\end{aligned}\right\} \quad (1.14)$$



ຮູບທີ 1.10 ສະແດງເວັກເຕີລະບົບລະນາບ

ຕົວຢ່າງທີ 1.2 : ນັກສຶກສາຄົນໜຶ່ງຢ່າງຂຶ້ນຕຶກເພື່ອເຂົ້າຫ້ອງຮຽນໂດຍເລີ່ມຢ່າງຈາກຊັ້ນລຸ່ມສຸດຂອງຕຶກໄປທາງ
ທິດຕາເວັນອອກ 7cm ຈາກນັ້ນຢ່າງໄປຂຶ້ນຂັ້ນໃດທີ່ມີ 3m ສຸດທ້າຍຢ່າງໄປເບື້ອງຕາເວັນອອກທີ່ມີໄລຍະທາງ 2m

ຈຶ່ງຈະຮອດຫ້ອງຮຽນຈຶ່ງຊອກຫາຂະໜາດແລະການກະຈັດດັ່ງຮູບ 1.11



ຮູບທີ 1.11 ສະແດງທິດທາງການຍ່າງໂດຍໃຊ້ເວັກເຕີ

ວິທີແກ້: ແຍກອົງປະກອບຂອງເວັກເຕີ $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ ຕາມແກນ x, y, z ຈະໄດ້ວ່າ

ເວັກເຕີ $\vec{A}$ ຕາມແກນ x, y, z

$$\vec{A} = 0\hat{i} + 7\hat{j} + 0\hat{k} = 7\hat{j}$$

ເວັກເຕີ $\vec{B}$ ຕາມແກນ x, y, z

$$\vec{B} = 3\cos 30^\circ\hat{i} + 0\hat{j} + 3\sin 30^\circ\hat{k} = 2.6\hat{i} + 1.5\hat{k}$$

ເວັກເຕີ $\vec{C}$ ຕາມແກນ x, y, z

$$\vec{C} = 0\hat{i} - 2\hat{j} + 0\hat{k} = -2\hat{j}$$

ແລະສາມາດຂຽນອົງປະກອບຂອງເວັກເຕີ $\vec{R}$ ໄດ້ຄື

$$\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C} = 7\hat{j} + (2.6\hat{i} + 1.5\hat{k}) - 2\hat{j} = 2.6\hat{i} + 5\hat{j} + 1.5\hat{k}$$

ດັ່ງນັ້ນເຮົາສາມາດຫຼຸດຂະໜາດຂອງເວັກເຕີ $\vec{R}$ ໄດ້ຄື

$$R = \sqrt{(R_x)^2 + (R_y)^2 + (R_z)^2} = \sqrt{(2.6)^2 + (5)^2 + (1.5)^2} = 5.83$$

ທິດທາງຂອງການກະຈັດ

$$\cos \phi = \frac{R_x}{R} = \frac{2.6}{5.8} = 0.448 \Rightarrow \phi = 63.36^\circ$$

$$\cos \beta = \frac{R_y}{R} = \frac{5}{5.8} = 0.862 \Rightarrow \beta = 30.45^\circ$$

$$\cos \theta = \frac{R_z}{R} = \frac{1.5}{5.8} = 0.258 \Rightarrow \theta = 75.01^\circ$$

1.1.6. ຜົນຄູນສະກາແລແລະຜົນຄູນເວັກເຕີ

ຜົນຄູນສະກາແລ (scalar product ຫຼື Dot product) ຂອງເວັກເຕີ $\vec{A}$ ແລະ $\vec{B}$ ຂຽນດ້ວຍສັນຍາລັກ $\vec{A}\vec{B}$ ອ່ານວ່າ $\vec{A}$ ອ່ານວ່າດອຕ $\vec{B}$ ໝາຍຄວາມວ່າເວັກເຕີ $\vec{A}$ ຄູນເວັກເຕີ $\vec{B}$ ຈະມີຄ່າເທົ່າກັບຂະໜາດຂອງເວັກເຕີທັງສອງຄູນກັບໂຄໄຊນັ້ນຂອງມຸມລະຫວ່າງເວັກເຕີທັງສອງດັ່ງຮູບທີ 1.12 ຜົນຄູນທີ່ໄດ້ຈະເປັນຜົນຄູນສະກາແລຄື

$$\vec{A}\vec{B} = A \cos \theta \text{ ເມື່ອ } 0 \leq \theta \leq 180^\circ$$

ຄຸນສົມບັດຂອງຜົນຄູນສະກາແລ

$$1. \vec{A}\vec{B} = \vec{A}\vec{B} \text{ (ຄຸນສົມບັດການສະຫຼັບບ່ອນ)}$$

$$2. \vec{A}(\vec{B} + \vec{C}) = \vec{A}\vec{B} + \vec{A}\vec{C} \text{ (ຄຸນສົມບັດການກະຈາຍ)}$$

$$3. m(\vec{A}\vec{B}) = (m\vec{A})\vec{B} = \vec{A}(m\vec{B}) = (\vec{A}\vec{B})m \text{ ເມື່ອ } m \text{ ເປັນປະລິມານສະກາແລ}$$

$$4. \hat{i}\hat{i} = \hat{j}\hat{j} = \hat{k}\hat{k} = 1 \quad \hat{i}\hat{j} = \hat{i}\hat{k} = \hat{j}\hat{k} = 0$$

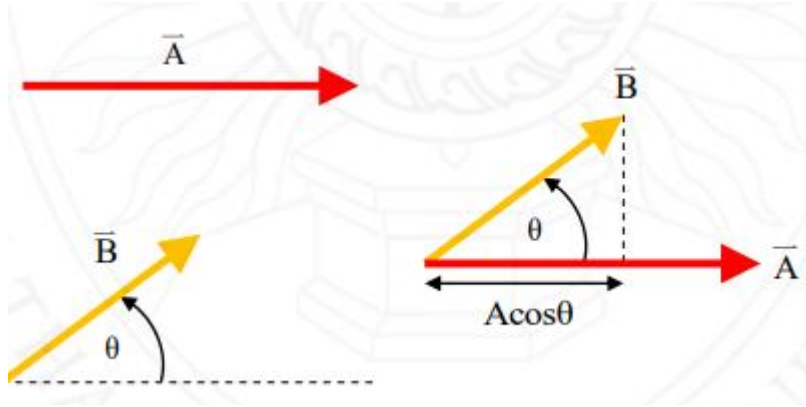
$$5. \text{ຖ້າ } \vec{A} = A_x\hat{i} + A_y\hat{j} + A_z\hat{k} \text{ ແລະ } \vec{B} = B_x\hat{i} + B_y\hat{j} + B_z\hat{k}$$

$$\vec{A}\vec{A} = A_x^2 + A_y^2 + A_z^2$$

$$\text{ຈະໄດ້ວ່າ } \vec{A}\vec{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

$$\vec{B}\vec{B} = B_x^2 + B_y^2 + B_z^2$$

$$6. \text{ຖ້າ } \vec{A}\vec{B} = 0 \text{ ໂດຍທີ່ } \vec{A} \text{ ແລະ } \vec{B} \text{ ບໍ່ເປັນເວັກເຕີຄູນແລ້ວ } \vec{A} \text{ ຕັ້ງສາກກັບ } \vec{B}$$



ຮູບທີ 1.12 ສະແດງຜົນຄູນແບບສະກາແລ

ຜົນຄູນເວັກເຕີ (vector product ຫຼື cross product) ຂອງເວັກເຕີ $\vec{A}$ ແລະ $\vec{B}$ ຂຽນແທນສັນຍາລັກ $\vec{A} \times \vec{B}$ ອ່ານວ່າ “ $\vec{A}$ ຄຣອສ $\vec{B}$ ” ໝາຍຄວາມວ່າເວັກເຕີ $\vec{A}$ ຄູນເວັກເຕີ $\vec{B}$ ຈະມີຄ່າເທົ່າກັບຂະໜາດຂອງເວັກເຕີທັງສອງ ຄູນກັບໄຊນຸສຂອງມຸມລະຫວ່າງເວັກເຕີທັງສອງຜົນຄູນທີ່ໄດ້ຈະເປັນປະລິມານເວັກເຕີຄື

$$\vec{A} \times \vec{B} = A \sin \theta \quad \text{ເມື່ອ } 0 \leq \theta \leq 180^\circ$$

ສ່ວນທິດທາງຈະຕັ້ງສາກກັບລະນາບຂອງເວັກເຕີໂດຍມີທິດທາງຕາມກົດມືຂວາດັ່ງຮູບ 1.13



ຮູບທີ. 1.13 ສະແດງຜົນຄູນແບບເວັກເຕີ

ສົມບັດຂອງຜົນຄູນເວັກເຕີ

1. $\vec{A} \times \vec{B} = \vec{B} \times \vec{A}$ (ບໍ່ເປັນໄປຕາມຄຸນສົມບັດຂອງການສະຫຼັບປ່ອນ)
2. $\vec{A}(\vec{B} + \vec{C}) = \vec{A} \times \vec{B} + \vec{A} \times \vec{C}$ (ຄຸນສົມບັດຂອງການກະຈາຍຕົວ)
3. $m(\vec{A} \times \vec{B}) = (m\vec{A}) \times \vec{B} = \vec{A} \times (m\vec{B}) = (\vec{A} \times \vec{B})m$ ເມື່ອ m ເປັນປະລິມານສະກາແລ
4. $\hat{i} \times \hat{i} = \hat{j} \times \hat{j} = \hat{k} \times \hat{k} = 0$ ແລະ $\hat{i} \times \hat{j} = \hat{k}, \hat{i} \times \hat{k} = -\hat{j}, \hat{j} \times \hat{k} = \hat{i}$

$$5. \text{ ຖ້າ } \vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z k \text{ ແລະ } \vec{B} = B_x \hat{i} + B_y \hat{j} + B_z k$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = (A_y B_z - A_z B_y) \hat{i} + (A_z B_x - A_x B_z) \hat{j} + (A_x B_y - A_y B_x) \hat{k}$$

ຫຼືຂຽນໃນຮູບແບບຂອງເທິຣ໌ມນ (determinant)

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

$$\text{ຕົວຢ່າງທີ 1.3 ຖ້າ } \vec{A} = 5\hat{i} - 2\hat{j} + k \text{ ແລະ } \vec{B} = -3\hat{i} + \hat{j} - 7k$$

$$\text{ຈົ່ງຊອກຫາ ກ) } \vec{A} + \vec{B} \quad \text{ຂ) } \vec{A} - \vec{B} \quad \text{ຄ) } \vec{A} \cdot \vec{B} \quad \text{ງ) } \vec{A} \times \vec{B} \quad \text{ຈ) } \vec{B} \times \vec{A}$$

$$\text{ວິທີແກ້: ກ. } \vec{A} + \vec{B} = (5\hat{i} - 2\hat{j} + k) + (-3\hat{i} + \hat{j} - 7k)$$

$$= (5\hat{i} - 3\hat{i}) + (-2 - 1)\hat{j} + (1 - 7)k$$

$$= 2\hat{i} - \hat{j} - 6k$$

$$\text{ຂ. } \vec{A} - \vec{B} = (5\hat{i} - 2\hat{j} + k) - (-3\hat{i} + \hat{j} - 7k)$$

$$= (5 + 3)\hat{i} + (-2 - 1)\hat{j} + (1 + 7)k$$

$$= 8\hat{i} - 3\hat{j} + 8k$$

$$\text{ຄ. } \vec{A} \cdot \vec{B} = (5\hat{i} - 2\hat{j} + k) \cdot (-3\hat{i} + \hat{j} - 7k)$$

$$= (5 \times (-3)) + (-2) \times 1 + (1 \times (-7))$$

$$= -15 - 2 - 7$$

$$= -24$$

$$\text{ງ. } \vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & k \\ 5 & -2 & 1 \\ -3 & 1 & 7 \end{vmatrix}$$

$$= ((-2)(-7) - (-1))\hat{i} + (1)(-3) - (-7)(-5)\hat{j} + (5)(1) - (-2)(-3)k$$

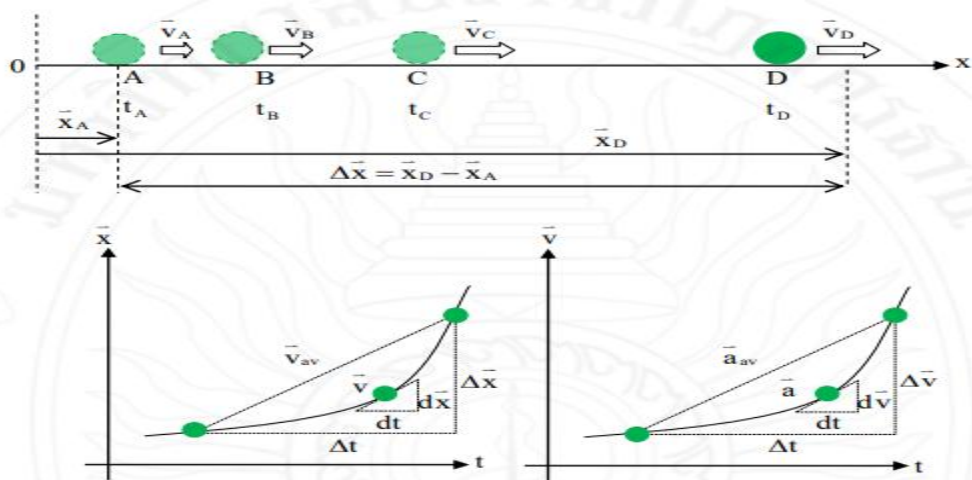
$$= (14 - 1)\hat{i} + (-3 + 35)\hat{j} + (6 - 5)k$$

$$= 13\hat{i} + 32\hat{j} - 1k$$

$$\text{ຈ. } \vec{B} \times \vec{A} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ -3 & 1 & -7 \\ 5 & -2 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\begin{aligned} &= (1)(1) - (2)(-7)\hat{i} + ((7)(-5) - (1)(-3))\hat{j}(-3)(-2) - (5)(2) \\ &= (1 - 14)\hat{i} + (-35 + 3)\hat{j} + (6 - 5)k \\ &= -13\hat{i} - 32\hat{j} + k \\ &= -(13\hat{i} + 32\hat{j} - k) \end{aligned}$$

1.1.7 ເວັກເຕີບອກຕໍາແໜ່ງການກະຈັດຄວາມໄວແລະຄວາມແຮງໃນໄມຕີ



ຮູບທີ 1.4 ສະແດງການເຄື່ອນທີ່ຕາມລວງຕັ້ງສາກຂອງວັດຖຸຕາມລວງຂອງແກນ x ແລະ ກາຟຄວາມສໍາພັນໄລຍະການກະຈັດແລະຄວາມໄວກັບເວລາເມື່ອພິຈາລະນາການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸຕາມລວງຕັ້ງສາກຕາມລວງຂອງແກນ x ມີຈຸດເລີ່ມຕົ້ນທີ່ O ດັ່ງສະແດງໃນຮູບ 1.14 ທີ່ຕໍາແໜ່ງ A ເວລາ t_A ວັດຖຸເຄື່ອນທີ່ດ້ວຍຄວາມໄວເລີ່ມຕົ້ນ $\vec{V}_A$ ໄປຍັງຕໍາແໜ່ງ D ທີ່ເວລາ t_D ວັດຖຸເຄື່ອນທີ່ດ້ວຍຄວາມໄວສຸດທ້າຍ V_D ຈາກການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸຈາກຕໍາແໜ່ງ A ໄປຍັງ D ວັດຖຸນີ້ມີໄລຍະການກະຈັດ (Displacement) ຂອງວັດຖຸເຄື່ອນທີ່ໃນຊ່ວງເວັກເຕີ $\vec{X}_A$ ແລະ $\vec{X}_D$ ດັ່ງຮູບ.

$$\Delta \vec{X} = \vec{X}_D - \vec{X}_A \text{ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ (m)} \quad (1.17)$$

ດັ່ງນັ້ນສາມາດນິຍາມຄວາມໄວສູງ (average velocity) ຂອງວັດຖຸເຄື່ອນທີ່ໃນຊ່ວງເວລາ t_A ໄປຫາ t_D ຫຼື Δt

ໄດ້ຈາກອັດຕາສ່ວນການກະຈັດຕໍ່ໜຶ່ງຫົວໜ່ວຍເວລາໄດ້ເປັນ

$$\vec{V}_{av} = \frac{\vec{X}_D - \vec{X}_A}{t_D - t_A} \text{ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນແມັດຕໍ່ວິນາທີ (m/s)} \quad (1.18)$$

ຖ້າວັດຖຸເຄື່ອນທີ່ປ່ຽນຕໍາແໜ່ງເວລາໃນຊ່ວງເວລາທີ່ສັງເກດເຫັນຄວາມໄວບໍ່ປ່ຽນທົດທາງດັ່ງນັ້ນຄວາມໄວສູງຈຶ່ງຄືວ່າ
ເປັນຄວາມໄວທີ່ຂະໜາດໃດຂະໜາດໜຶ່ງ (instantaneous velocity)

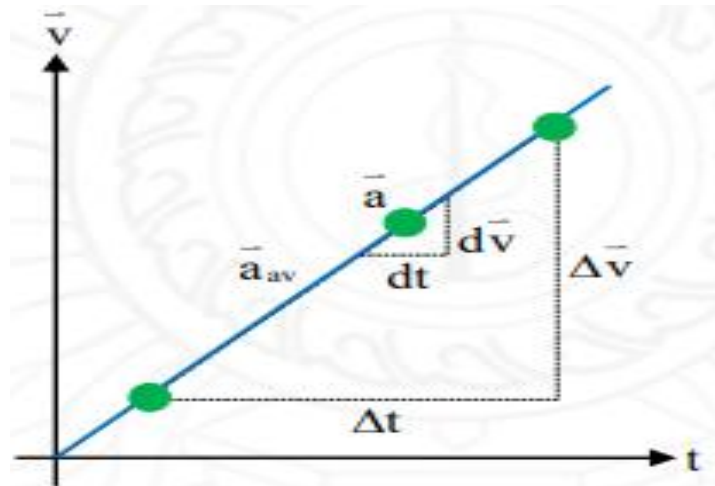
$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} = \frac{d\vec{x}}{dt} \quad \text{ມີຫົວໜ່ວຍເປັນແມັດ/ວິນາທີ (m/s)} \quad (1.19)$$

ແລະສາມາດນິຍາມອັດຕາເລັ່ງສູງສຸດຂອງວັດຖຸເຄື່ອນທີ່ໃນຊ່ວງ Δt ໄດ້ຈາກອັດຕາສ່ວນຂອງຄວາມໄວທີ່ປ່ຽນໄປ
 Δv ຕໍ່ Δt ໄດ້ເປັນຄວາມໄວສູງ(average velocity)

$$\vec{a}_{av} = \frac{\vec{V}_D - \vec{V}_A}{t_D - t_A} \quad \text{ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ (m/s}^2\text{)} \quad (1.20)$$

ແລະຄວາມເລັ່ງໃນຂະໜາດໃດຂະໜາດໜຶ່ງ (instantaneous acceleration)

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad \text{ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ (m/s}^2\text{)} \quad (1.21)$$



ຮູບທີ1.15 ສະແດງກາຟຄວາມສາມັນລະຫວ່າງໄລຍະການກະຈັດແລະຄວາມໄວກັບເວລາ

ເມື່ອພິຈາລະນາການເຄື່ອນທີ່ຂອງອະນຸພາກໄປຕາວລສງຂອງແກນ x (1 ມິຕິ) ດ້ວຍອັດຕາເລັ່ງຄົງທີ່ເລີ່ມຕົ້ນ
ເທົ່າກັບສູນ ($t_0 = 0$) ເມື່ອໃຫ້ຄວາມເລັ່ງເລີ່ມຕົ້ນ ($\vec{X}_0$) , ການກະຈັກສຸດທ້າຍ ($\vec{X}$) , ດ້ວຍຄວາມໄວເລີ່ມຕົ້ນ
($\vec{V}_0$) ການກະຈັດສຸດທ້າຍ ($\vec{V}$) , ອັດຕາເລັ່ງ($\vec{a}$) ສາມາດຂຽນໄດ້ເປັນ

$$\vec{V}_{av} = \frac{\vec{X}_B - \vec{X}_A}{t} \quad \text{ຫຼື} \quad \vec{X} = \vec{X}_0 + \vec{V}_{av} t \quad (1.22)$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{V}_0 + \vec{V}}{t} \quad \text{ຫຼື} \quad \vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{a}t \quad (1.23)$$

ເມື່ອວັດຖຸເຄື່ອນທີ່ດ້ວຍຄວາມເລັ່ງຄົງທີ່ຄວາມໄວສູງໃນຊ່ວງເວລາໃດໜຶ່ງຈະມີຄ່າສູງທາງຄະນິດສາດຂອງຄວາມໄວເລີ່ມຕົ້ນແລະຄວາມໄວທໍາອິດຈະໄດ້ວ່າ

$$\vec{V}_{av} = \frac{\vec{V} + \vec{V}_0}{2} \quad (1.24)$$

ແທນໃສ່ສົມຜົນ 1.19 ຈະໄດ້:

$$\vec{X} = \vec{X}_0 + \frac{\vec{V} + \vec{V}_0}{2} t \quad (1.25)$$

ແທນໃສ່ສົມຜົນທີ 1.19 ຈະໄດ້

$$\begin{aligned} \vec{X} &= \vec{X}_0 + \frac{1}{2}(\vec{V}_0 + \vec{a}t + \vec{V}_0)t \\ \vec{V}^2 &= \vec{V}_0^2 + \vec{V}_0 t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2 \end{aligned} \quad (1.26)$$

ແທນໃສ່ສົມຜົນ 1.19 ຈະໄດ້

$$\begin{aligned} \vec{X} &= \vec{X}_0 + \frac{(\vec{V} + \vec{V}_0)(\vec{V} - \vec{V}_0)}{\vec{a}}, \\ \vec{V}^2 &= \vec{V}_0^2 + 2\vec{a}(\vec{X} - \vec{X}_0) \end{aligned} \quad (1.27)$$

ໃນທຳນອງດຽວກັນການຕິກຕາມລຳພັງສາມາດຈັດຮູບອົງປະກອບຕາມລວງຂອງແຖນ x ເປັນ y ແລະປ່ຽນຄ່າຄວາມເລັ່ງເປັນຄ່າທີ່ມີທິດສ່ວນທາງກັບການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸໂດຍມີທິດທາງເຂົ້າສູ່ສູນກາງຂອງໂລກສາມາດຂຽນສົມຜົນໃໝ່ໄດ້ເປັນ

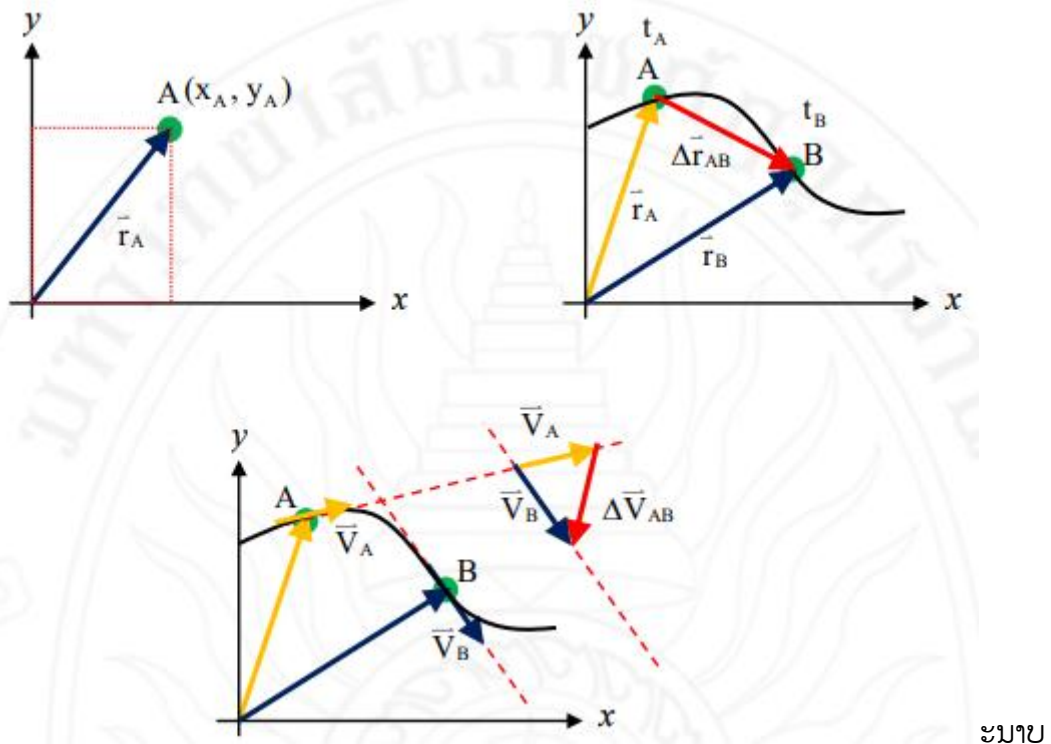
$$\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{g}t \quad (1.28)$$

$$\vec{y} = \vec{y}_0 + \vec{V}_0 t + \frac{1}{2}\vec{g}t^2 \quad (1.29)$$

$$(\vec{V}^2 = \vec{V}_0^2 + 2\vec{g}(\vec{y} - \vec{y}_0)) \quad (1.30)$$

1.1.8 ເວັກເຕີບອກຕໍາແໜ່ງການກະຈັດຄວາມໄວແລະຄວາມເລັ່ງໃນ 2 ມິ

ຮູບທີ 1.16 ສະແດງການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸໃນລະບົບລ



ເມື່ອວັດຖຸເຄື່ອນທີ່ຕາມລວງເສັ້ນໂຄ້ງທີ່ເປັນຟັງຊັນຂອງເວລາ t ດັ່ງສະແດງຮູບທີ 1.16 ວັດຖຸນີ້ເຄື່ອນທີ່ຈາກຕໍາແໜ່ງ A ທີ່ເວລາ t_A ໂດຍທີ່ເວັກເຕີບອກຕໍາແໜ່ງເປັນ $\vec{r}_A$ ໃນເວລາຕໍ່ມາວັດຖຸເຄື່ອນທີ່ໄປຍັງຕໍາແໜ່ງ B ທີ່ເວລາ t_B ໂດຍມີເວັກເຕີບອກຕໍາແໜ່ງເປັນ $\vec{r}_B$ ຈາກການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸຈາກຕໍາແໜ່ງ A ໄປຍັງ B ວັດຖຸນີ້ມີໄລຍະການກະຈັດເປັນຜົນຕ່າງຂອງເວັກເຕີ $\vec{r}_A$ ແລະ $\vec{r}_B$ ດັ່ງຮູບ

ການກະຈັດ (Displacement)

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_A - \vec{r}_B \quad (1.31)$$

$$\begin{aligned} \vec{r}_A &= X_A \hat{i} + y_A \hat{j} \\ \vec{r}_B &= X_B \hat{i} + y_B \hat{j} \end{aligned}$$

ຈະໄດ້

$$\begin{aligned} \Delta \vec{r} &= (X_B \hat{i} - y_B \hat{j}) + (X_A \hat{i} - y_B \hat{j}) \\ &= (X_B - X_A) \hat{i} + (y_B - y_A) \hat{j} \end{aligned} \quad (1.32)$$

ຄວາມໄວສູງ (velocity)

$$\vec{V} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r}_B - \vec{r}_A}{t_B - t_A} \quad (1.33)$$

ຄວາມໄວໃນຂະນະໃດຂະນະໜຶ່ງ (velocity)

$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

$$\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dX}{dt} \hat{i} + \frac{dY}{dt} \hat{j} = V_x \hat{i} + V_y \hat{j} \quad (1.34)$$

ອັດຕາເລັ່ງໃນຂະໄດຂະນະໜຶ່ງ (Acceleration)

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} = \frac{d\vec{V}}{dt}$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{dV_x}{dt} \hat{i} + \frac{dV_y}{dt} \hat{j} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} \quad (1.35)$$

ຕົວຢ່າງທີ 1.14 ອະນຸພາກເຄື່ອນທີ່ໄດ້ $\vec{r}(t) = (4.9t^2 + 2t)\hat{i} + (3t + 2)\hat{j}$ ເປັນເວັກເຕີບອກຕໍາແໜ່ງໂດຍທີ່ $\vec{r}$ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ m ແລະ t ມີຫົວໜ່ວຍເປັນວິນາທີ (s)

ຈົ່ງຊອກຫາ: ກ.ຄວາມໄວແລະອັດຕາເລັ່ງຂອງອະນຸພາກໃນເວລາໃດໜຶ່ງ

ຂ.ຄວາມໄວຂອງອະນຸພາກທີ່ $t = 2s$

ວິທີແກ້: ຈາກ $\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt}$

$$= \frac{d}{dt} ((4.9t^2 + 2t)\hat{i} + (3t + 2)\hat{j})$$

$$= \frac{d}{dt} (4.9t^2 + 2t)\hat{i} + \frac{d}{dt} (3t + 2)\hat{j}$$

$$= (9.8t + 2)\hat{i} + 3\hat{j}$$

ແລະຈາກ: $\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt}$

$$\frac{d}{dt} ((9.8t + 2)\hat{i} + 3\hat{j})$$

$$= \frac{d}{dt} (9.8t + 2)\hat{i} + \frac{d}{dt} (3)\hat{j}$$

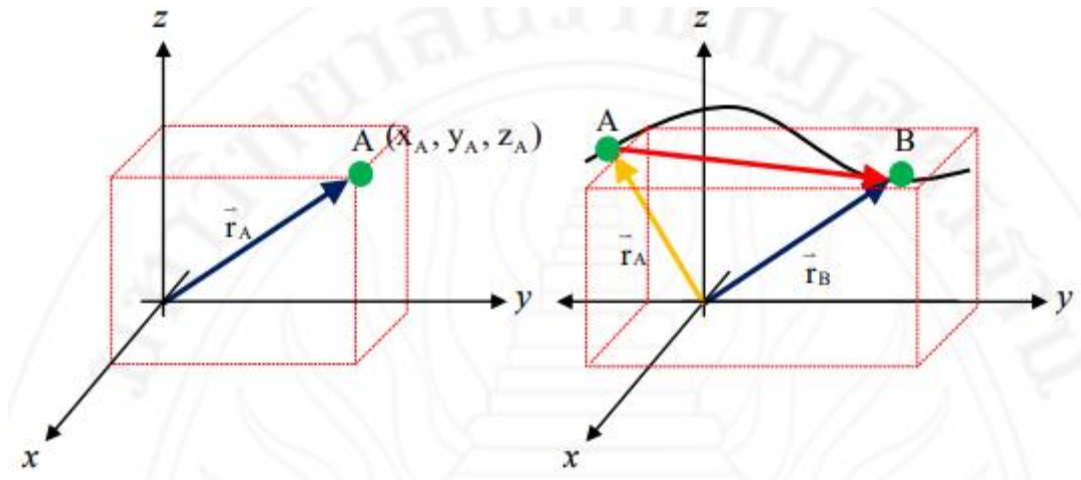
$$= 9.8\hat{i}$$

ຂ. $V(t) = (9.8t + 2)\hat{i} + 3\hat{j}$

$$\vec{V}(2) = (9.8(2) + 2)\hat{i} + 3\hat{j}$$

$$= 21.6\hat{i} + 3\hat{j}$$

1.1.9 ເວັກເຕີບອກຕໍາແໜ່ງການເຄື່ອນທີ່ຂອງຄວາມໄວແລະຄວາມແຮງໃນສາມມິຕິ



ຮູບທີ 1.17 ສະແດງກາເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸໃນລະບົບລະນາບ xyz
ເຊັ່ນດຽວກັບການເຄື່ອນທີ່ຂອງອະນຸພາກລະນາບສາມາດຂຽນໄດ້ເປັນ

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A \quad (1.36)$$

$$\text{ເມື່ອ } \vec{r}_A = X_A \hat{i} + y_A \hat{j} + Z_A \hat{k}$$

$$\vec{r}_B = X_B \hat{i} + y_B \hat{j} + Z_B \hat{k}$$

$$\vec{r}_B - \vec{r}_A = (X_B \hat{i} + y_B \hat{j} + Z_B \hat{k}) - (X_A \hat{i} + y_A \hat{j} + Z_A \hat{k}) \quad (1.38)$$

$$= (X_B - X_A) \hat{i} + (y_B - y_A) \hat{j} + (Z_B - Z_A) \hat{k}$$

ຄວາມໄວໃນຂະນະໃດໜຶ່ງ (velocity)

$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

$$\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dX}{dt} \hat{i} + \frac{dy}{dt} \hat{j} + \frac{dz}{dt} \hat{k} = V_x \hat{i} + V_y \hat{j} + V_z \hat{k} \quad (1.38)$$

ອັດຕາເລັ່ງໃນຂະນະໃດໜຶ່ງ (Acceleration)

ຕົວຢ່າງທີ 1.4 ອະນຸພາກໜຶ່ງເຄື່ອນທີ່ໄດ້ $\vec{r}(t) = \frac{\sqrt{2}}{2} t \hat{i} + \frac{\sqrt{2}}{2} t \hat{j} - (4.9t^2 - \sqrt{3}t) \hat{k}$ ເປັນເວັກເຕີບກດຳແໜ່ງ

ເມື່ອ $\vec{r}(t)$ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນແມັດ (m) t ມີຫົວໜ່ວຍເປັນວິນາທີ (s)

ຈົ່ງຊອກຫາ: ກ. ຄວາມໄວແລະອັດຕາເລັ່ງຂອງອະນຸພາກໃດໜຶ່ງ

ຂ. ຄວາມໄວຂອງອະນຸພາກທີ່ $t = 1s$

ວິທີແກ້: ກ. ຈາກ $\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt}$

$$\begin{aligned}
&= \frac{d}{dt} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} t \right) \hat{i} + \frac{d}{dt} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} t \right) \hat{j} - \frac{d}{dt} (4.9t^2 - \sqrt{3}t) \hat{k} \\
&= \frac{\sqrt{2}}{2} \hat{i} + \frac{\sqrt{2}}{2} \hat{j} - (9.8t - \sqrt{3}) \hat{k} \\
\text{ແລະ } \vec{a} &= \frac{d\vec{V}}{dt} \\
&= \frac{d}{dt} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} t \right) \hat{i} + \frac{d}{dt} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} t \right) \hat{j} - \frac{d}{dt} (9.8t - \sqrt{3}) \hat{k} \\
&= 9.8 \hat{k}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\vec{V}(t) &= \frac{\sqrt{2}}{2} \hat{i} + \frac{\sqrt{2}}{2} \hat{j} - (9.8t - \sqrt{3}) \hat{k} \\
\text{ຂ. } \vec{V}(2) &= \frac{\sqrt{2}}{2} \hat{i} + \frac{\sqrt{2}}{2} \hat{j} - (9.8t - \sqrt{3}) \hat{k} \\
&= \frac{\sqrt{2}}{2} \hat{i} + \frac{\sqrt{2}}{2} \hat{j} - (19.6 - \sqrt{3}) \hat{k}
\end{aligned}$$

2. ໜ່ວຍເອສໄອແລະການແປງຫົວໜ່ວຍ

ໜ່ວຍທີ່ເປັນທີ່ຍອມຮັບຂອງນາໆຊາດເອີ້ນວ່າໜ່ວຍລະຫ່ວາງຊາດ (international system of units) ຫຼືເອີ້ນວ່າໜ່ວຍເອສໄອ (si units) ປະກອບດ້ວຍໜ່ວຍຮາກຖານ (base units) ປະກອບດ້ວຍອະນະພັນ (derived units) ໜ່ວຍເສີມ (supplementary units) ໂດຍໜ່ວຍຮາກຖານຂັ້ນຕົ້ນທີ່ຈຳເປັນຕໍ່ການອະທິບາຍປາກົດການທາງຟີຊິກມີ 7 ໜ່ວຍແລະໜ່ວຍອະນະພັນຄືໜ່ວຍທີ່ເກີດຂຶ້ນຈາກການໜ່ວຍຮາກຖານມາປະກອບເຂົ້າໃສ່ກັນເຊັ່ນ ອັດຕາຄວາມໄວມີຫົວໜ່ວຍເປັນ m/s ເປັນຕົ້ນໜ່ວຍເສີມຄືໜ່ວຍທົນອກເໜືອຈາກໜ່ວຍທັງສອງເບື້ອງຕົ້ນເຊັ່ນ: ກາວັດມຸມເປັນອົງສາຫຼືເຣດຽນ

ຕາຕະລາງທີ 1.1 ໜ່ວຍຮາກຖານໃນລະບົບເອສໄອ

ປະລິມານ	ໜ່ວຍ	ສັນຍາລັກ
ຄວາມຍາວ (length)	ແມັດ	M
ມວນສານ (Mass)	ກິໂລກຣາມ	Kg
ເວລາ (Time)	ວິນາທີ	S
ກະແສໄຟຟ້າ (Electric current)	ອຳແປ	A
ອຸນຫະພູມຜົນວັດ (Thermodynamic temperature)	ແກນວິນ	K
ຄວາມເຂັ້ມຂອງສ່ອງຫ່ວາງ (Luminous intensity)	ແຄນເດລດາ	cd

ປະລິມານຂອງສານ	ໂມລ	Mol
(Amount of substance)		

ຄຳອຸປະສັກຄືເກົ່າຈາກໜ່ວຍຮາກຖານແລະໜ່ວຍອະນຸພັນເບື້ອງຕົ້ນມີປະລິມານຫຼາຍຫຼືນ້ອຍເກີນໄປເຮັດໃຫ້ບໍ່ສະດວກຕໍ່ການອ່ານແລະຂຽນຈຳນຳຄຳອຸປະສັກມາໃຊ້ແທນຕົວພະຫຸຄຸນດັ່ງນີ້

ຕາຕະລາງ 1.2 ຄຳອຸປະສັກມາໃຊ້ແທນຕົວພະຫຸຄຸນ

ຊື່	ສັນຍາລັກ	ຄ່າພະຫຸຄຸນ
ເອຊະ	E	10^{18}
ເພຕະ	P	10^{15}
ເຫຣະ	T	10^{12}
ຈິກະ	G	10^9
ເມຣະ	M	10^6
ກິໂລ	K	10^3
ເຮັກໂຕ	H	10^2
ເດກາ	da	10^1
ເດຊີ	d	10^{-1}
ລຊັງຕີ	C	10^{-2}
ມິລລີ	m	10^{-3}
ໄມໂຄຣ	μ	10^{-6}
ນາໂນ	n	10^{-9}
ພິໂຄ	P	10^{-12}
ເຟມໂຕ	F	10^{-15}
ອັຕໂຕ	a	10^{-18}

ການປ່ຽນຫົວໜ່ວຍສາມາດເຮັດໄດ້ໂດຍການຄຳນວນແບບພຶດຊະຄະນິດທຳມະດາແຕ່ຕ້ອງຄຸນດ້ວຍຕົວພະຫຸພຶດເຊິ່ງເປັນກຳລັງທີ່ມີເຄື່ອງໝາຍບວກແລະລົບກົງກັນຂ້າມ

ຕົວຢ່າງທີ 1.5 ແຜ່ນສີ່ຫຼ່ຽມພື້ນຜ້າກ້ວາງ 75.0 ຟຸດ (ft) ແລະຍາວ 75.0 (ft) ຟຸດ ຈຶ່ງຊອກຫາພື້ນທີ່ຂອງຜ້າສີ່ຫຼ່ຽມພື້ນຜ້າໃນໜ່ວຍຕາລາງແມັດ (m^2)

ວິທີແກ້: ຈາກ $1m = 3.281 ft$ ໄດ້ວ່າ

$$\text{ພື້ນທີ່ຂອງສີ່ຫຼ່ຽມພື້ນຜ້າ} = \text{ກ້ວາງ} \times \text{ຍາວ}$$

$$\begin{aligned}
 &= 75.0 \times 125 \text{ ft} \\
 &= 75.0 \times 125 \text{ ft}^2 \left(\frac{1 \text{ m}}{3.201 \text{ ft}} \right) \\
 &= 2,857 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

ຕົວຢ່າງທີ 1.6 ວັດຖຸໃນກ່ອງໜ່ວຍໜຶ່ງມີມວນສານ 23.94 g ແຕ່ລະຂ້າງຍາວ 0.7 cm ຈຶ່ງຊອກຫາຄວາມໜາແໜ້ນຂອງວັດຖຸໃນຫົວໜ່ວຍ (kg / m^3)

ວິທີແກ້: ຈາກ $\rho = \frac{m}{V}$ ໄຈະໄດ້:

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{23.94 \text{ g}}{(0.7 \text{ cm} \times 0.7 \text{ cm} \times 0.7 \text{ cm})} \\
 &= \frac{23.94 \text{ g}}{2.1 \text{ cm}^3} \\
 &= \frac{23.94 \times 10^{-3} \text{ kg}}{2.1 \times (10^{-2})^3 \text{ m}^3} \\
 &= 11,400 \text{ kg} / \text{m}^3
 \end{aligned}$$

ຕົວຢ່າງທີ 1.7 ລົດຄັນໜຶ່ງແລ່ນດ້ວຍອັດຕາຄວາມໄວ $80 \text{ km} / \text{h}$ ຈຶ່ງຊອກຫາວ່າລົດຄັນນີ້ແລ່ນດ້ວຍອັດຕາຄວາມໄວໃນຫົວໜ່ວຍ (m/s)

ວິທີແກ້: $1 \text{ h} = 60 \text{ min}$, $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ ຈະໄດ້

$$\begin{aligned}
 V &= 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} \\
 &= \left(80 \times 10^3 \frac{\text{m}}{\text{h}} \right) \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) \\
 &= 67 \text{ m} / \text{s}
 \end{aligned}$$

1. ເລກໝາຍສໍາຄັນແລະຄວາມບໍ່ແນ່ນອນຂອງຜົນໄດ້ຮັບ

ການວັດປະລິມານຕ່າງໆໃນການທົດລອງທາງວິທະຍາສາດໂດຍສະເພາະສາຂາຟີຊິກຕ້ອງອາໄສຕົວເລກທີ່ມາຈາກການວັດເຊິ່ງຈະລະອຽດຫຼາຍຂຶ້ນຫຼືນ້ອຍລົງຈະຕ້ອງຂຶ້ນຢູ່ກັບເຄື່ອງມືທີ່ໃຊ້ວັດແລະເລກທີ່ໄດ້ຈາກການອ່ານຄ່າໃນການວັດເອີ້ນວ່າເລກໝາຍສໍາຄັນປະກອບດ້ວຍເລກທີ່ແນ່ນອນ (ເລກທີ່ຢູ່ໃນສາກົນ) ແລະເລກທີ່ບໍ່ແນ່ນອນ (ເລກທີ່ໄດ້ມາຈາກການຄາດເດົາຕົວ)

❖ ຫຼັກການອ່ານຕົວເລກທີ່ສໍາຄັນ

1. ເລກທີ່ບໍ່ແມ່ນ 0 ເປັນຕົວເລກທີ່ສໍາຄັນເຊັ່ນ: 1.32, 26.5, 191, 18 ມີຕົວເລກທີ່ສໍາຄັນ 3, 3, 3 ແລະ 2 ຕົວເລກຕາມລໍາດັບ

2. ເລກໜ້າທີ່ຢູ່ລະຫວ່າງຈຳນວນເປັນຕົວເລກທີ່ສຳຄັນເຊັ່ນ: 5.001, 105, 1202 ມີຕົວເລກສຳຄັນ 4, 3, ແລະ 4
ຕາມລຳດັບ

3. ເລກໜ້າທີ່ຢູ່ຫຼັງທົດຊະນີຍົມເປັນຕົວເລກທີ່ສຳຄັນເຊັ່ນ: 2.000, 11.30, 1.081 ມີຕົວເລກສຳຄັນ 4, 4, 4
ຕາມລຳດັບ

4. ເລກໜ້າທີ່ຢູ່ຫຼັງຈຳນວນທັງໝົດບໍ່ເປັນຕົວເລກສຳຄັນເຊັ່ນ: 0.0070, 0321 ມີຕົວເລກສຳຄັນ 2, 3 ຕົວຕາມ
ລຳດັບ

5. ເລກໜ້າທີ່ຢູ່ຫຼັງຈຳນວນທົດຊະນີຍົມບໍ່ເປັນຕົວເລກທີ່ສຳຄັນເຊັ່ນ: 1100 ມີຕົວເລກສຳຄັນສອງຕົວ

6. ຈຳນວນໃນຮູບ $C \times 10^N$ ນັບ C ເປັນຕົວເລກສຳຄັນເທົ່ານັ້ນເຊັ່ນ: 1.30×10^5 ມີຕົວເລກສຳຄັນສາມຕົວຄື
1.5 ແລະ 0

- ການບວກແລະການຄູນຕົວເລກສຳຄັນ

ຜົນໄດ້ຮັບທີ່ໄດ້ຈາກການບວກແລະລົບຕາມປົກກະຕິຈະຕ້ອງເທົ່າກັບຈຳນວນທົດຊະນີຍົມທີ່ນ້ອຍທີ່ສຸດເຊັ່ນ

$4.36 + 2.1 - 3.0$ ຈະມີຜົນເທົ່າກັບ 6.458 ດັ່ງນັ້ນຕ້ອງຕອບເທົ່າກັບທົດຊະນີຍົມມາຕຳແໜ່ງ(ນ້ອຍສຸດ)

- ການຄູນແລະການຫານ

ຜົນທີ່ໄດ້ຈາກການຄູນແລະການຫານຕາມປົກກະຕິຈະຕ້ອງເທົ່າກັບຈຳນວນຕົວເລກທີ່ສຳຄັນທີ່ນ້ອຍທີ່ສຸດເຊັ່ນ:

3.24×3.0 ຈະມີຜົນເທົ່າກັບ 9.72

ດັ່ງນັ້ນຕ້ອງຕອບເທົ່າກັບຈຳນວນຕົວເລກທີ່ສຳຄັນ 2 ຕົວ(ນ້ອຍທີ່ສຸດ) ຄືເທົ່າກັບ 9.7

❖ ຄວາມບໍ່ແນ່ນອນຂອງຜົນໄດ້ຮັບ

ໃນການບັນທຶກຄ່າທີ່ໄດ້ຈາກການວັດແລະມີຕົວເລກທີ່ໄດ້ຈາກການຄາດເດົາຢູ່ນຳຈື່ງຕ້ອງຂຽນຄ່າຕາມຄວາມ
ຄາດເຄື່ອນລົງໄປດ້ວຍເຊັ່ນ 15.5 ± 0.3 ເປັນຕົ້ນ

- ການບວກແລະການລົບຄ່າທີ່ບໍ່ແນ່ນອນ

ຜົນຮັບທີ່ໄດ້ຈາກການບວກແລະການລົບຕາມປົກກະຕິຈະຕ້ອງມີຄ່າເທົ່າກັບຈຳນວນທົດຊະນີຍົມທີ່

ນ້ອຍທີ່ສຸດຕາມຫຼັກການບວກແລະການລົບຕົວເລກສຳຄັນ

ເຊັ່ນ: $(20.00 \pm 0.10) + (5.0 \pm 0.50) = 25.00 \pm 0.60 = 25 \pm 0.60$

- ການຄູນແລະການຫານຄ່າທີ່ບໍ່ແນ່ນອນ

ຜົນໄດ້ຮັບທີ່ໄດ້ຈາກການຄູນແລະການຫານຈະຕ້ອງຄິດໄລ່ຄວາມບໍ່ແນ່ນອນເປັນເປີເຊັນເຊັ່ນ:

$\frac{2.5 \pm 0.1}{4.2 \pm 0.1}$ ຄືຄິດໄລ່ຄວາມບໍ່ແນ່ນອນຂອງ 0.1 ເປັນເປີເຊັນທຽບກັບ 2.5

ຈະໄດ້: $\frac{0.1 \times 100}{2.5} = 4\%$ ແລະ $\frac{0.1 \times 100}{4.2} = 2\%$

$$\text{ຈະໄດ້ } \frac{2.5}{4.2} \pm (4 + 2)\% = 0.60 \pm 6\%$$

ຈາກນັ້ນປ່ຽນ 6% ຂອງ 0.6 ໃຫ້ເປັນຈຳນວນເຕັມ

$$\text{ຈະໄດ້ } \frac{6 \times}{100} 0.60 = 0.004$$

$$\text{ດັ່ງນັ້ນ } \frac{2.5 \pm 0.1}{4.2 \pm 0.1} = 0.60 \pm 0.04$$

ບົດເຝິກຫັດທວນຄົ້ນບົດຮຽນ

- ຊາຍຄົນໜຶ່ງຂັບລົດທ່ອງທ່ຽວຈາກບ້ານບັກໄປຫາທິດຕາເວັນອອກສ່ຽງເໜືອເປັນມຸມ 30° ດ້ວຍໄລຍະທາງ 175km ໄປຍັງເມືອງ A ແລ້ວຂັບລົດໄປຍັງທິດຕາເວັນອອກສຽງເໜືອເປັນມຸມ 20° ດ້ວຍໄລຍະທາງ 150km ໄປຍັງເມືອງ B ຈາກນັ້ນຂັບຕໍ່ໄປຍັງທິດຕາເວັນຕົກດ້ວຍໄລຍະທາງ 190km ໄປຍັງເມືອງ C ຈຶ່ງຊອກຫາຫາຂະໜາດແລະທິດທາງຂອງການເຄື່ອນທີ່ນີ້
- ໃຫ້ $\vec{A} = 3\hat{i} + 4\hat{j} - 5\hat{k}$ ແລະ $\vec{B} = -\hat{i} + 2\hat{j} - 6\hat{k}$ ຈຶ່ງຊອກຫາ
 - ຂະໜາດຂອງ $\vec{A}$ ແລະ $\vec{B}$
 - $\vec{A} \cdot \vec{B}$
 - $\vec{A} \times \vec{B}$
 - ມຸມລະຫວ່າງ $\vec{A}$ ແລະ $\vec{B}$
- ອະນຸພາກເຄື່ອນທີ່ໃນລະບົບລະນາບ xy ດ້ວຍອັດຕາເລັ່ງຄົງທີ່ໂດຍມີຄວາມໄວທີ່ຈຸດເລີ່ມຕົ້ນ $V_1 = 3\hat{i} - 2\hat{j} \text{ m/s}$ ຫຼັງຈາກນັ້ນເວລາຜ່ານໄປ 3 ວິນາທີ່ອະນຸພາກນີ້ເຄື່ອນທີ່ໄປດ້ວຍຄວາມໄວ $V = 9\hat{i} + 7\hat{j} \text{ m/s}$ ຈຶ່ງຊອກຫາອັດຕາເລັ່ງຂອງອະນຸພາກນີ້
- ໃນປີ 2013 ວັນຈະມີຈັກວິນາທີ
- ວັດຖຸໜຶ່ງມີຄວາມໜາແໜ້ນ 0.004kg/m^3 ວັດຖຸນີ້ຈະມີຄວາມໜາແໜ້ນເທົ່າໃດໃນຫົວໜ່ວຍ g/cm^3
- ວັດຖຸໜຶ່ງມີມວນສານເທົ່າກັບ 181.86g ເທົ່າກັບ 21.69cm^3 ຈຶ່ງຄຳນວນຫາຄວາມໜາແໜ້ນຂອງວັດຖຸນີ້
- ໃຫ້ $\vec{A} = 6\hat{i} - 8\hat{j}$ ໜ່ວຍ $\vec{B} = -8\hat{i} + 3\hat{j}$ ໜ່ວຍແລະ $\vec{C} = 26\hat{i} + 19\hat{j}$ ຈຶ່ງຊອກຫາຄ່າຂອງ a ແລະ b ທີ່ຢູ່ໃນຮູບແບບສົມຜົນ $a\vec{A} + b\vec{B} + c\vec{C} = 0$
- ຊາຍຄົນໜຶ່ງລອຍນ້ຳດ້ວຍຄວາມໄວເປັນຟັງຊັນຂອງເວລາ $\vec{V} = (4.00t^2 - 5.000t)\hat{i} - t^5\hat{j} \text{ m/s}^2$ ຈຶ່ງຊອກຫາຄວາມແຮງຂອງຊາຍຄົນນີ້ເວລາ 4 ວິນາທີ

ບົດທີ 2

ແຮງແລະກົດເກນການເຄື່ອນທີ່

ເວລາ 6 ຊົ່ວໂມງ

ຈຸດປະສົງ: ໃຫ້ນັກສຶກສາສາມາດ

- ນຳໃຊ້ບັນດາແບບຕັ້ງຕ່າງໆເຂົ້າໃນການແກ້ບົດເຝິກຫັດໄດ້
- ນຳໃຊ້ກົດຈະກຳຕ່າງໆທີ່ໄດ້ຮຽນມາເຂົ້າໃນຊີວິດປະຈຳວັນໄດ້
- ເຮັດການທົດກຽວກັບແຮງງານ ແລະ ການເຄື່ອນທີ່ໄດ້

ກົດຈະກຳ ແລະ ວິທີສອນ

- ການສອນແບບບັນຍາຍ ແລະ ອະທິບາຍ
- ການອນແບບຖາມ - ຕອບ
- ການເຮັດວຽກກຸ່ມ ແລະ ລາຍງານ

ສື່ການສອນ

- ເອກະສານປະກອບການບັນຍາຍ
- ເອກະສານປະກອບການສອນ

ການວັດ ແລະ ປະເມີນຜົນ

- ການມີສ່ວນຮ່ວມຂອງນັກຮຽນໃນເວລາປະຕິບັດກົດຈະກຳ
- ສັງເກດການຕອບຄຳຖາມຂອງນັກຮຽນ
- ສັງເກດການລາຍງານກຸ່ມຂອງນັກຮຽນ

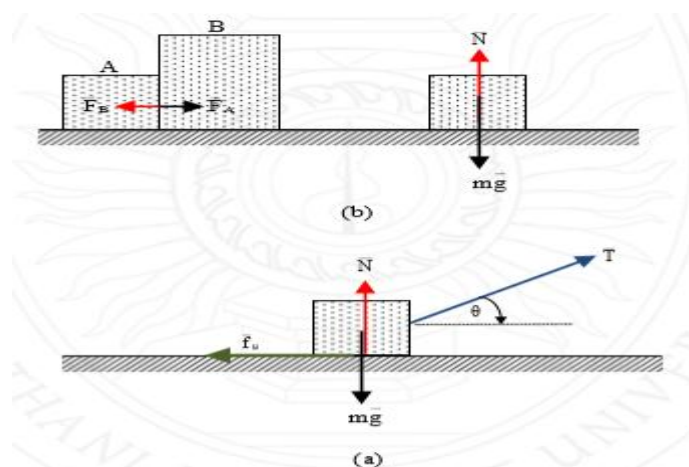
1. ມວນສານແລະແຮງ.

ມວນສານ(Mass)ເປັນປະລິມານທີ່ບົ່ງບອກເຖິງຄ່າຄວາມເຄື່ອນທີ່ຄ່າຄວາມຕ້ານທານຕໍ່ການເຄື່ອນທີ່ ຊຶ່ງເປັນປະລິມານເກລາຣ ມີຄ່າຄົງທີ່ສະເໝີບໍ່ວ່າຈະຢູ່ຕໍາແໜ່ງໃດໆ ມີສັນຍາລັກເປັນ m ມີຫົວໜ່ວຍເປັນກິໂລກຳມ (kg) ເຊັ່ນ ມີວັດຖຸທີ່ມີມວນສານ 10kg ຄວາມຕ້ານເຄື່ອນທີ່ໄດ້ຫຼາຍວັດຖຸມວນ 5kg ກ້ອນໜຶ່ງຢູ່ເທິງໂລກມີມວນ 12kg ເມື່ອນຳໄປທົດວຽກຈົນມວນຂອງກ້ອນນີ້ຍັງຄົງມີມວນເທົ່າກັບ 12kg ເຊັ່ນເດີມເປັນຕົ້ນແຮງ(force) ເປັນປະລິມານຊະນິດໜຶ່ງທີ່ສາມາດປຽນສະພາບການເຄື່ອນທີ່ຫຼືຮູບຮ່າງຂອງວັດຖຸ ຊຶ່ງເປັນປະລິມານເວັກເຕີ ເຊັ່ນ: ແຮງຜັກປະຕູ ກົດຫຼືຍຶດສະບັ່ງ ລາກລົດ ຂວາງກ້ອນຫີນ ຫຼືເຕະບານເປັນຕົ້ນ ຊຶ່ງເປັນແຮງພົບເຫັນໄດ້ໃນກົດຈະກຳປະຈຳວັນ ແຕ່ໂດຍທົ່ວໄປແລ້ວໃນທຳມະຊາດຈະມີແຮງມູນຖານ ປະເພດ 4 ໄດ້ແກ່ ແຮງໂນ້ມຖວ່ງລະຫວ່າງວັດຖຸ (gravitational force) ແຮງແມ່ເລັກໄຟຟ້າ (Electromagnetic force) ໄຟຟ້າບັນຈຸ ແຮງນິວເຄຣຍຍ່າງເຂັ້ມ (Strong nuclear) ແຮງນິວເຄຣຍຍ່າງອ່ອນ (weak nuclear) ນອກຈາກນີ້ຖ້າພິຈາລະນາຊະນິດຂອງແຮງຈາກການສຳຜັດຫຼືບໍ່ສຳຜັດກັນຂອງວັດຖຸສອງອັນຄືແຮງສຳຜັດຄືແຮງທີ່ເກີດຈາກການສຳຜັດທາງກາຍະພາບລະຫວ່າງ

ວັດຖຸສອງອັນ(ແຮງທີ່ຕົນກະທົບກັບໝາກບານ ແຮງຜັກປະຕູ) ແລະສະນາມຂອງແຮງຄື ແຮງທີ່ບໍ່ໄດ້ເກີດຈາກການສຳຜັດລະຫວ່າງວັດຖຸສອງອັນໂດຍຕົງ ແຮງຈະສົ່ງຜ່ານທີ່ວ່າງວັດຖຸສອງ ວັດຖຸຈະດຶງດູດກັນໂດຍແຮງໂນ້ມຖວ່ງ ເຊັ່ນ ແຮງໂນ້ມຖວ່ງລະຫວ່າງໂລກແລະດວງຈັນ ແຮງດຶງດູດຫຼືຜັກລະຫວ່າງໄຟຟ້າບັນຈຸ ເປັນຕົ້ນ ເມື່ອພິຈາລະນາ ແຮງໃນລະບົບຈະພົບວ່າປະກອບດ້ວຍແຮງຕ່າງໆ ເຊັ່ນ ແຮງກົລິຍາ (Action force, $\vec{f}$) ແຮງປະຕິກົລິຍາ (Reaction force, $-\vec{f}$) ແຮງດຶງດູດຂອງໂລກທີ່ເຮັດຕໍ່ວັດຖຸຫຼືແຮງເນື່ອງຈາກນ້ຳໜັກຂອງວັດຖຸ(weight, $\vec{w}$) ແຮງສຽດທານ(frictional force $\vec{f}_\mu$) ແລະແຮງຕຶງເຊືອກ(Tension, T) ເປັນຕົ້ນ

2. ແຮງກົລິຍາ ແຮງປະຕິກົລິຍາ ແລະແຮງຕຶງເຊືອກ.

ແຮງກົລິຍາ(Action force, F)ຄືແຮງທີ່ເຮັດຕໍ່ວັດຖຸທີ່ກຳລັງພິຈາລະນາ ໃນຂະນະທີ່ແຮງປະຕິກົລິຍາ (Reaction force, $-F$)ຄືແຮງທີ່ວັດຖຸເຮັດຕໍ່ຕ້ານແຮງທີ່ມາເຮັດ ມີຂະໜາດຄ່າເທົ່າກັນກັບແຮງທີ່ມາເຮັດແຕ່ມີທິດທາງກົງກັນຂ້າມແລະແຮງປະຕິກິຍາໃນທິດທາງຕັ້ງສາກກັບຜິວສຳຜັດເອີ້ນວ່າ (Normal force, $\vec{N}$) ແຮງຕຶງເຊືອກ (Tension, $\vec{T}$) ຄື ແຮງທີ່ສົ່ງຜ່ານໄປຕາມເສັ້ນສືອກທີ່ຕຶງຂະໜາດຂອງແຮງມີຄ່າເທົ່າກັນຕະຫຼອດທຸກຈຸດເສັ້ນເຊືອກ ທີ່ມີທິດຟັງອອກຈາກວັດຖຸທີ່ກຳລັງພິຈາລະນາ ໃນການຄຳນວນແຮງຕຶງເຊືອກຈະບໍ່ຄິດຜົນຂອງມວນຂອງເສັ້ນເຊືອກມວນເບົາຫຼາຍການພິຈາລະນາແຮງສຳຜັດທີ່ມາເຮັດຕໍ່ວັດຖຸເທົ່ານັ້ນໄດ້ໂດຍການໃຊ້ໂດຍການຂຽນແຜນພາບວັດຖຸອິດສະຫຼະ (Free body diagram) ຊຶ່ງສາມາດຂຽນແຜນພາບແຮງຕ່າງໆທີ່ເຮັດຕໍ່ວັດຖຸຫຼືເອີ້ນແຮງເຫຼົ່ານັ້ນວ່າແຮງຍ່ອຍ(1) ປະກອບໄປດ້ວຍສອງແຮງຄື ແຮງທີ່ຕັ້ງສາກກັບຜິວສຳຜັດມີທິດຟັງເຂົ້າຫາວັດຖຸທີ່ຈາລະນາ ແລະແຮງຕ້ານການເຄື່ອນຂອງວັດຖຸທີ່ພິຈາລະນາ (4) ຂຽນແຮງເນື່ອງຈາກນ້ຳໜັກຂອງວັດຖຸມີທິດຟັງເຂົ້າສູ່ໂລກສະເໝີ ເມື່ອຮວມແຮງຍ່ອຍເຫຼົ່ານັ້ນດ້ວຍກັນຈະໄດ້ແຮງສຸສິ ເອີ້ນວ່າແຮງສຳຜັດ ການຮວມກັນຂອງແຮງຍ່ອຍຕ່າງໆໃຊ້ຫຼັກການດຽວກັນກັບການຮວມແບບເວັກເຕີ ຈາກຮູບ2.1(aແລະb)ວັດຖຸກ້ອນໜຶ່ງວ່າງນຶ່ງຢູ່ພື້ນສາມາດຂຽນແຜນພາບຂອງແຮງຕ່າງໆໄດ້ ສອງແຮງເນື່ອງຈາກນ້ຳໜັກຂອງວັດຖຸ ແລະ ແຮງທີ່ຟື້ນເຮັດຕໍ່ວັດຖຸ (normal force)



ຮູບທີ 2.1 ສະແດງຕົວຢ່າງຂອງແຮງແບບຕ່າງໆທີ່ເຮັດເທິງວັດຖຸ

3. ນ້ຳໜັກ.

ວັດຖຸທຸກຊະນິດຖືກດຶງດູດໂດຍໂລກ ເອີ້ນແຮງທີ່ໂລກເຮັດກັບວັດຖຸວ່າ ແຮງໂນ້ມຖ່ວງ ($\vec{f}_g$) ທີ່ມີທິດຟຸ້ນເຂົ້າຫາຈຸດສູນກາງຂອງໂລກ ເອີ້ນຂະໜາດຂອງແຮງໂນ້ມຖ່ວງນັ້ນວ່ານ້ຳໜັກ(weight)ຂອງວັດຖຸຈາກເລື່ອງການຕົກຍາງອິດສະຫຼະພົບວ່າວັດຖຸຈະຂຶ້ນກັບຄວາມແຮງ $\vec{f}_g$ ດັ່ງນັ້ນຂະໜາດຂອງແຮງໂນ້ມຖ່ວງຫຼືນ້ຳໜັກຂອງວັດຖຸຈະເທົ່າກັບ

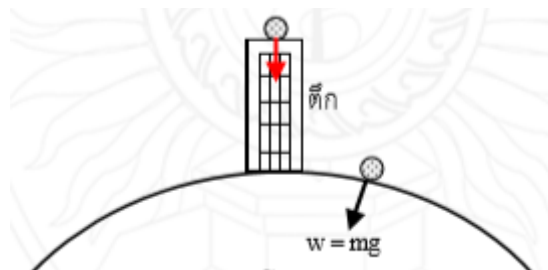
$$w = mg \quad (2.1)$$

ເມື່ອ w ນ້ຳໜັກ (N)

M ມວນສານ (kg)

G ຄວາມເຮັ່ງເນື່ອງຈາກແຮງໂນ້ມຖ່ວງ (m/s)

ແຕ່ເນື່ອງຈາກຄ່າ g ຈະປ່ຽນຕໍາແໜ່ງທາງພູມມິສາດ ດັ່ງນັ້ນນ້ຳໜັກຂອງວັດຖຸຈຶ່ງບໍ່ຄົງທີ່ ຈະຂຶ້ນໂດຍຕົງກັບຄ່າ g ທີ່ວັດໄດ້ ຕໍາແໜ່ງນັ້ນໆ ຊຶ່ງຈະມີຄ່ານ້ອຍລົງເມື່ອວັດຖຸຢູ່ຫ່າງຈາກຈຸດສູນກາງໂລກຫຼາຍຂຶ້ນ ເຊັ່ນ ວັດຖຸມວນສານ 5kg ເມື່ອວາງໄວ້ໃນຕາແໜ່ງຜິວໂລກຈະມີນ້ຳໜັກເທົ່າກັບ 49.15 N ເນື່ອງຈາກຄ່າ g ທີ່ວັດໄດ້ມີຄ່າປະມານ 9.83 m/s² ໃນຂະນະທີ່ນ້ຳວັດຖຸນີ້ ໄປວ່າງໄວ້ບົນຕົກສູງຈາກຜິວໂລກ ນ້ຳໜັກທີ່ຊັງໄດ້ເທົ່າກັບ 48.85N ເນື່ອງຈາກຄ່າ g ທີ່ວັດໄດ້ມີຄ່ານ້ອຍລົງປະມານ 9.77m/s² ດັ່ງຮູບທີ່ 2.2 ເປັນຕົ້ນ



ຮູບທີ 2.2 ສະແດງຕໍາແໜ່ງການວ່າງແລະທິດຂອງແຮງດຶງດູດຂອງໂລກກະທົບຕໍ່ວັດຖຸ

4. ແຮງຮຸກຖູ.

ແຮງຮຸກຖູ(friction force)ແຮງທີ່ຕ້ານການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸ ເກີດຂຶ້ນລະຫວ່າງຜິວສໍາຜັດຂອງວັດຖຸ ໂດຍມີທິດທາງກົງກັນຂ້າມກັບການເຄື່ອນທີ່ ດັ່ງຮູບທີ່ 2.3 ແຮງຮຸກຖູຈະເກີດຂຶ້ນເມື່ອຜິວສໍາຜັດຂອງວັດຖຸແຕ່ລະຄູ່ນັ້ນມີຄວາມຫຍາບແລ້ວຈະບໍ່ມີແຮງຮຸກຖູເມື່ອຜິວສໍາຜັດຂອງວັດຖຸແລະລະຄູ່ນັ້ນລຽບ ເຊັ່ນ ລົດທີ່ແລ່ນຕາມທາງ ລໍ້ຂອງລົດຈະເກາະຍຶດຕິດກັບຜືນໄດ້ຢ່າງດີ ເນື່ອງຈາກລໍ້ລົດມີດອກຍາງຊຶ່ງມີຄວາມບໍ່ລຽບເຊັ່ນດຽວກັນກັບຟື້ນເຮັດບໍ່ໃຫ້ເກີດການລີ່ນຂອງລົດໃນຂະນະດຽວຖ້າລໍ້ຂອງລົດບໍ່ມີດອກຍາງຫຼືມີນ້ຳບິນຟື້ນລໍ້ຂອງລົດຈະບໍ່ສາມາດເກາະຕິດກັບທາງເຮັດໃຫ້ເກີດການໝົ່ນຂອງລົດຊຶ່ງອາດຈະເຮັດໃຫ້ເກີດອຸບັດຕິເຫດຂຶ້ນໄດ້ໃນທາງກົງກັນຂ້າມ ແຮງຮຸກຖູ

ເຮັດໃຫ້ສິ້ນເບື້ອງພະລັງງານຕ້ອງໃຊ້ພະລັງງານຫຼາຍຂຶ້ນເນື່ອງຈາກວັດຖຸເຄິ່ນທີ່ຊ້າໂດຍແຮງຮຸກຮູນສາມາດແບ່ງອອກ
ເປັນ 2 ຊະນິດຄື

1. ແຮງຮຸກຮູນສະຖິຕິ (static friction) ແທນດ້ວຍຄືແຮງຮຸກຮູນທີ່ເກີດຢູ່ໃນສະພາວະຢຸດນຶ່ງ ແຮງຮຸກຮູນສະຖິຕິ ຈະມີຄ່າບໍ່ຄົງທີ່ ຈະມີຄ່າເພີ່ມຂຶ້ນຫຼືລຸດລົງຕາມແຮງທີ່ກະທົບຕໍ່ວັດຖຸຕາມສົມຜົນຫຼັກນີ້

$$\vec{f}_s = \mu_s N$$

$\vec{F}_s$ ແຮງຮຸກຮູນສະຖິຕິ (N)

μ_s ສໍາປະສິດຂອງແຮງຮຸກຮູນສະຖິຕິ N

N ແຮງປະຕິກິລິຍາທີ່ພື້ນກະທົບໃສ່ວັດຖຸ(N)

2. ແຮງຮຸກຮູນເຄື່ອນ(Kinetic friction) ແທນດ້ວຍ ແຮງຮຸກຮູນທີ່ເກີດໃນສະພາວະວັດຖຸກາລັງເຄື່ອນທີ່ຕາມ ສົມຜົນ ດັ່ງນີ້

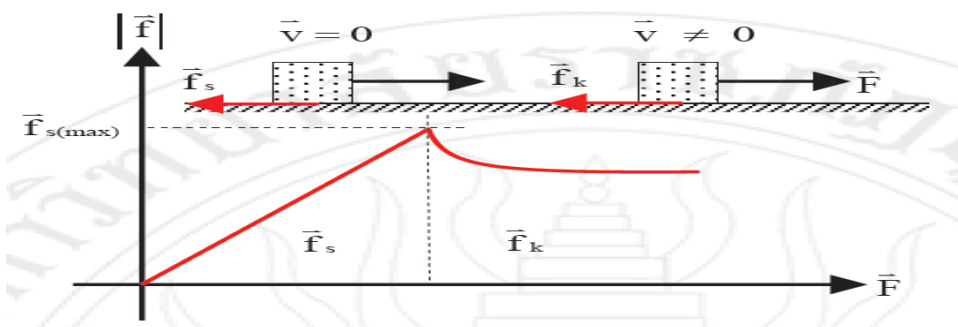
$$\vec{f}_k = \mu_k N$$

$\vec{F}_k$ ແຮງຮຸກຮູນສະຖິຕິ (N)

μ_k ສໍາປະສິດຂອງແຮງຮຸກຮູນສະຖິຕິ N

N ແຮງປະຕິກິລິຍາທີ່ພື້ນກະທົບວັດຖຸ N

ຖ້າອອກແຮງດຶງວັດຖຸເທິງພື້ນໃນແນວລະດັບ ເລີ່ມຕົ້ນວັດຖຸຈະຍັງຄົງຢູ່ກັບທີ່ ເພາະພື້ນມີແຮງຮຸກຮູນຫຼາຍກວ່າແຮງທີ່ດຶງແຕ່ຖ້າອອກແຮງເພີ່ມຂຶ້ນ ແຮງຮຸກຮູນຈະເພີ່ມຂຶ້ນເທົ່າກັບແຮງຜັກຈົນເມື່ອເພີ່ມແຮງຂຶ້ນ ໄປເຖິງຄ່າໜຶ່ງ ວັດຖຸຈະເລີ່ມເຄື່ອນທີ່ເຮັດໃຫ້ແຮງຮຸກຮູນລົດລົງ ກາຍເປັນແຮງຮຸກຮູນເຄື່ອນທີ່ແລະຈະຄົງທີ່ຈະຫຼອດການເຄື່ອນທີ່ ດັ່ງຮູບ 2.3

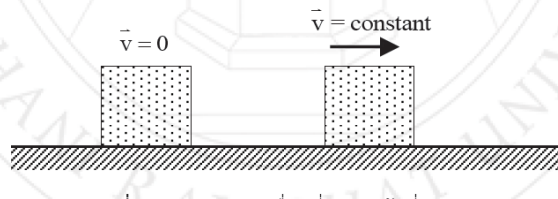


5. ກົດການເຄື່ອນທີ່ຂໍ້ທີ 1 ຂອງນິວເຕັນ

ວັດຖຸທີ່ຮັກສາສະຖານະການຄົງທີ່ຫຼືສະພາວະເຄື່ອນທີ່ຢ່າງສະໝໍ່າສະເໝີໃນເສັ້ນຊື່ນອກຈາກຜົນໄດ້ຮັບເຊິ່ງມີມູນຄ່າທີ່ບໍ່ແນ່ນອນໝາຍຄວາມວ່າວັດຖຸໃດໜຶ່ງບໍ່ເຄື່ອນທີ່ຍັງຢູ່ຈຸດເກົ່າ ແລະ ຖ້າວັດຖຸຫາກເຄື່ອນທີ່ດ້ວຍຄວາມໄວຄົງທີ່ ແລະ ຄວາມເລັ່ງເທົ່າສູນຖ້າບໍ່ມີຄວາມແຮງພາຍນອກມາກະທົບໃສ່ວັດຖຸດັ່ງຮູບສາມາດນິຍາມສົມຜົນໄດ້ຄື



$$\Sigma \vec{F} = 0$$



a. ກົດການເຄື່ອນທີ່ຂໍ້ທີ 2 ຂອງນິວເຕັນ

ສໍາລັບການເຄື່ອນທີ່ຂໍ້ທີ 2 ຂອງນິວເຕັນຫຼືກົດຂອງແຮງມີລົມມີຄ່າບໍ່ເທົ່າສູນມາກະທົບໃສ່ວັດຖຸຈະເຮັດໃຫ້ວັດຖຸເກີດມີແຮງໃນທິດທາງດຽວກັບແຮງລົມທີ່ມາກະທົບໃສ່ໂດຍທີ່ຂອງຂະໜາດຂອງຄວາມແຮງຈະແປຜົນກົງກັບຂອງຂະໜາດຂອງຄວາມແຮງລົມຕາມການສໍາຜັດ

$$\vec{a} \propto \vec{F}$$

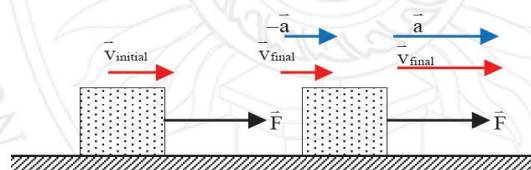
ເຊິ່ງໝາຍຄວາມວ່າເມື່ອຢູ່ວັດຖຸໃຫ້ແຮງຂຶ້ນຄວ່ມແຮງຂອງວັດຖຸກໍຈະຫຼາຍຂຶ້ນຕາມໄປດ້ວຍຂະໜາດຂອງຄວາມແຮງຈະແປຜົນກັບມວນສານຂອງວັດຖຸຕາມການສໍາຜັດ

$$\vec{a} \propto \frac{1}{m}$$

ເຊິ່ງໝາຍຄວາມວ່າເມື່ອອອກແຮງເທົ່າກັນວັດຖຸສອງອັນເຊິ່ງມີມວນສານບໍ່ເທົ່າກັນວັດຖຸທີ່ມີມວນສານຫຼາຍຈະເຄື່ອນທີ່ດ້ວຍຄວາມເລັ່ງນ້ອຍກ່ວາວັດຖຸທີ່ມີມວນສານນ້ອຍເຮົາສາມາດນິຍາມສົມຜົນໄດ້ດັ່ງນີ້

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$$

$$\Sigma \vec{F}_x = m\vec{a}_x \quad \Sigma \vec{F}_y = m\vec{a}_y \quad \text{ແລະ} \quad \Sigma \vec{F}_z = m\vec{a}_z$$

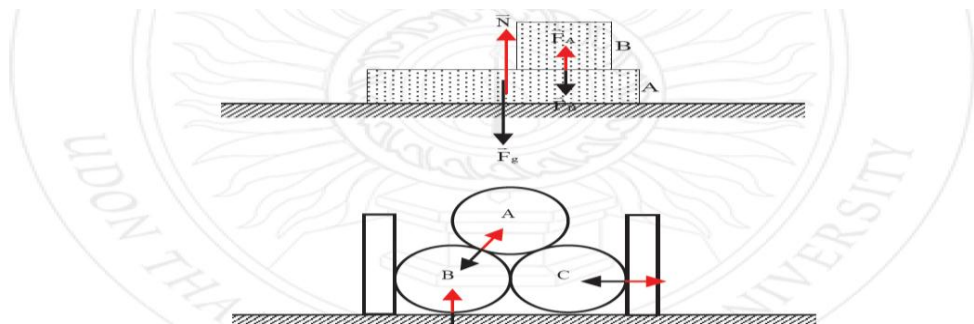


b. ກົດການເຄື່ອນທີ່ຂໍ້ທີ 3 ຂອງນິວເຕັນ

ສຳລັບການເຄື່ອນທີ່ຂໍ້ທີ 3 ຂອງນິວເຕັນກົດຂອງການປະຕິກິລິຍາກ່າວວ່າທຸກແຮງປະຕິກິລິຍາຕ້ອງມີແຮງປະຕິກິລິຍາທີ່ມີຂະໜາດເທົ່າກັນ ແລະ ທິດກົງກັນຂ້າມສະເໝີສາມາດນິຍາມສົມຜົນໄດ້

$$F_1 = -F_2$$

ເຮົາຈະພົບເຫັນວ່າເມື່ອມີແຮງປະຕິກິລິຍາເກີດຂຶ້ນສະເໝີເຊິ່ງເປັນແຮງທີ່ກະທົບຕໍ່ມວນສານທີ່ຕ່າງກັນ ແລະ ເກີດຂຶ້ນພ້ອມກັນເປັນຄູ່ສະເໝີຈະເຫັນວ່າແຮງທີ່ກະທົບຕໍ່ວັດຖຸທີ່ວາງໄວ້ຢູ່ພື້ນຈະມີສອງຄູ່ໂດຍຄູ່ທີ 1 ເປັນແຮງທີ່ເກີດຈາກພື້ນກະທົບໃສ່ວັດຖຸ ແລະ ເປັນແຮງທີ່ເກີດຈາກວັດຖຸກະທົບໃສ່ພື້ນ ແລະ ຄູ່ທີ 2 ເປັນແຮງທີ່ເກີດຈາກໂລກກະທົບໃສ່ວັດຖຸ ແລະ ວັດຖຸ 3 ກ້ອນແຮງທີ່ເກີດຈາກວັດຖຸກະທົບໃສ່ໂລກ



ບົດເຝິກຫັດ

1. ວັດຖຸໜຶ່ງມີມວນສານ 2 kg ເຄື່ອນທີ່ສະເໝີຕາມພື້ນພຽງໄປໄດ້ໄລຍະທາງ 600 m ຖາມວ່າຄວາມແຮງທີ່ເຮັດໃຫ້ວັດຖຸເຄື່ອນທີ່ໄດ້ຜະລິດແຮງງານອອກເທົ່າໃດ ໃຫ້ຮູ້ສໍາປະສິດຮຸກຖູແມ່ນ $0,02$, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$
2. ຄົນຜູ້ໜຶ່ງຍູ້ວັດຖຸມີມວນສານ 50 kg ຂຶ້ນຕາມພື້ນອ່ຽງຍາວ 1,6 m ດ້ວຍຄວາມໄວຄົງຄ່າພື້ນອ່ຽງປະກອບກັບພື້ນເປັນມຸມ 30 ອົງສາຈຶ່ງຊອກຫາຄວາມແຮງທີ່ໃຊ້ໃນການຍູ້ວັດຖຸ ແລະ ແຮງງານທີ່ຄົ້ນຜູ້ນັ້ນຜະລິດອອກໃນສອງກໍລະນີ
- ກ. ຖ້າພື້ນອ່ຽງກັບວັດຖຸບໍ່ມີຄວາມແຮງຮຸກຖູ
- ຂ. ຖ້າພື້ນອ່ຽງກັບວັດຖຸມີຄວາມແຮງຮຸກຖູ 60 N
3. ຄົນຜູ້ໜຶ່ງມີມວນສານ 60 kg ແລ່ນຂຶ້ນຂັ້ນໃດອາຄານ 8 ຂັ້ນ ແຕ່ລະຂັ້ນສູງ 30 cm ດ້ວຍຄວາມໄວຄົງຄ່າໂດຍໃຊ້ຄວາມໄວຄົງຄ່າ 10 s ຈຶ່ງຄິດໄລ່ກາລັງຂອງຄົນຜູ້ນັ້ນ.
4. ວັດຖຸໜຶ່ງມີມວນສານ 10 kg ຢູ່ລື້ນເທິງພື້ນອ່ຽງທີ່ປະກອບກັບລວງນອນເປັນມຸມ 45 ອົງສາຢູ່ລະດັບສູງທຽບກັບພື້ນ 4 m ແລ້ວປ່ອຍໃຫ້ໄຫຼລົງຕາມພື້ນອ່ຽງໃຫ້ຮູ້ສໍາປະສິດຮຸກຖູແມ່ນ $0,02$, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

ບົດທີ 3

ງານ ແລະ ພະລັງງານ

ເວລາ 6 ຊົ່ວໂມງ

ຈຸດປະສົງ: ໃຫ້ນັກຮຽນສາມາດ

- ນຳໃຊ້ບັນດາແບບຕັ້ງຕ່າງໆເຂົ້າໃນການແກ້ບົດເຝິກຫັດໄດ້
- ນຳໃຊ້ກົດຈະກຳຕ່າງໆທີ່ໄດ້ຮຽນມາເຂົ້າໃນຊີວິດປະຈຳວັນໄດ້
- ເຮັດການທົດກ່ຽວກັບແຮງງານ ແລະ ພະລັງງານໄດ້

ກົດຈະກຳ ແລະ ວິທີສອນ

- ການສອນແບບບັນຍາຍ ແລະ ອະທິບາຍ
- ການອນແບບຖາມ - ຕອບ
- ການເຮັດວຽກກຸ່ມ ແລະ ລາຍງານ

ສື່ການສອນ

- ເອກະສານປະກອບການບັນຍາຍ
- ເອກະສານປະກອບການສອນ

ການວັດ ແລະ ປະເມີນຜົນ

- ການມີສ່ວນຮ່ວມຂອງນັກຮຽນໃນເວລາປະຕິບັດກົດຈະກຳ
- ສັງເກດການຕອບຄຳຖາມຂອງນັກຮຽນ
- ສັງເກດການລາຍງານກຸ່ມຂອງນັກຮຽນ

1. ງານ(work)

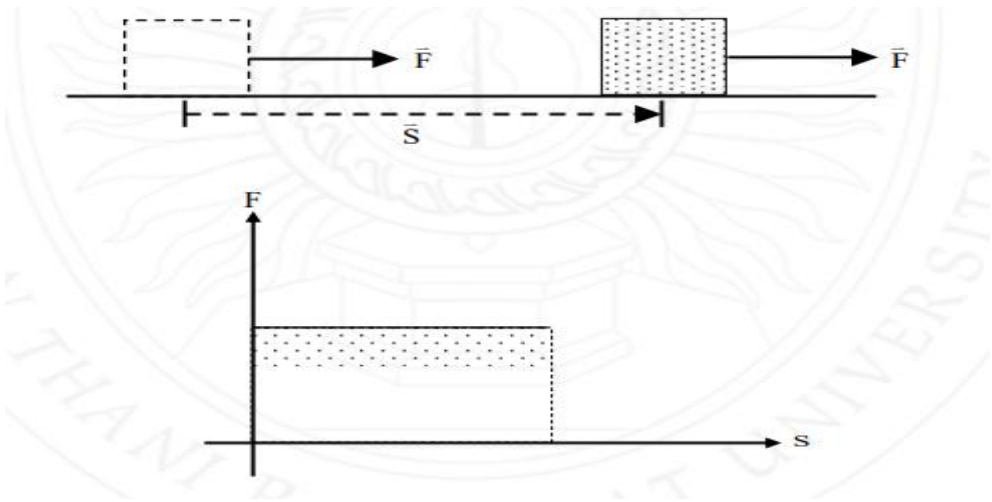
ໃນທາງຟີຊິກໝາຍເຖິງແຮງກະທົບຕໍ່ວັດຖຸໃນແນວດຽວກັນກັບການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸ ຄູນກັບໄລຍະທາງຂອງວັດຖຸທີ່ເຄື່ອນທີ່ໄປໄດ້ ເປັນປະລິມານດັ່ງຮູບຂ້າງລຸ່ມ ສາມາດຂຽນສົມຜົນໄດ້:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{S}$$

ເມື່ອ w ແມ່ນແຮງທີ່ກະທົບມີຫົວໜ່ວຍເປັນຈູນ (J) ຫຼື (N.m)

$\vec{F}$ ແມ່ນແຮງທີ່ກະທົບກັບວັດຖຸ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນນິວເຕິນ (N)

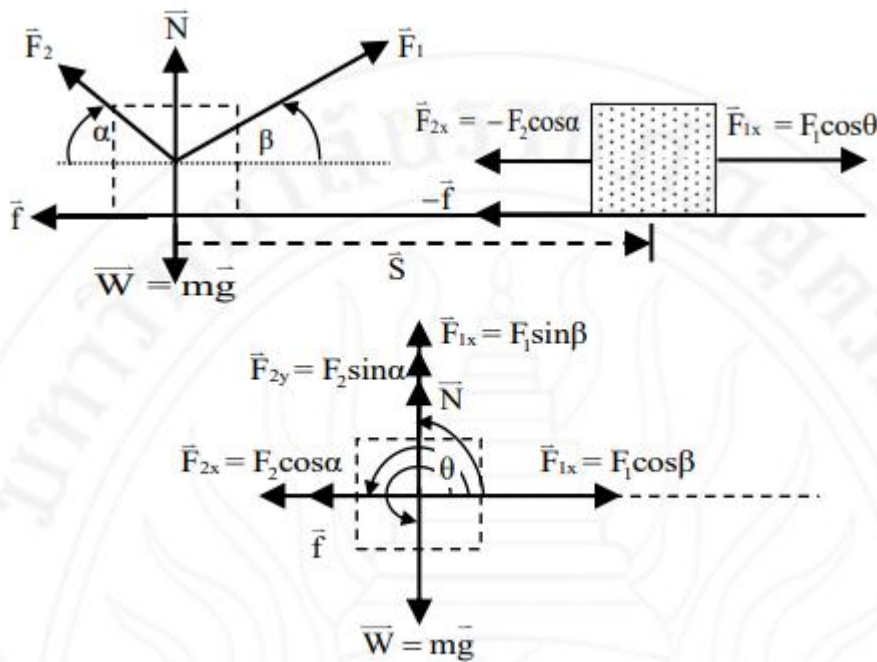
$\vec{S}$ ແມ່ນໄລຍະທາງທີ່ວັດຖຸເຄື່ອນທີ່ໄປໄດ້ ຕາມແຮງທີ່ກະທົບ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ (m) ແລະເຮົາສາມາດຂຽນກາຟຄວາມສຳພັນລະຫວ່າງແຮງກະທົບຕໍ່ວັດຖຸແລະການເຄື່ອນທີ່ ສະແດງດັ່ງຮູບ



ຮູບ 3.1 ສະແດງເຖິງແຮງທີ່ກະທົບຕໍ່ວັດຖຸໃນທິດທາງດຽວກັນກັບໄລຍະທາງ ແລະ ກາຟສະແດງຄວາມສຳພັນ

ລະຫວ່າງແຮງ

ແລະ ໄລຍະທາງ



ຮູບທີ 3.2 ສະແດງເຖິງການພິຈາລະນາແຮງທີ່ກະທົບຕໍ່ວັດຖຸ

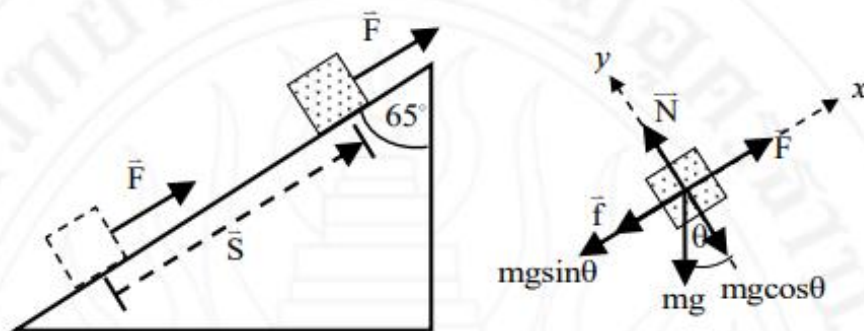
ຖ້າມີແຮງທີ່ມາກະທົບໃສ່ວັດຖຸຢູ່ໃນທາງດຽວກັນກັບວັດຖຸ ການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸ ຈາກຮູບທີ 3.2 ສາມາດ ຄຳນວນຫາງານໄດ້ໂດຍວິທີການແຍກເວັກເຕີ ຂອງແຮງອອກເປັນເວັກເຕີຍ່ອຍຕາມແຖນ x ແລະ y ດັ່ງຮູບທີ 3.2 ເມື່ອເຮັດການແຍກອົງປະກອບຂອງເວັກເຕີຕາມແຖນ x ແລະ y ແລະ ຈະເຫັນວ່າແຮງຢູ່ໃນທາງດຽວກັນກັບການ ເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸ $\vec{F}_{1x}$ $\vec{F}_{2x}$ ແລະ $\vec{f}$ ແລະ ເມື່ອພິຈາລະນາທິດທາງຂອງແຮງທີ່ກະທົບວັດຖຸ ໂດຍພິຈາລະນາ ຈາກມຸມ ($\cos \theta$) ຂອງເວັກເຕີທີ່ກະທົບ +x ພົບວ່າເວັກເຕີ $\vec{F}_{1x}$ ເປັນມຸມ 0° ກັບແຖນ +x ເຮັດໃຫ້ $\cos 0^\circ$ ມີຄ່າ

ເທົ່າກັບ+1 ດັ່ງນັ້ນງານທີ່ໄດ້ຈະມີຄ່າບວກ ສ່ວນເວັກຕິ $\vec{F}_{2x}$ ແລະ $\vec{f}$ ມີທິດມຸມ 180° ກັບແກນ $+x$ ເຮັດໃຫ້ $\cos 180^\circ$ ມີຄ່າເທົ່າກັບ -1 ດັ່ງນັ້ນງານທີ່ທຳຈະມີຄ່າເປັນລົບ ໃນຂະນະທີ່ຄວາມແຮງບໍ່ໄດ້ຢູ່ໃນທາງດຽວກັນກັບການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸຕິ $\vec{F}_{1y} \vec{F}_{2y} \vec{N}$ ເປັນມຸມ 90° ກັບແກນ $+x$ ເຮັດໃຫ້ $\cos 90^\circ$ ມີຄ່າເທົ່າ 0 ດັ່ງນັ້ນງານທີ່ທຳໄດ້ຈະມີຄ່າເທົ່າສູນ ສ່ວນເວັກຕິ $\vec{w}$ ມີທິດເປັນມຸມ 270° ກັບແກນ $+x$ ເຮັດໃຫ້ $\cos 270^\circ$ ມີຄ່າເທົ່າກັບສູນ ດັ່ງນັ້ນງານທີ່ເຮັດໄດ້ຈະມີຄ່າເປັນສູນ ເຊັ່ນດຽວກັນຈະເຫັນງານທີ່ເຮັດໃຫ້ເກີດງານພຽງ 3 ງານຄື $\vec{F}_{1x} \vec{F}_{2x}$ ແລະ $\vec{f}$ ເພາະຢູ່ໃນທາງດຽວກັນກັບການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸ ສ່ວນອື່ນໆບໍ່ເຮັດໃຫ້ເກີດງານດັ່ງນັ້ນສົມຜົນທີ (3.1) ສາມາດຂຽນສົມຜົນໃນຮູບແບບໃໝ່ໄດ້ດັ່ງນີ້:

$$W = (F \cos \theta) S$$

ເມື່ອ θ ແມ່ນມຸມລະຫວ່າງທິດທາງຂອງການເຄື່ອນທີ່ກະທົບກັບການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸ

ຕົວຢ່າງທີ 1: ກ່ອງໃບໜຶ່ງຖືກແກ່ຂຶ້ນເທິງພື້ນຮຽງດ້ວຍຄວາມແຮງ $1.2 \times 10^3 \text{ N}$ ເປັນໄລຍະທາງ 5m ຢາກຮູ້ວ່າງານທີ່ເກີດຂຶ້ນຈາກການແກ່ກ່ອງ ມີຄ່າເທົ່າໃດ ເມື່ອພື້ນກ່ອງມີໜັກ 0,5 Kg ແລະສຳປະສິດຂອງແຮງຮຸກຖຸລະຫວ່າງກ່ອງ ແລະ ພື້ນມີຄ່າເທົ່າກັບ 0,2



ຮູບທີ:3.3 ການພິຈາລະນາແຮງເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸ

$$\text{ວິທີແກ້:ຈາກ } W = \vec{F} \cdot \vec{S}$$

ຈາກການພິຈາລະນາແຮງທີ່ກະທົບກັບກ່ອງຈະໄດ້:

- ແຮງກະທົບໃນແກນ y ບໍ່ມີການເກີດງານ
- ແຮງທີ່ເຮັດໃຫ້ເກີດງານໃນແກນ x

$$w_{\vec{F}} = \vec{F} \cdot \vec{S} = (F \cos 0^\circ) S = (1,2 \times 10^3 \text{ N} \times 1)(5\text{m}) = 600 \text{ J}$$

$$w_{\vec{F}} = (\vec{F}_{\vec{f}}) \cdot \vec{S}$$

$$= (\mu \vec{N}) \cdot \vec{S}$$

$$= (\mu \times mg \times \cos 25^\circ \times \cos 180^\circ)(S)$$

$$= (0,2 \times 50 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,906 \times (-1))(5\text{m})$$

$$= -443,94 \text{ J}$$

$$w_{mgx} = (\vec{F}_{mgx}) \cdot \vec{S}$$

$$= (mg \times \sin 25^\circ \times \cos 180^\circ)(5\text{m})$$

$$= (50 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,422 \times (-1))(5\text{m})$$

$$= -1033,9 \text{ J}$$

ດັ່ງນັ້ນງານທີ່ໄດ້ຈະມີຄ່າເທົ່າກັບຜົນບວກຂອງງານທີ່ເກີດຂຶ້ນຈາກແຮງກະທົບກັບກ່ອງທັງໝົດຈະໄດ້ວ່າ:

$$\begin{aligned} w_T &= w_F + w_{mgx} + w_{\vec{f}} + w_{mgy} + w_N \\ &= (6000 - 44,3 - 1033,9 + 0 + 0) \text{ J} \\ &= 452,16 \text{ J} \end{aligned}$$

2. ງານເນື່ອງຈາກແຮງບໍ່ຄົງທີ່

ເມື່ອມີການປ່ຽນແປງຂະໜາດຄວາມແຮງ ຫຼື ທິດທາງໃນການເຄື່ອນທີ່ ຂອງວັດຖຸສະແດງດັ່ງຮູບ: 3.4 ເຮັດໃຫ້ເກີດການປ່ຽນແປງຂອງງານ ໃນແຕ່ລະໄລຍະຂອງການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸ ເພື່ອທີ່ຈະຫາຜົນລວມທີ່ເກີດຂຶ້ນ ສາມາດຫາໄດ້ຈາກຜົນລວມຂອງງານຍ່ອຍໆ ເຊິ່ງເກີດຈາກຜົນຄູນຂອງແຮງຍ່ອຍໆ ($\vec{F}_1 \vec{F}_2 \vec{F}_3 \dots \vec{F}_n$) ກັບໄລຍະທາງຂອງວັດຖຸໃນຊ່ວງສັ້ນໆ ($\Delta \vec{r}_{12} \Delta \vec{r}_{23} \Delta \vec{r}_{34} \dots \Delta \vec{r}_n$) ດັ່ງນັ້ນງານທັງໝົດທີ່ເກີດຈາກແຮງກະທົບ ໃຫ້ວັດຖຸເຄື່ອນທີ່ຈາກຕກແໜ່ງ A ໄປຫາ B

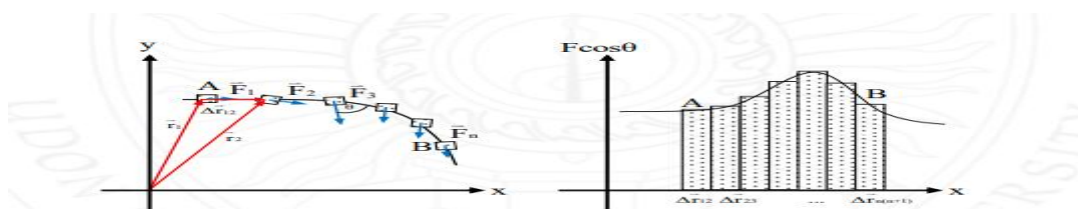
$$w_{AB} = w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n$$

$$w_{AB} = \vec{F}_1 \cdot \Delta \vec{r}_{12} + \vec{F}_2 \cdot \Delta \vec{r}_{23} + \vec{F}_3 \cdot \Delta \vec{r}_{34} + \dots + \vec{F}_n \cdot \Delta \vec{r}_{n(n+1)}$$

$$w_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

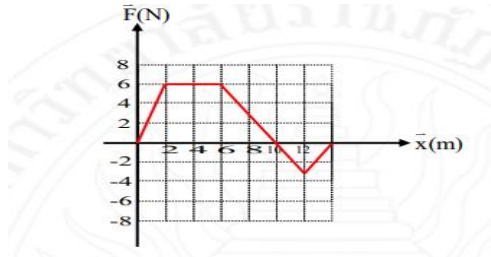
$$w_{AB} = \int_A^B (F \cos \theta) dr$$

ແລະສາມາດຂຽນກາຟຄວາມສຳພັນລະຫວ່າງແຮງກະທົບກັບວັດຖຸກັບໄລຍະທາງ ສະແດງດັ່ງຮູບ ທີ 3.4



ຮູບທີ 3.4 ສະແດງແຮງບໍ່ຄົງທີ່ກະທົບຕໍ່ວັດຖຸແລະກາຟ ຄວາມສຳພັນລະຫວ່າງແຮງ ແລະ ໄລຍະທາງ

ຕົວຢ່າງທີ 3.2 ວັດຖຸໜຶ່ງຖືກແຮງບໍ່ຄົງທີ່ກະທົບໃຫ້ເກີດການເຄື່ອນທີ່ ໃດ້ກາຟການປ່ຽນແປງດັ່ງຮູບ 3.5 ຈຶ່ງຫາ
ຜົນລວມທີ່ເກີດຂຶ້ນ



ຮູບທີ 3.5 ກາຟຄວາມສຳພັນລະຫວ່າງແຮງກະທົບຕໍ່ວັດຖຸ ແລະ ເວລາ

ວິທີແກ້: ຈາກບົດເລກຈະໄດ້ວ່າງານເທົ່າກັບພື້ນທີ່ໄດ້ກາຟ ເຊິ່ງສາມາດແບ່ງອອກເປັນ 5 ຊ່ວງຄື:

ຊ່ວງທີ 1 ໄລຍະທາງ $x = 0$ ຫາ $x = 2$

$$W_{x=0 \rightarrow 2} = \frac{1}{2} \times 6 \times 2 = 6J$$

ຊ່ວງທີ 2 ໄລຍະທາງ $x = 2$ ຫາ $x = 6$

$$W_{x=2 \rightarrow 6} = \vec{F} \cdot \vec{S} = 6 \times 4 = 24J$$

ຊ່ວງທີ 3 ໄລຍະທາງ $x = 6$ ຫາ $x = 10$

$$W_{x=6 \rightarrow 10} = \frac{1}{2} \vec{F} \cdot \vec{S} = \frac{1}{2} 6 \times 4 = 12J$$

ຊ່ວງທີ 4 ໄລຍະທາງ $x = 10$ ຫາ $x = 12$

$$W_{x=12 \rightarrow 14} = \frac{1}{2} \vec{F} \cdot \vec{S} = \frac{1}{2} \times (-2, 5) \times 2 = -2,5J$$

ຊ່ວງທີ 5 ໄລຍະທາງ $x = 10$ ຫາ $x = 12$

$$W_{x=12 \rightarrow 14} = \frac{1}{2} \vec{F} \cdot \vec{S} = \frac{1}{2} \times (-2, 5) \times 2 = -2,5J$$

ດັ່ງນັ້ນຜົນລວມທີ່ໄດ້ຕັ້ງແຕ່ໄລຍະທາງ $x = 0$ ຫາ $x = 12$

$$W_{x=0 \rightarrow 12} = 6 + 24 + 1 - 2,5 - 2,5 = -37 J$$

3. ພະລັງງານຈີນ

ພະລັງງານ (Energy) ເປັນປະລິມານຄ້າຍກັບງານ ແຕ່ຈະກ່າວເຖິງຄວາມສາມາດໃນການເຮັດວຽກຂອງວັດຖຸໃນຕໍາແໜ່ງອ້າງອີງ ໄປຫາຕໍາແໜ່ງທີ່ວັດຖຸຢູ່ ມີພະລັງງານຫຼາຍຮູບແບບເຊັ່ນ: ພະລັງງານເຄມີ, ພະລັງງານຄວາມຮ້ອນ, ພະລັງງານແສງ, ພະລັງງານເດີນເຄື່ອນເປັນຕົ້ນ ແຕ່ໃນທາງກົນລະສາດຈະສຶກສາພະລັງງານເດີນເຄື່ອນ ແລະ ພະລັງງານໄຟຟ້າ ເຊິ່ງເອີ້ນວ່າ: ພະລັງງານກົນ

ເມື່ອມີແຮງເຮັດໃຫ້ວັດຖຸ ເຄື່ອນທີ່ຈາກຕໍາແໜ່ງ A ຫາ B ດ້ວຍຄວາມໄວ u ໄປປ່ຽນເປັນ V ເປັນໄລຍະທາງ s ສະແດງດັ່ງຮູບ ເຮົາສາມາດຫາງານທັງໝົດທີ່ເກີດຂຶ້ນໄດ້ໂດຍຈາກກົດເກນທີ 2 ຂອງນິວເຕັນຄື:

$$\text{ຈາກ } \sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} \text{ ແລະ } v^{-2} = u^{-2} + 2\vec{a} \cdot \vec{s} \text{ ຫຼື } \vec{a} = \frac{(v^{-2} - u^{-2})}{2\vec{s}}$$

$$\text{ແທນຄ່າ } \vec{a} \text{ ໃສ່ສົມຜົນຈະໄດ້ } \sum \vec{F} = \frac{m(v^{-2} - u^{-2})}{2\vec{s}}$$

$$\sum \vec{F} \cdot \vec{s} = \frac{m v^{-2} - m u^{-2}}{2}$$

$$\sum W = \frac{m v^{-2}}{2} - \frac{m u^{-2}}{2} \quad (3.4)$$

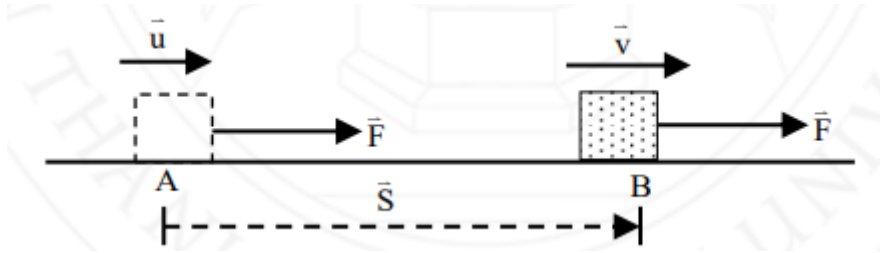
ສາມາດນິຍາມຜົນຕ່າງທີ່ໄດ້ວ່າເປັນ: ທິດສະດີງານ-ພະລັງງານ ແລະ ເອີ້ນປະລິມານມວນສານ ຄູນກັບຄວາມໄວ ກໍາລັງສອງຫານດ້ວຍສອງວ່າ: ພະລັງງານເດີນເຄື່ອນ ສາມາດຂຽນສົມຜົນເປັນ:

$$E_K = \frac{1}{2} m v^2$$

ເມື່ອ E_K ແມ່ນພະລັງງານເດີນເຄື່ອນ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນຈຸນ (J)

m ແມ່ນມວນສານຂອງວັດຖຸມີຫົວໜ່ວຍເປັນ (kg)

v ແມ່ນຄວາມໄວຂອງວັດຖຸມີຫົວໜ່ວຍເປັນ ແມັດຕໍ່ວິນາທີ (m/s)



ຮູບທີ 3.6 ແຮງທີ່ກະທົບຕໍ່ວັດຖຸເຮັດໃຫ້ວັດຖຸປ່ຽນແປງຄວາມໄວ u ໄປເປັນ v

ຕົວຢ່າງທີ 3: ອອກແຮງຍູ້ລົດດ້ວຍມວນສານ $2,5 \times 10^3 \text{ kg}$ ຈາກສະພາບຢຸດນຶ່ງໃຫ້ເລີ່ມເຄື່ອນທີ່ດ້ວຍຄວາມໄວ v ແລະ ໄລຍະທາງ 25 m ດ້ວຍພະລັງງານເທົ່າກັບ 5000 J ຖ້າບໍ່ມີແຮງຮຸກຮຸນຈຶ່ງຊອກຫາ (a) ຄວາມໄວ v (b) ຂອງ ແຮງທີ່ກະທົບລົດຄັນນີ້

ວິທີແກ້: (a) ຈາກ $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

ຈະໄດ້: $\vec{v} = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}$

$\vec{v} = \sqrt{\frac{2 \times 5000 \text{ J}}{2,5 \times 10^3 \text{ kg}}}$

$\vec{v} = 2 \text{ m/s}$

(b) ຈາກ $v^2 = u^2 + 2as$

$(2)^2 = (0)^2 + 2\vec{a}(25)$

$\vec{a} = 2 \text{ m/s}^2$

ແລະຈາກ $\vec{F} = m\vec{a}$

$\vec{F} = 2,5 \times 10^3 \text{ kg} \times 0,08 \text{ m/s}^2$

$\vec{F} = 200 \text{ N}$

4 ພະລັງງານສັກ

ພະລັງງານສັກ ແມ່ນພະລັງງານທີ່ສະສົມຢູ່ໃນຕົວຂອງວັດຖຸທີ່ຕໍາແໜ່ງອື່ນໆໃນລະບົບ ແບ່ງເປັນ 2 ແບບຄື: ພະລັງສັກດຶງດູດ ແລະ ພະລັງງານສັກຍຶດໝຽວພະລັງງານສັກດຶງດູດຄື: ພະລັງງານທີ່ເກີດຈາກການເຄື່ອນຍ້ານຕໍາແໜ່ງຂອງວັດຖຸຈາກຈຸດໜຶ່ງໄປຫາອີກຈຸດໜຶ່ງ ຈາກຕໍາແໜ່ງອ້າງອີງພາຍໃນລະບົບນັ້ນ ໃນທີ່ນີ້ເຮົາຈະເວົ້າເຖິງລະບົບທີ່ໂລກ ກະທົບກັບວັດຖຸໃດໆສະແດງດັ່ງຮູບທີ 3.7 ເມື່ອມີແຮງພາຍນອກມາກະທົບກັບວັດຖຸຈະເຮັດໃຫ້ວັດຖຸ

ເຄື່ອນທີ່ ຕໍ່ແຫ່ງຈາກຈຸດ A ໄປຫາ B ເປັນໄລຍະທາງ Δy ຈາກເປືອກໂລກ ເຮົາສາມາດຫາງານໄດ້ໂດຍຈາກຂໍ້
ກົດເກນທີ 2 ຂອງນິວເຕິນ

$$\text{ຈາກ } \sum w_{ext} = \vec{F}_{ext} \cdot \vec{y}$$

$$\text{ແລະ } \sum F_{ext} = m \cdot \vec{g}$$

$$\text{ແທນຄ່າ } \vec{F}_{ext} \text{ ໃນສົມຜົນຈະໃດ້ } \sum w_{ext} = m \vec{g} \Delta \vec{y}$$

$$\sum w_{ext} = mg(y_B - y_A) \quad (3.6)$$

ຂະນະດຽວກັນເມື່ອພິຈາລະນາອຸປະກອນທີ່ໂລກກະທຳກັບວັດຖຸ ຈະໄດ້ງານມີຄ່າເປັນລົບ ເນື່ອງຈາກຄ່າ $\vec{g}$ ມີທິດສ່ວນ
ທາງກັບການເຄື່ອນຍ້າຍຕໍ່ແຫ່ງຂອງວັດຖຸຈະໄດ້ວ່າ.

$$\sum w_g = mg(y_B - y_A)$$

ເຊິ່ງຂຽນປະລິມານ mgy ນີ້ວ່າແປນພະລັງງານສັກດຶງດູດ ສາມາກຂຽນສົມຜົນໄດ້:

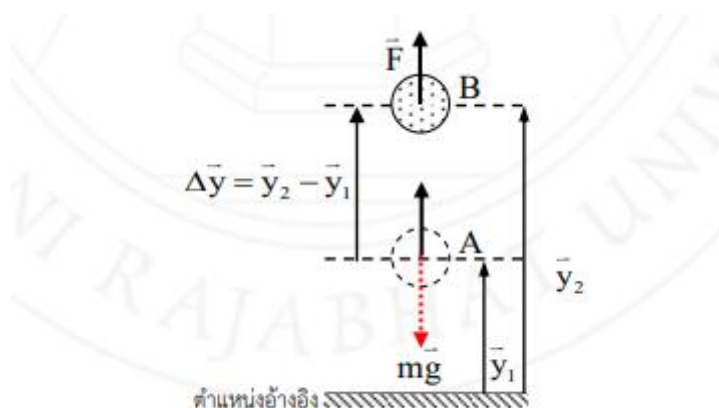
$$E_{PG} = mgy$$

ເມື່ອ E_{PG} ແມ່ນພະລັງງານສັກດຶງດູດ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນຈຸນ(J)

m ແມ່ນມວນສານຂອງວັດຖຸມີຫົວໜ່ວຍເປັນກິໂລກຳມ (kg)

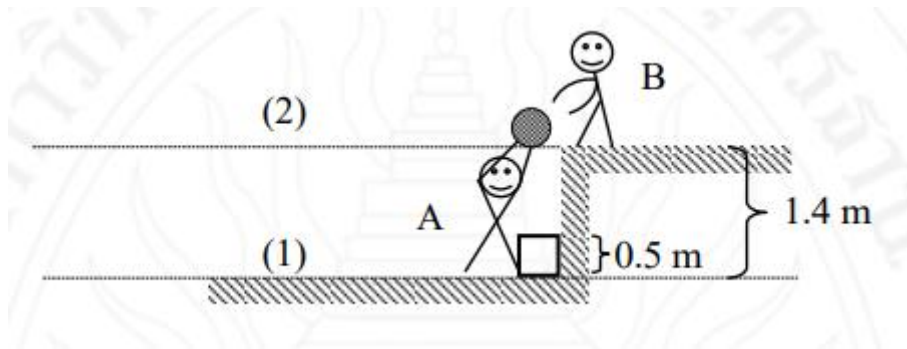
g ແມ່ນຄວາມເລັ່ງຂອງແຮງດຶງດູດ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນແມັດຕໍ່ວິນາທີກຳລັງສອງ (m/s^2)

y ແມ່ນຄວາມສູງຈາກຕໍ່ແຫ່ງອ້າງອີງ ຂອງລະບົບມີຫົວໜ່ວຍເປັນແມັດ (m)



ຮູບທີ 3.7 ສະແດງຄວາມປ່ຽນແປງຕໍ່ແຫ່ງຂອງວັດຖຸ

ຕົວຢ່າງທີ 3.4: ທ້າວ A ຍົກກ້ອນຫີນມີມວນສານ 2kg ໄປໃຫ້ທ້າວ B ເຊິ່ງຢູ່ສູງຈາກທ້າວ A ເປັນໄລຍະ 1,4 m ສະແດງໃນຮູບທີ 3.8 ຂະນະທີ່ສິ່ງໃຫ້ທ້າວ B ທ້າວ A ໄດ້ເຮັດກ້ອນຫີນຕົກລົງມາທັບ ກ້ອນທີ່ມີມວນສານ 0,5 m ຈຶ່ງຊອກຫາ (a) ພະລັງງານສັກດົງດູດຈຸດ B ແລະຈຸດທີ່ກ້ອນຫີນສຳຜັດຖືກກ່ອງ ເມື່ອໃຫ້ ຈຸດ A ເປັນຕຳແໜ່ງ ອ້າງອີງ ແລະ ການປ່ຽນແປງຂອງພະລັງງານສັກດົງດູດ (b) ເມື່ອປ່ຽນໃຫ້ຈຸດ B ເປັນຕຳແໜ່ງອ້າງອີງ



ຮູບທີ 3.8 ສະແດງການເຄື່ອນທີ່ຈາກຈຸດ A ໄປຫາ B

ວິທີແກ້:(b) ຈາກ $E_{PG} = mgy$

$$\text{ຈາກ } E_{PG(i)} = 2kg \times 9,8m/s^2 \times 1,4m = 27,4J$$

$$E_{PG(i)} = 2kg \times 9,8m/s^2 \times 0,5m = -9,8J$$

$$\text{ແລະຈາກ } \Delta E_{PG} = E_{PG(f)} - E_{PG(i)}$$

$$= 9,8 - 27,4J = -17,6J$$

$$(b) \text{ ຈະໄດ້ວ່າ: } E_{PG(i)} = 2kg \times 9,8m/s^2 \times 0m = 0J$$

$$E_{PG(f)} = 2kg \times 9,8m/s^2 \times 0,5m = -17,6J$$

$$\begin{aligned} \text{ແລະຈາກ } \Delta E_{PG} &= E_{PG(f)} - E_{PG(i)} \\ &= -17,6 - 0J = -17,6J \end{aligned}$$

ພະລັງງານສັກຍຶດໝຽວ ແມ່ນພະລັງງານທີ່ເກີດຈາກການຍຶດ ຫຼື ວັດຖຸເຮັດໃຫ້ເກີດການປ່ຽນແປງໄປຈາກເກົ່າຫຼື ຈາກພາວະສົມດູນ ເຊິ່ງໃນທີ່ນີ້ເຮົາຈະກ່າວເຖິງການຍຶດໝຽວແບບສະບັງ ເມື່ອອອກແຮງຍຶດວັດຖຸຕິດສະບັງຈາກຕຳແໜ່ງສົມດູນ $x = 10$ ໄປຫາ $x = x$ ດ້ວຍແຮງ F ຫຼື ອອກແຮງອັດຈາກຕຳແໜ່ງ $x = 0$ ໄປຫາ $x = -x$ ດ້ວຍແຮງ F ຈະເກີດແຮງດຶງກັບກະທົບໃນທິດທາງກົງກັນຂ້າມກັບການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸ $F_s = kx$ ສະແດງດັ່ງຮູບ:

ຖ້າຫາກການເກີດການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸຈາກ B ໄປຫາ C ຂອງແຮງດຶງກັບ F_s ຈະໄດ້ເປັນ

ຈາກ $dw = \vec{F} d\vec{x}$ ແລະ $\vec{F}_s = K\vec{x}$

ແທນຄ່າສົມຜົນ $\vec{F}$ ໃນສົມຜົນຈະໄດ້ $dw = \vec{F} d\vec{x}$

$$\int_B^c dw = -F \int_B^c x dx$$

$$w_{Bc} = -\left(\frac{1}{2}Fx_c^2 - \frac{1}{2}Fx_B^2\right)$$

$$w_{Bc} = -\frac{1}{2}Fx_c^2$$

ຖ້າບໍ່ຄິດແຮງກະທົບພາຍນອກ (F) ເຊິ່ງມີຄ່າເທົ່າກັບ F_s ແຕ່ທິດທາງກົງກັນຂ້າມຈະສາມາດຂຽນໄດ້ເປັນ

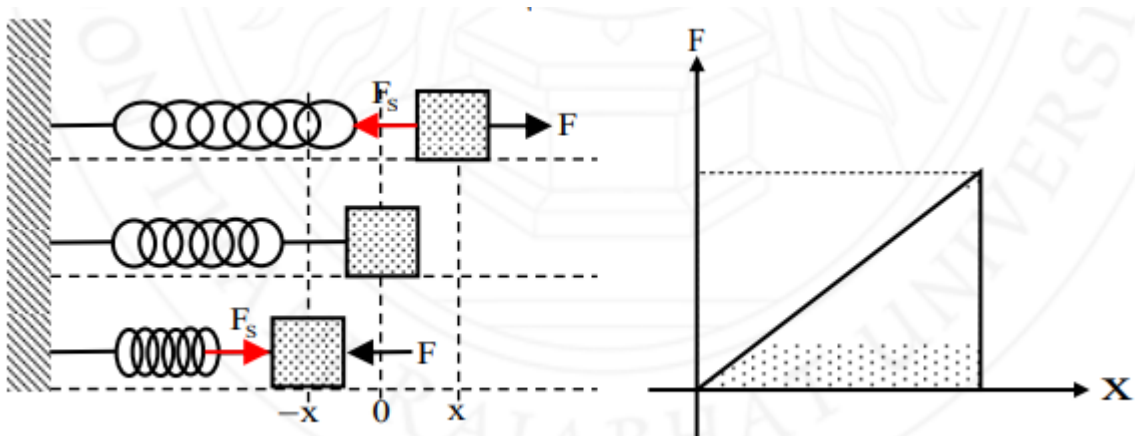
$$w_{Bc} = -\left(\frac{1}{2}Fx_c^2 - \frac{1}{2}Fx_B^2\right)$$

$$E_{ps} = -\frac{1}{2}Fx_c^2$$

ເມື່ອ E_{ps} ແມ່ນພະລັງງານ ຍືດໜຽວ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນຈູນ (J)

F ແມ່ນແຮງໃນການເຄື່ອນຍ້າຍຂອງວັດຖຸ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນນິວເຕິນ (N)

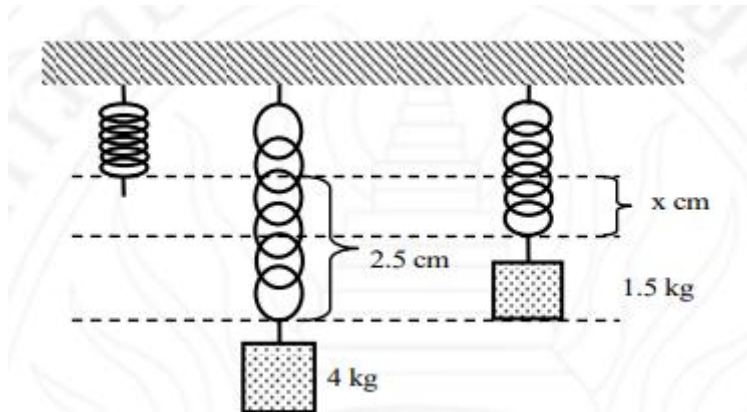
X ແມ່ນໄລຍະທາງຈາກຕໍາແໜ່ງສົມດູນ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ (m)



ຮູບທີ 3.9 ສະແດງການປ່ຽນແປງໄລຍະທຳຍືດຂອງນໍ້າໜັກຕິດສະປິງ ໂດຍແຮງພາຍນອກ ແລະ ກາຟສະແດງ

ຄວາມສໍາພັນລະຫວ່າງ ແຮງພາຍນອກ ແລະ ກາຟ

ຕົວຢ່າງທີ 3.5: ກ່ອງໃບໜຶ່ງມີມວນສານ 4kg ຜູກຕິດກັບສະປິງເບີໃນແນວດັ່ງ ເຮັດໃຫ້ສະປິງຍືດອອກ 2,5 cm ເຊິ່ງມີພຶດຕິກຳຕາມກົດຂອງຮຸກ (a) ຖ້ານຳມວນສານ 4g ອອກ ແລ້ວ ນຳມວນ 1,5 Kg ແຂວນແທນສະປິງຍືດອອກເປັນໄລຍະເທົ່າໃດ (b) ຖ້າມີແຮງພາຍນອກເຮັດໃຫ້ສະປິງຍືດອອກ ເປັນໄລຍະ 4cm ງານທີ່ເກີດຂຶ້ນມີຄ່າເປັນເທົ່າໃດ?



ຮູບທີ 3.10: ສະແດງການປ່ຽນແປງໄລຍະຫົດຍືດຂອງສະປິງ

$$\text{ວິທີແກ້: (a) ຈາກ } K = \frac{F}{x}$$

$$\text{ເມື່ອມວນສານເທົ່າ 4g ຈະໄດ້ວ່າ } K = \frac{mg}{x}$$

$$= \frac{4kg \times 9,8m/s^2}{0,025m}$$

$$= 1568N/m$$

$$\text{ເມື່ອປ່ຽນມວນເປັນ 1,5kg} \quad x = \frac{(1,5kg \times 9,8m/s^2)}{1568N/m}$$

$$= 9,38 \times 10^{-3}m$$

$$w = \frac{1}{2}kx_f^2 - \frac{1}{2}kx_i^2$$

$$\text{ຈາກ} \quad = \frac{1}{2}(1568N/m)(0,04m)^2 - 0$$

$$= 1,25J$$

$$w = \frac{1}{2}kx_f^2 - \frac{1}{2}kx_i^2$$

$$= \frac{1}{2}(1568N/m)(0,04m)^2 - 0$$

$$= 1,25J$$

5. ກົດເກນຮັກສາພະລັງງານ

ພະລັງງານບໍ່ສາມາດເຮັດໃຫ້ສູນຫາຍໄດ້ ແລະ ບໍ່ສາມາດສ້າງຂຶ້ນມາໃໝ່ໄດ້ ແຕ່ພະລັງງານສາມາດປ່ຽນຮູບແບບໜຶ່ງໄປເປັນອີກຮູບແບບໜຶ່ງໄດ້ ຫຼື ຜົນບວກຂອງພະລັງງານມີຄ່າຄົງທີ່ສະເໝີ ເຊິ່ງສາມາດນິຍາມເປັນກົດເກນຮັກສາພະລັງງານ ສາມາດຂຽນສົມຜົນໄດ້

$$\sum E = \text{ຄົງຄ່າ}$$

$$\sum E_i = \sum E_f$$

$$(E_K + E_P)_i = (E_K + E_P)_f$$

ເມື່ອ $\sum E_i$ ແມ່ນຜົນບວກຂອງພະລັງງານເລີ່ມຕົ້ນ

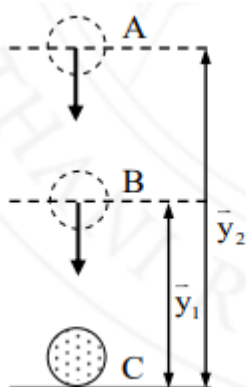
$\sum E_f$ ແມ່ນຜົນບວກຂອງພະລັງງານສຸດທ້າຍ

ຖ້າມີແຮງພາຍນອກມາກະທົບຢູ່ຮ່ວມກັນ ສາມາດຂຽນສົມຜົນເປັນ

$$\sum E_i + \sum W_{ex} = \sum E_f$$

ເມື່ອ $\sum E_f$ ແມ່ນຜົນບວກຂອງພະລັງງານທີ່ບໍ່ຮັກສາ

ເຊັ່ນເມື່ອປ່ອຍວັດຖຸລົງໃນແນວດິ່ງຈາກຄວາມສູງ y_2 ບໍ່ຄິດແຮງຕ້ານຂອງອາກາດ ດັ່ງຮູບທີ່ພິຈາລະນາທີ່ຕຳແໜ່ງ A ພະລັງງານສັກທີ່ໄດ້ຈະມີຄ່າເທົ່າກັບ $mg y_2$ ແລະ ຄວາມໄວເລີ່ມຕົ້ນເປັນສູນ ພະລັງງານເດີນເຄື່ອນຈະເປັນສູນ ພິຈາລະນາທີ່ຕຳແໜ່ງ B ພະລັງງານສັກທີ່ໄດ້ຈະມີຄ່າເທົ່າກັບ $mg y_1$ ຄວາມໄວທີ່ຕຳແໜ່ງອື່ນໆຈາກ $v^2 = u^2 + 2gy$ ດັ່ງນັ້ນພະລັງງານເດີນເຄື່ອນຈະມີຄ່າເທົ່າກັບ $mg(y_2 - y_1)$ ພິຈາລະນາຕຳແໜ່ງ c ພະລັງງານສັກທີ່ໄດ້ຈະມີຄ່າເປັນສູນ ພະລັງງານເດີນເຄື່ອນຈະມີຄ່າເທົ່າກັບ $mg y_2$ ດັ່ງນັ້ນຈະພົບວ່າຂະນະທີ່ປ່ອຍວັດຖຸລົງ ພະລັງງານເດີນເຄື່ອນຈະຄ່ອຍໆເພີ່ມຂຶ້ນ ໃນນັ້ນພະລັງງານຕ່າງສັກຄ່ອຍໆຫຼຸດລົງ ແລະ ຜົນບວກຂອງພະລັງງານທຸກໆຕຳແໜ່ງມີຄ່າສະເໝີ

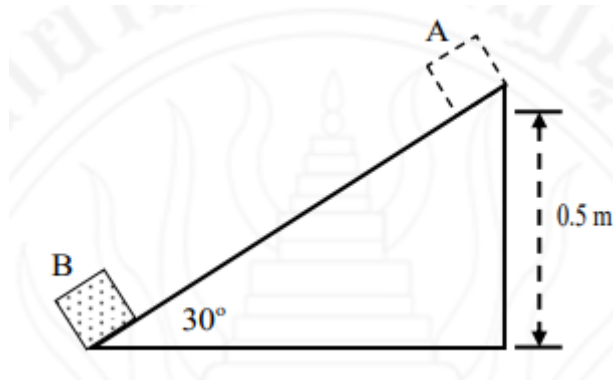


ຕຳແໜ່ງວັດຖຸ	E_K	E_P	$\sum E$
A	$mg y_2$	0	$mg y_2$
B	$mg y_1$	$mg(y_2 - y_1)$	$mg y_2$
C	0	$mg y_2$	$mg y_2$

ຕຳແໜ່ງອ້າງອີງ

ຮູບທີ 3.11 ສະແດງການປ່ຽນແປງຕຳແໜ່ງຂອງວັດຖຸ

ຕົວຢ່າງ 3.6: ກ່ອງມີມວນສານ 3 kg ປະໃຫ້ເຄື່ອນທີ່ລົງຕາມພື້ນຮຽງຍາວ 1 m ແລະ ພື້ນຮຽງເປັນມຸມ 30° ກັບ ແນວລະດັບ ຕາມຮູບທີ 3.12 ຖ້າແຮງຮຸກຖູລະວ່າງພື້ນຮຽງກັບກ່ອງເທົ່າ 0,5 N ຈຶ່ງຊອກຫາຄວາມໄວສຸດທ້າຍທີ່ ຕຳແໜ່ງປາຍພື້ນຮຽງ



ຮູບທີ 3.12 ສະແດງການເຄື່ອນທີ່ຂອງກ່ອງຕາມພື້ນຮຽງ

ວິທີແກ້: ຈາກກົດເກນຮັກສາພະລັງງານ $\frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgy_2$

ພະລັງງານເລີ່ມຕົ້ນ

$$E_{k1} = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2} \times 3 \times (0)^2 = 0 J$$

$$E_{p1} = mgy_1 = 3 \times 9,8 \times 0,5 = 14,7 J$$

$$W_{ext} = -\vec{F} \cdot \vec{S} = -0,5 \times 1 = -0,5 J$$

ພະລັງງານສຸດທ້າຍ

$$E_{k2} = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2} \times 3 \times v_2^2$$

$$E_{p2} = mgy_2 = 3 \times 9,8 \times 0 = 0 J$$

$$0 + 14,7 - 0,5 = \frac{1}{2} \times 3 \times v_2^2 + 0$$

$$\text{ແທນຄ່າໄດ້ } 14,2 = 1,5v_2^2$$

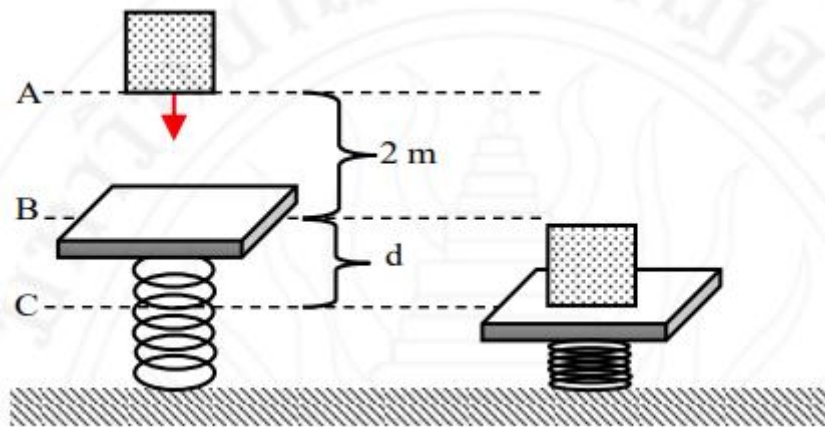
$$v_2 = \sqrt{9,466}$$

$$v_2 = 3,07 m/s$$

ຕົວຢ່າງທີ 3.8 ກ່ອງໃບໜຶ່ງມີມວນສານ 50g ຕົກຈາກຄວາມສູງ 2m ລັງເທິງຖານທີ່ຕິດດ້ວຍສະປິງເປົາ ດັ່ງຮູບ

3.13 ເຮັດໃຫ້ສະປິງທົດຕົວເປັນລະບົບ d ກ່ອນຕິດໂຕກັບ ກ່ອນສະປິງມີຄ່າເທົ່າກັບ $8 \times 10^3 \text{ N/m}$ ຈຶ່ງຊອກຫາ

ໄລຍະທົດຍືດຂອງສະປິງ



ຮູບທີ 3.13 ສະແດງການຕົກລົງເທິງສະປິງ

ວິທີແກ້: ຈາກລະບົບພະລັງງານລວມທີ່ຕໍ່ແໜ່ງ A ເທົ່າກັບ B ແລະພະລັງງານລວມທີ່ຕໍ່ແໜ່ງ B ເທົ່າກັບ C ດັ່ງນັ້ນຈະໄດ້ວ່າພະລັງງານລວມທີ່ຕໍ່ແໜ່ງ A ເທົ່າກັບ C ຈາກກົດການຮັກສາພະລັງງານໄດ້ວ່າ

$$\frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}kx_A^2 + mgy_A = \frac{1}{2}mv_C^2 + \frac{1}{2}kx_C^2 + mgy_C$$

ພະລັງງານທີ່ຕໍ່ແໜ່ງ A

$$E_{kA} = \frac{1}{2}v_A^2 = \frac{1}{2}50 \times (0)_A^2 = 0J$$

$$E_{ps(A)} = mgy_A = 50 \times 9,8 \times (2 + d) = 490(2 + d)$$

$$E_{pg(A)} = \frac{1}{2}kx_A^2 = \frac{1}{2} \times 8 \times 10^3 \times (0)_A^2 = 0J$$

ພະລັງງານທີ່ຕໍ່ແໜ່ງ C

$$E_{kc} = \frac{1}{2}mv_C^2 = \frac{1}{2}50 \times (0)^2 = 0J$$

$$E_{ps(c)} = mgy_C = 50 \times 9,8 \times (0) = 0J$$

$$E_{pg(c)} = \frac{1}{2}kx_C^2 = \frac{1}{2} \times 8 \times 10^3 \times d^2 = 4000d^2 J$$

ແທນໃນສົມຜົນຈະໄດ້ວ່າ:

$$0 + 0 + 490(2 + d) = 0 + 4000d^2 + 0$$

$$4000d^2 - 490d - 980 = 0$$

$$d^2 - 0,123d - 0,245 = 0$$

$$d = 0,65m$$

6 . ກຳລັງ

ເມີ່ມີແຮງມາເຮັດໃຫ້ວັດຖຸເຄື່ອນທີ່ເປັນໄລຍະທາງໜຶ່ງ ຍ່ອມເຮັດໃຫ້ເກີດງານ ເຊິ່ງບໍ່ວ່າເຮົາຈະໃຊ້ເວລາໄວ ຫຼື ຊ້າ ງານທີ່ໄດ້ມາກໍມີຄ່າເທົ່າກັນ ດັ່ງນັ້ນເພື່ອທີ່ມີຈະກຳນົດຄວາມໄວ ໃນການເຮັດວຽກຈຶ່ງໄດ້ນຳເອົາເວລາເຂົ້າມາເປັນຕົວ ກຳນົດໃນການເຮັດວຽກ ເຊິ່ງສາມາດນິຍາມຄຳເວົ້າໃໝ່ຄື: ກຳລັງ ໝາຍເຖິງ ງານທີ່ເຮັດໃນໜ່ວຍເວລາ ສາມາດຂຽນ ເປັນເປັນສົມຜົນໄດ້:

$$p = \frac{w}{t} \quad (3.14)$$

ເມື່ອ p ແມ່ນ ກຳລັງມີຫົວໜ່ວຍເປັນວັດ (w)

W ແມ່ນພະລັງງານທັງໝົດມີຫົວໜ່ວຍເປັນ ຈຸນ(J)

T ແມ່ນເວລາມີຫົວໜ່ວຍເປັນ ວິນາທີ (s)

ກຳລັງເນື່ອງຈາກງານທີ່ໄດ້ຈາກແຮງທີ່ບໍ່ຄົງທີ່ ຈະເປັນກຳລັງສ່ຽງ ສາມາດຫາໄດ້ໂດຍງານທີ່ເຮັດໄດ້ທັງໝົດຫານດ້ວຍ ເວລາທີ່ໃຊ້ໃນການທຳງານຄື

$$\overline{p} = \frac{w}{t} \quad (3.15)$$

ສາມາດຂຽນກຳລັງໃນຮູບແບບສຳພັນລະຫວ່າງແຮງທີ່ກະທົບກັບວັດຖຸ ແລະ ຄວາມໄວໃນການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸ ໄດ້ເປັນ

$$p = \frac{\vec{F} \cdot \vec{s}}{t} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

ເມື່ອ F ແມ່ນແຮງທີ່ກະທົບກັບວັດຖຸມີຫົວໜ່ວຍເປັນນິວເຕິນ (N)

V ແມ່ນຄວາມໄວມີຫົວໜ່ວຍເປັນ ແມັດຕໍ່ວິນາທີ (m/s)

ພິຈາລະນາໜ່ວຍວັດຂອງກຳລັງ ຈະໄດ້ $1w = 1 \text{ J/s} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$ ແລະກຳລັງມ້າ ແມ່ນອັດຕາການເຮັດວຽກຂອງ ມ້າ 1 ຕົວ ພາຍໃນ 1 ວິນາທີຈະໄດ້ $1hp = 746w$

ຕົວຢ່າງທີ 3.8 ລົດຍົນມີມວນສານ 1300kg ເລັ່ງຄວາມໄວຈາກຢູ່ນຶ່ງຈົນກວາມີຄວາມໄວຂຶ້ນເປັນ $24,6\text{m/s}$ ພາຍໃນເວລາ 15s ຈຶ່ງຊອກຫາກຳລັງໃນໜ່ວຍເວລາແຮງມ້າ

$$\text{ວິທີແກ້: ຈາກ } w = \Delta E_k = \frac{1}{2}mv_f^2 + \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$\begin{aligned}\text{ຈະໄດ້ວ່າ } w &= \frac{1}{2}(1300\text{kg})(24,6)^2 + 0 \\ &= 393,354J\end{aligned}$$

$$\text{ຈາກ } \bar{p} = \frac{w}{t}$$

$$\begin{aligned}\text{ຈະໄດ້ວ່າ } \bar{p} &= \frac{393,354J}{15s} \\ &= 26,223w \\ &= 35,15hp\end{aligned}$$

ຕົວຢ່າງທີ 3.9 ລົບໜຶ່ງມີມວນສານ 1600kg ບັນຈຸຜູ້ໂດຍສານລວມ 200g ກຳລັງເຄື່ອນທີ່ຂຶ້ນດ້ວນຄວາມໄວຄົງທີ່ ໂດຍມີແຮງຕ້ານການເຄື່ອນທີ່ຂອງລົບເທົ່າກັບ 400N ຈຶ່ງຫາ (a) ກຳລັງເຄື່ອນທີ່ເຕີຍົກລົບ ແລະ ຜູ້ໂດຍສານທັງໝົດ ເມື່ອລົບເຄື່ອນທີ່ຂຶ້ນດ້ວຍຄວາມໄວຄົງທີ່ 3m/s (b) ຖ້າມີເຕີຍົກລົບ ແລະ ຜູ້ໂດຍສານທັງໝົດ ດ້ວຍຄວາມເລັ່ງ 1m/sກຳລັງທີ່ໃຊ້ຍົກລົບ ຄວາມໄວໃນຄະນະຍົກລົບເທົ່າກັບ 3m /s ມີຄ່າເທົ່າໃດ

$$\text{ວິທີແກ້: } \text{ຈາກ } \sum \vec{F} = 0$$

$$\begin{aligned}\text{ຈະໄດ້ວ່າ } T - f - mg &= 0 \\ T &= [(1800\text{kg} \times 9,8\text{m} / \text{s}^2) + 4000N]\end{aligned}$$

$$\text{ຈາກ } p = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

$$\begin{aligned}\text{ຈະໄດ້ວ່າ } p &= [(180\text{kg} \times 9,8\text{m} / \text{s}^2) + 400N] \times 3\text{m} / \text{s}^2 \\ &= 6,49 \times 10^4 w\end{aligned}$$

$$\text{ວິທີແກ້: } \text{ຈາກ } \sum \vec{F} = ma$$

$$\begin{aligned}\text{ຈະໄດ້ວ່າ } T - f - mg &= ma \\ T &= [(1800\text{kg} \times 9,8\text{m} / \text{s}^2) + 4000N - (1800\text{kg} \times 1\text{m} / \text{s}^2)]\end{aligned}$$

$$\text{ຈາກ } p = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

$$\begin{aligned}\text{ຈະໄດ້ວ່າ } p &= [(1800\text{kg} \times 9,8\text{m} / \text{s}^2) + 400N - (1800\text{kg} \times 1\text{m} / \text{s}^2)] \times 3\text{m} / \text{s}^2 \\ &= 7,02 \times 10^4 w\end{aligned}$$

ບົດຝຶກຫັດ

1. ລົບເຄື່ອງໜຶ່ງບັນທຸກນ້ຳໜັກ 350N ເຄື່ອນທີ່ຈາກຊັ້ນລຸ່ມໄປຫາຊັ້ນເທິງ ໄດ້ໄລຍະ 2m ຈົ່ງຫາງານທີ່ລົບຕົວນີ້ເຮັດໄດ້ ຖ້າສົມມຸດໃຫ້ຄວ່າໄວຄົງທີ່
2. ລໍ້ຍູ້ໃນຫ້າງແຫ່ງໜຶ່ງ ຖືກກົດລົງເພື່ອໃຫ້ສາມາດຍູ້ໄປທາງໜ້າໂດຍການໃຊ້ແຮງ 35N ໃນທິດເປັນມຸມ 25° ຈາກພື້ນຈົ່ງຊອກຫາແຮງທີ່ຕ້ອງໃຊ້ກັບລໍ້ຍູ້ ນີ້ຖ້າເຄື່ອນທີ່ໄປໄດ້ໄລຍະ 50m
3. ອອກແຮງ 50N ຍູ້ກ່ອງມີມວນສານ 40kg ໃຫ້ໄດ້ໄລຍະ 6m ໄປຕາມທາງພຽງ ຖ້າກ່ອງເຄື່ອນທີ່ດ້ວຍຄວາມໄວຄົງທີ່ ຈົ່ງຊອກຫາ (a) ແຮງທີ່ເຮັດໃຫ້ (b) ສຳປະສິດຮຸກຖູລະຫວ່າງກ່ອງກັບພື້ນ
4. ລົດຍົນມີມວນສານ $1,5 \times 10^3\text{kg}$ ເລີ່ມເຄື່ອນທີ່ຈາກສະພາວະຢຸດນຶ່ງ ຈົນມີຄວາມໄວເທົ່າກັບ 18m/s ໂດຍໃຊ້ເວລາ 12s ສົມມຸດວ່າຄະນະນີ້ມີຄວາມແຮງຮຸກຖູເນື່ອງຈາກອາກາດ 400N ຈົ່ງຊອກຫາ (a) ກຳລັງສ່ຽງຂອງລົດຍົນ (b) ກຳລັງພາຍນອກທີ່ກະທົບກັບລົດຍົນໃນເວລາ 12s ກ່ອນທີ່ລົດຈະຢຸດເຄື່ອນທີ່
5. ລູກປົງປ່ອງມືມວນສານ $2,45\text{kg}$ ຈະຕ້ອງເຄື່ອນທີ່ດ້ວຍຄວາມໄວເທົ່າໃດ? ຈົ່ງຈະມີພະລັງງານຕົນເຄື່ອນທີ່ກັບລູກໂບລິງ ມີມວນສານ 7kg ເຄື່ອນທີ່ດ້ວຍຄວາມໄວ 3m/s
6. ນັກເບສບອນສ້າງລູກເບສບອນມີມວນສານ $0,5\text{kg}$ ອອກໄປດ້ວຍຄວາມໄວ 40m/s ເປັນມຸມ 30° ກັບພື້ນ ຈົ່ງຊອກຫາພະລັງງານເດີນເຄື່ອນຂອງລູກ ເບສບອນ ທີ່ຕຳແໜ່ງສູງສຸດຂອງການເຄື່ອນທີ່
7. ອະນຸພາກມີມວນສານ $0,6\text{kg}$ ມີຄວາມໄວທີ່ຈຸດ A ເປັນ 2m/s ແລະ ພະລັງງານເດີນເຄື່ອນທີ່ເກີດຂຶ້ນ ຈຸດ B ເປັນ 57J ຈົ່ງຊອກຫາ (a) ພະລັງງານເດີນເຄື່ອນທີ່ຈຸດ A (b) ຄວາມໄວທີ່ຈຸດ B (c) ພະລັງງານທັງໝົດທີ່ອະນຸພາກເຄື່ອນທີ່ຈາກຈຸດ A ໄປຫາ B
8. ລູກປືນມີມວນສານ 2g ເຄື່ອນທີ່ຈາກກະບອກປືນດ້ວຍຄວາມໄວ 300m/s ຈົ່ງຊອກຫາ (a) ພະລັງງານເດີນເຄື່ອນ (b) ແຮງສຽກທີ່ເຮັດໃຫ້ລູກປືນເຄື່ອນທີ່ໄດ້ໄລຍະ 50cm
9. ເດັກນ້ອນຄົນໜຶ່ງມີນ້ຳໜັກ 400N ຢູ່ໃນຊົງຊ້າທີ່ຜູກດ້ວຍເຊືອກຍາວ 2m ຈົ່ງຊອກຫາພະລັງງານດຶງດູດຂອງລະບົບຢູ່ຕຳແໜ່ງຕ່ຳສຸດຂອງແກນຊົງຊ້ານີ້ເມື່ອ (a) ເຊືອກຖືກກາງຂຶ້ນໃນແນວລະດັບ (b) ເຊືອກຖືກກາງຂຶ້ນໄປໃນມຸມ 30° ກັບແນວດິ່ງ
10. ລູກຕຸ້ມຍາວ 2m ຖືກກາງຂຶ້ນເປັນມຸມ 25° ກັບແນວດິ່ງ ເມື່ອປ່ອຍໃຫ້ເຄື່ອນທີ່ລົງຕາມແນວການແກວ່ງຈາກຈຸດຢຸດນຶ່ງ ຈົ່ງຫາຄວາມໄວທີ່ສຸດຂອງການແກວ່ງ
11. ວັດຖຸ 2 ກ້ອນຜູກຕິດກັນດ້ວຍເຊືອກເສັ້ນດຽວກັນ ຕາມຮູບທີ 3.12 ຖ້າວັດຖຸກ້ອນ 5kg ຖືກປະໃຫ້ຕົກລົງມາ ຈາກຄວາມສູງ 4m ຈາກນັ້ນຈົ່ງຊອກຫາ (a) ຄວາມໄວຂອງວັດຖຸທັງສອງກ້ອນ ເມື່ອວັດຖຸທັງ 2 ຢູ່ລະດັດດຽວກັນ (b) ຄວາມໄວຂອງວັດຖຸທັງ 2 ກ້ອນ ເມື່ອວັດຖຸ 5kg ຢູ່ພື້ນທີ່ (c) ຄວາມສູງຂອງວັດຖຸ 3kg ເມື່ອວັດຖຸ 5kg ຢູ່ທີ່ພື້ນ

ບົດທີ 4

ໂມເມນຕ້າ ແລະ ການປະທະ

ເວລາ 10 ຊົ່ວໂມງ

ຈຸດປະສົງ: ໃຫ້ນັກຮຽນສາມາດ

- ນຳໃຊ້ບັນດາແບບຕັ້ງຕ່າງໆເຂົ້າໃນການແກ້ບົດເຝິກຫັດໄດ້
- ນຳໃຊ້ກົດຈະກຳຕ່າງໆທີ່ໄດ້ຮຽນມາເຂົ້າໃນຊີວິດປະຈຳວັນໄດ້
- ເຮັດການທົດກ່ຽວກັບແຮງງານ ແລະ ພະລັງງານໄດ້
- ບອກໄດ້ຄວາມໝາຍການຕໍ່ກັນແບບບໍ່ທົດຢຶດ
- ບອກໄດ້ຄວາມໝາຍການຕໍ່ກັນແບບທີ່ມີ 2 ມິຕິ

ກົດຈະກຳ ແລະ ວິທີສອນ

- ການສອນແບບບັນຍາຍ ແລະ ອະທິບາຍ
- ການອນແບບຖາມ - ຕອບ
- ການເຮັດວຽກກຸ່ມ ແລະ ລາຍງານ

ສື່ການສອນ

- ເອກະສານປະກອບການບັນຍາຍ
- ເອກະສານປະກອບການສອນ

ການວັດ ແລະ ປະເມີນຜົນ

- ການມີສ່ວນຮ່ວມຂອງນັກຮຽນໃນເວລາປະຕິບັດກົດຈະກຳ
- ສັງເກດການຕອບຄຳຖາມຂອງນັກຮຽນ
- ສັງເກດການລາຍງານກຸ່ມຂອງນັກຮຽນ

1. ໂມເມນຕາ

ຈາກຄວາມສຳພັນຕາມກົດເກນການເຄື່ອນທີ່ຂອງນິເຕິນ ຈະໄດ້ວ່າເມື່ອມີແຮງມາກະທົບຕໍ່ວັດຖຸຈະເຮັດໃຫ້ເກີດຄວາມເລັ່ງໄດ້ ເມື່ອຂຽນຄວາມເລັ່ງໃນຮູບແບບອະນຸພັນຂອງຄວາມໄວທຽບກັບເວລາ ແລະ ນຳມວນສານ m ເຂົ້າໄປໃນສ່ວນອະນຸພັນດ້ວຍ ຈະເຫັນວ່າໄດ້ປະລິມານບາງຢ່າງມີການປ່ຽນແປງເວລາ ເຊິ່ງເກີດຈາກຜົນຄູນລະຫວ່າງມວນສານແລະ ຄວາມໄວ ເມື່ອເຮັດການອະນຸພັນປະລິມານນີ້ເຫັນວ່າ ຜົນທີ່ໄດ້ມີຄ່າເທົ່າເດີມ ສະແດງວ່າເຮົາສາມາດຂຽນສົມຜົນ ການເຄື່ອນທີ່ຂັ້ນສອງຂອງນິວເຕິນຢູ່ໃນຮູບແບບສົມຜົນໄດ້ດັ່ງນີ້

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

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

$$\sum \vec{F} = \frac{m d\vec{v}}{dt} + \frac{\vec{v} dm}{dt}$$

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

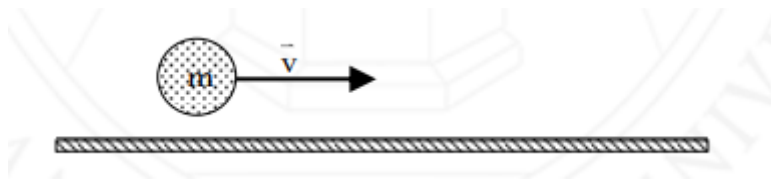
ດັ່ງນັ້ນສາມາດນິຍາມປະລິມານທີ່ເກີດຈາກຜົນຄູນລະຫວ່າງມວນສານ ແລະ ຄວາມໄວວ່າ: ໃນໂມເມນຕຳ ເປັນ
ປະລິມານບອກຄວາມສາມາດໃນການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸ ສາມາດຂຽນສົມຜົນໄດ້:

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

ເມື່ອ $\vec{p}$ ແມ່ນໂມເມນຕຳ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ $kg.m/s$

m ແມ່ນມວນສານຂອງວັດຖຸ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ kg

$\vec{v}$ ແມ່ນຄວາມໄວຂອງວັດຖຸ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ m/s



ຮູບທີ 4.1 ສະແດງການເຄື່ອນທີ່ຂອງວັດຖຸໃນທິດທາງດຽວກັນກັບຄວາມໄວ

2. ການຕົວຂອງແຮງ

ຈາກຄວາມສຳພັນເບື້ອງຕົ້ນສະແດງໃຫ້ເຫັນວ່າ ເຮົາສາມາດຂຽນສົມຜົນການເຄື່ອນທີ່ກົດເກນທີ 2 ຂອງນິວເຕັນ
ໄດ້:

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

ສາມາດສະແດງແຮງສຸດທິ $\vec{F}$ ຈະເຮັດໃຫ້ເກີດການປ່ຽນແປງໂມເມນຕຳໃນຊ່ວງເວລາສັ້ນໆສາມາດຂຽນສົມຜົນໄດ້:

$$\left. \begin{aligned} \sum \vec{F} &= \frac{\vec{p}_2 - \vec{p}_1}{t_2 - t_1} \\ \sum \vec{F} &= \frac{m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1}{t_2 - t_1} \end{aligned} \right\}$$

ເມື່ອ $\sum \vec{F}$ ແມ່ນແຮງກະດຶກ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ N

M ແມ່ນມວນສານຂອງວັດຖຸ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ kg

$\vec{v}_1$ ແມ່ນຄວາມໄວເລີ່ມຕົ້ນຂອງວັດຖຸ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ m/s

$\vec{v}_2$ ແມ່ນຄວາມໄວສຸດທ້າຍຂອງວັດຖຸ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ m/s

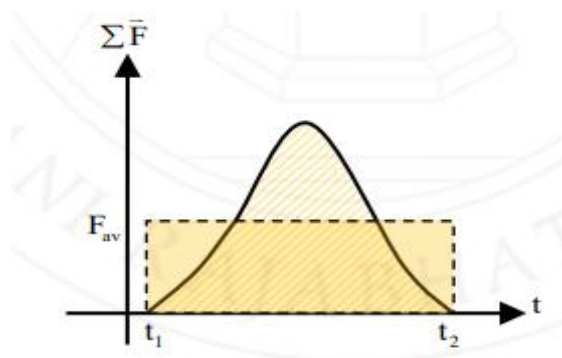
$t_2 - t_1$ ແມ່ນຊ່ວງເວລາສັ້ນໆ ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ s

ເມື່ອພິຈາລະນາແຮງສຸດທິ ທີ່ກະທົບໃນຊ່ວງເວລາສັ້ນໆ ຈະໄດ້ປະລິມານໃໝ່ເຊິ່ງເປັນຜົນຂອງການປ່ຽນ
ໂມເມນຕໍາດັ່ງນີ້: ການກະຕຸ້ນ ຈະໄດ້:

$$\sum \vec{F}(t_2 - t_1) = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$$
$$I = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$$

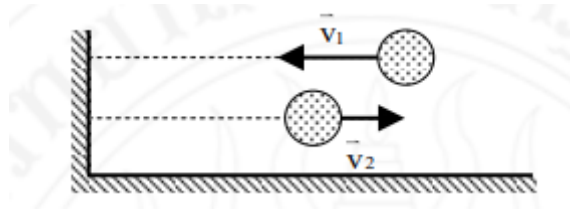
ເມື່ອ I ແມ່ນການດຶກມີຫົວໜ່ວຍເປັນ N/s

ຖ້າແຕ້ມກາຟລະຫວ່າງແຮງສຸດທິ (F) ກັບເວລາ (t) ດັ່ງຮູບ 4.2 ພື້ນທີ່ລຸ່ມກາຟມີຄ່າເທົ່າກັບຂະໜາດຂອງການກະຕຸ້ນຫຼື ການປ່ຽນແປງໂມເມນຕໍາ ຈະສາມາດຄຳນວນຫາແຮງສູງໄດ້ຈາກພື້ນທີ່ລຸ່ມກາຟລະຫວ່າງ ແລະ ເວລາເຊິ່ງການກະຕຸ້ນທີ່ໄດ້ຈາກຄວາມແຮງທີ່ໄດ້ຈາກການຄຳນວນພາຍໃຕ້ອຮງສູງຈະເທົ່າກັບການກະຕຸ້ນທີ່ເກີດຂຶ້ນໂຕຈິງ



ຮູບທີ 4.2 ສະແດງກາຟຂອງແຮງ F ທີ່ກະທົບຕໍ່ວັດຖຸໃນເວລາ t ຕ່າງໆ

ຕົວຢ່າງທີ 4.1: ໝາກບານມີມວນສານ 0,4 kg ທີ່ກຳລັງເຄື່ອນທີ່ໄປທາງຂ້າງຊ້າຍໃນແນວເສັ້ນຊື່ ດ້ວຍຄວາມໄວ 30m/s ໃນເສັ້ນທາງຊື່ ຈຶ່ງຊອກຫາ (a)ການດຶກຂອງໝາກບານ(b) ຖ້າໝາກບານຕາກັບພະຫັງໃນຊ່ວງເວລາ 0,01s ແຮງດຶກຈະມີຄ່າເທົ່າໃດ ດັ່ງຮູບທີ 4.3



ຮູບທີ 4.3 ສະແດງການຕຳຂອງໝາກບານ

ວິທີແກ້: (a) ເນື່ອງຈາກເປັນການເຄື່ອນທີ່ຕາມແກນ x ເທົ່ານັ້ນຈະໄດ້

$$P_1 = mv_1 = 0,3kg \times (-30m/s) = -9kg.m/s$$

$$P_2 = mv_2 = 0,3kg \times 20m/s = 6kg.m/s$$

ດັ່ງນັ້ນການດຶລ ໃນແນວແກນ x ຈະໄດ້

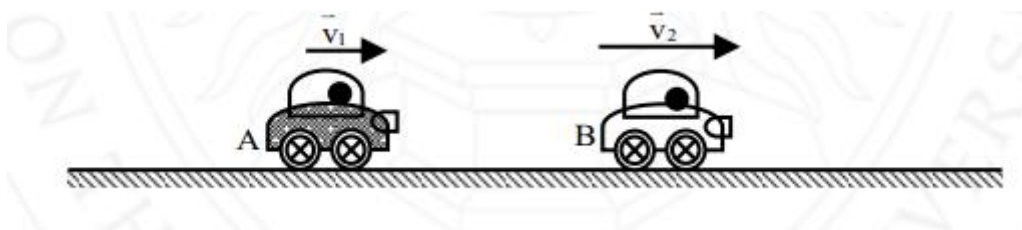
$$I = P_2 - P_1 = (6) - (-9) = 15kg.m/s$$

$$(b) \text{ ຈາກ } \sum \vec{F}(t_2 - t_1) = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$$

$$\sum \vec{F} = \frac{15kg.m/s}{0,01s}$$

$$\sum \vec{F} = 1500N$$

ຕົວຢ່າງທີ 4.2 ລົດຍົນ A ມີມວນສານ 2000kg ເຄື່ອນທີ່ໄປດ້ວຍຄວາມໄວ $v_A m/s$ ແລະ ລົດຍົນ B ມີມວນສານ 15000kg ເຄື່ອນທີ່ໄປດ້ວຍຄວາມໄວໃນທາງຊື່ 30 m ຈຶ່ງຫາລົດຍົນ A ຕ້ອງແລ່ນດ້ວຍຄວາມໄວເທົ່າໃດ ຈຶ່ງຈະສາມາດແຊງລົດຍົນໄດ້ B ໄດ້ ດັ່ງຮູບທີ 4.4



ຮູບທີ 4.4 ສະແດງທິດທາງການເຄື່ອນທີ່ຂອງລົດຍົນ

ວິທີແກ້: ເພື່ອຫາຄວາມໄວທີ່ລົດຍົນ A ຈະໃຫ້ໂມເມນຕຳທັງສອງເທົ່າກັນ

$$P_A = m_A v_A = 2000kg \times v_A$$

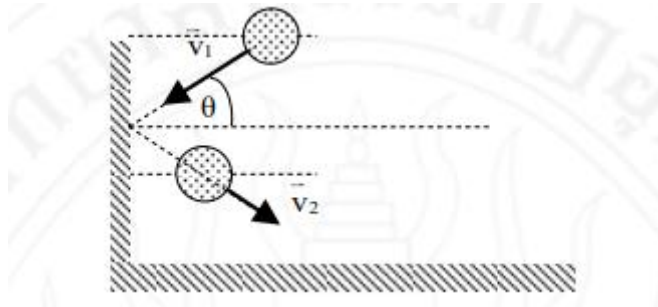
$$P_B = m_B v_B = 1500kg \times 30m/s = 45000kg.m/s$$

$$2000kg v_A = 45000kg.m/s$$

$$v_A = 22,5m/s$$

ດັ່ງນັ້ນຄວາມໄວທີ່ລົດຄັນ A ຕ້ອງການແມ່ນຫຼາຍກວ່າ 22,7 m/s ຈຶ່ງສາມາດແຊງລົດຄັນ B ໄດ້

ຕົວຢ່າງທີ 4.3 : ໝາກບານມີມວນສານ 0,4 kg ທີ່ກຳລັງເຄື່ອນທີ່ໄປທາງຂ້າງຊ້າຍໃນແນວເສັ້ນຊື່ ດ້ວຍຄວາມໄວ 20m/s ຫຼັງຈາກຖືກຕະໄດ້ຈະຕອກກັບເປັນມຸມ 25° ໄປທາງຂວາດ້ວຍຄວາມໄວ 15 m/s ຈຶ່ງຊອກຫາແຮງສຽກ ໝາກບານສຳຜັດຕົວໜັກຕະເປັນເວລາ 0,01 ດັ່ງຮູບທີ 4.5



ຮູບທີ 4.5 ສະແດງທິດການເຄື່ອນທີ່ຂອງໝາກບານກ່ອນ ແລະ ຫຼັງການຊຶມຝາ

ວິທີແກ້: ພິຈາລະນາການເຄື່ອນທີ່ຂອງໝາກບານໃນແນວແກນ x ແລະ ແກນ y ໃດເປັນແກນ x

$$P_{v1x} = mv_{v1x} = mv \cos \theta = 0,4kg \times (-20m/s) \times \cos 25^\circ = -7,25kg.m/s$$

$$P_{v2x} = mv_{v2x} = mv \cos \theta = 0,4kg \times (15m/s) \times (15m/s) \times \cos 25^\circ = 5,44kg.m/s$$

ແກນ y

$$P_{v1y} = mv_{v1y} = mv \sin \theta = 0,4kg \times (-20m/s) \times \cos 25^\circ = -38,3kg.m/s$$

$$P_{v2y} = mv_{v2y} = mv \sin \theta = 0,4kg \times (15m/s) \times (15m/s) \times \cos 25^\circ = 2,44kg.m/s$$

ເຮັດໃຫ້ໄດ້ການຄິດ ໃນແນວແກນ x ແລະ ແກນ y ຄື:

ແກນ x

$$I_x = p_{v2x} - p_{v1x}$$

$$\overline{F}_x \Delta t = p_{v2x} - p_{v1x}$$

$$\overline{F}_x = \frac{(5,44 - (-7,25))kg.m/s}{0,01s} = 1269N$$

ແກນ y

$$I_y = p_{v2y} - p_{v1y} = 2,54 - (-3,38) = 5,92 kg.m/s$$

$$\overline{F}_y \Delta t = p_{v2y} - p_{v1y}$$

$$\overline{F}_y = \frac{(2,54 - (-3,38))kg.m/s}{0,01s} = 592N$$

ດັ່ງນັ້ນແຮງສຍກທັງສອງແກນຈິງໄດ້ເປັນ

$$\begin{aligned}\vec{F} &= \sqrt{\vec{F}_x^2 + \vec{F}_y^2} \\ \vec{F} &= \sqrt{(1269)^2 + (592)^2} \\ \vec{F} &= 1400,3N\end{aligned}$$

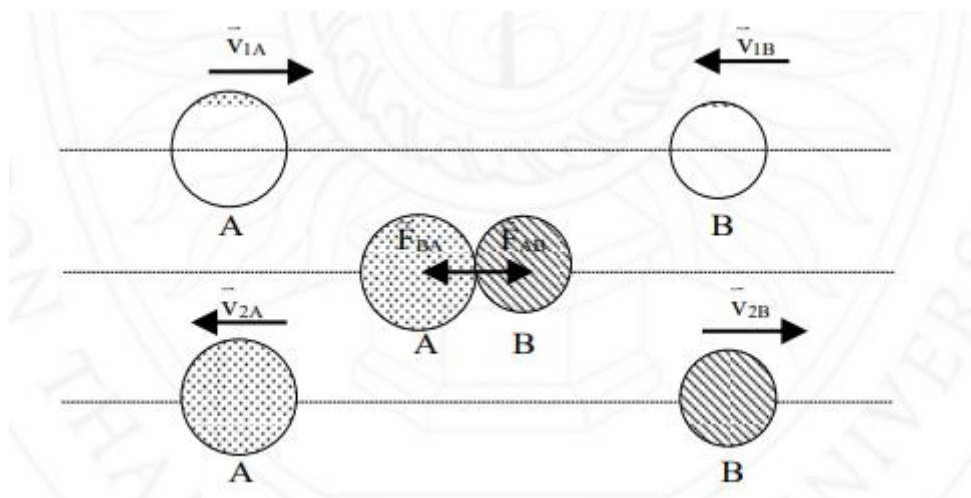
3 ການຮັກສາໂມເມນຕໍາ

ວັດຖຸຈຳນວນສອງກ້ອນຂຶ້ນໄປເກີດປະຕິກິລິຍາຕໍ່ກັນ (ຕໍາກັນຫຼືສຳຜັດກັນ) ຈະເກີດແຮງສອນແຮງທີ່ມີຂະໜາດເທົ່າກັນ ແລະ ທິດທາງກົງກັນຂ້າມ ເຊິ່ງເປັນກົດເກນການເຄື່ອນທີ່ທີ 3 ຂອງນິວເຕັນ ສາມາດນິຍາມສົມຜົນໄດ້ເປັນຈາກສົມຜົນທີ (4.5) ຈະເຫັນວ່າຜົນລວມຂອງໂມເມນຕໍາຂອງວັດຖຸທັງສອງກ້ອນທີ່ມີຄ່າເປັນສູນຈິ່ງໄດ້ວ່າຜົນລວມໂມເມນຕໍາຂອງລະບົບຈະມີຄ່າຄົງທີ່ ດັ່ງນັ້ນການຮັກສາໂມເມນຕໍາ ຈຶ່ງນິຍາມວ່າ “ຜົນລວມໂມເນຕໍາກ່ອນຕໍາເທົ່າຜົນລວມໂມເນຕໍາຂອງວັດຖຸຫຼັງຕໍາ” . ໃນຂະນະທີ່ບໍ່ມີແຮງພາຍນອກມາກະທົບຕໍ່ລະບົບເຮັດເປັນສູນ

$$\begin{aligned}\vec{F}_{AB} &= -\vec{F}_{BA} \\ \frac{d\vec{p}_{AB}}{dt} &= -\frac{d\vec{p}_{BA}}{dt} \\ \frac{m\vec{v}_{2A} - m\vec{v}_{1A}}{t_2 - t_1} &= -\frac{m\vec{v}_{2B} - m\vec{v}_{1B}}{t_2 - t_1}\end{aligned}$$

ເມື່ອ $\sum \vec{p}_i$ ແມ່ນຜົນລວມຂອງໂມເມນຕໍາ ກ່ອນຕໍາ

$\sum \vec{p}_f$ ແມ່ນຜົນລວມຂອງໂມເມນຕໍາ ຫຼັງຕໍາ



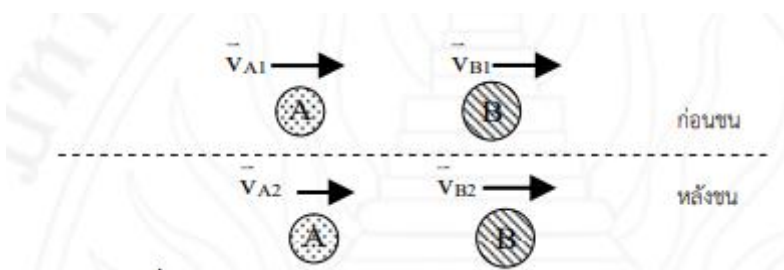
ຮູບທີ 4.6 ສະແດງການເຄື່ອນທີ່ຂອງໝາກບານກ່ອນຕໍາ ແລະ ຫຼັງຕໍາກັນ

4. ການຕຳກັນແບບ 1 ມິຕິ

ຖ້າບໍ່ມີແຮງພາຍນອກມາກະທົບ ການຕຳກັນຂອງລະບົບຈະບໍ່ໃຜການຮັກສາໂມເມນຕຳສະເໝີ ເຊິ່ງພະລັງງານເດີເຄື່ອນຈະມີຄ່າຄົງທີ່ ຫຼື ບໍ່ຄົງທີ່ກໍໄດ້ ໂດຍທົ່ວໄປການຕຳກັນຂອງວັດຖຸມີສອງແບບຄື:

4.4.1 ການຕຳກັນແບບຫົດຢຶດ (elastic collision)

ເປັນການຕຳກັນທີ່ວັດຖຸແຍກອອກຈາກກັນເມື່ອຕຳກັນແລ້ວ ເຊິ່ງເປັນໄປຕາມກົດເກນຮັກສາໂມເມນຕຳ ແລະ ກົດເກນຮັກສາພະລັງງານເດີເຄື່ອນ ໂດຍຜົນລວມຕຳກັນຈະເທົ່າກັບຜົນລວມຫຼັງຕຳ ດັ່ງສະແດງໃນຮູບທີ 4.7



ຮູບທີ 4.7 ສະແດງການຕຳແບບຫົດຢຶດຂອງວັດຖຸ m_A ແລະ m_B

ຈາກກົດເກນຮັກສາໂມເມນຕຳຈະໄດ້ວ່າ:

$$\begin{aligned}\sum \vec{p}_i &= \sum \vec{p}_f \\ \vec{p}_{A1} + \vec{p}_{B1} &= \vec{p}_{A2} + \vec{p}_{B2} \\ m_A \vec{v}_{A1} + m_B \vec{v}_{B1} &= m_A \vec{v}_{A2} + m_B \vec{v}_{B2} \\ m_A (\vec{v}_{A1} - \vec{v}_{A2}) &= m_B (\vec{v}_{B2} - \vec{v}_{B1})\end{aligned} \quad (4.6)$$

ຈາກກົດເກນຮັກສາພະລັງງານເດີເຄື່ອນຈະໄດ້ວ່າ:

$$\begin{aligned}\sum \vec{E}_{ki} &= \sum \vec{E}_{kf} \\ \vec{E}_{kA1} + \vec{E}_{kB1} &= \vec{E}_{kA2} + \vec{E}_{kB2} \\ \frac{1}{2} m_A (\vec{v}_{A1})^2 + \frac{1}{2} m_B (\vec{v}_{B1})^2 &= \frac{1}{2} m_A (\vec{v}_{A2})^2 + \frac{1}{2} m_B (\vec{v}_{B2})^2 \\ m_A (\vec{v}_{A1}^2 - \vec{v}_{A2}^2) &= m_B (\vec{v}_{B2}^2 - \vec{v}_{B1}^2)\end{aligned} \quad (4.7)$$

ຈາກສົມຜົນທີ 4.7 ຫານໃຫ້ 4.6 ຈະໄດ້ວ່າ

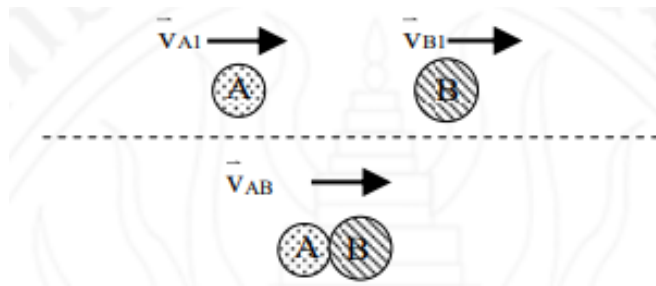
$$\frac{m_A(\vec{v}_{A1} - \vec{v}_{A2})}{m_A(\vec{v}_{A1} - \vec{v}_{A2})} = \frac{m_B(\vec{v}_{B2} - \vec{v}_{B1})}{m_B(\vec{v}_{B2} - \vec{v}_{B1})}$$

$$\frac{m_A(\vec{v}_{A1} - \vec{v}_{A2})(\vec{v}_{A1} - \vec{v}_{A2})}{m_A(\vec{v}_{A1} - \vec{v}_{A2})} = \frac{m_B(\vec{v}_{B2} - \vec{v}_{B1})(\vec{v}_{B2} - \vec{v}_{B1})}{m_B(\vec{v}_{B2} - \vec{v}_{B1})}$$

$$\left. \begin{aligned} \vec{v}_{A1} - \vec{v}_{A2} &= \vec{v}_{B2} - \vec{v}_{B1} \\ \vec{v}_{A1} - \vec{v}_{B1} &= \vec{v}_{B2} - \vec{v}_{A2} \\ \vec{v}_{A1} - \vec{v}_{B1} &= -\vec{v}_{A2} - \vec{v}_{B2} \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$

5. ການຕຳກັນແບບບໍ່ຫົດຢຶດ (inelastic collision)

ເປັນການຕຳທີ່ວັດຖຸຈະຕິດກັນໄປເມື່ອຕຳກັນແລ້ວ ເຊິ່ງເປັນໄປຕາມກົດເກນຮັກສາໂມເມນຕຳ ແຕ່ບໍ່ເປັນໄປຕາມກົດເກນຮັກສາພະລັງງານເດີນເຄື່ອນ ເນື່ອງຈາກພະລັງງານບາງສ່ວນສູນເສຍໄປເປັນພະລັງງານຄວາມຮ້ອນ ຫຼືສຽງ ຈາກການຕຳສະແດງດັ່ງຮູບທີ 4.8



ຮູບທີ 4.8 ສະແດງການຕຳກັນແບບບໍ່ຫົດຢຶດຂອງວັດຖຸ m_A ແລະ m_B

ກົດເກນຮັກສາໂມເມນຕຳ

$$\vec{p}_{A1} + \vec{p}_{B1} = \vec{p}_{AB}$$

$$m_A \vec{v}_{A1} + m_B \vec{v}_{B1} = (m_A + m_B) \vec{v}_{AB}$$

ຈາກກົດເກນຮັກສາພະລັງງານເດີນເຄື່ອນຈະໄດ້ວ່າ

$$\sum \vec{E}_{ki} \neq \sum \vec{E}_{kf}$$

$$\vec{E}_{kA1} = \vec{E}_{kf} + \vec{E}_{k(loss)}$$

$$\Delta E_k = \sum \vec{E}_{ki} - \sum \vec{E}_{kf}$$

ເມື່ອພະລັງງານເດີນເຄື່ອນກ່ອນ ແລະ ຫຼັງຕຳມີຄ່າເປັນ

$$\sum \vec{E}_{ki} = \frac{1}{2} m_A \vec{v}_{A1}^2 + \frac{1}{2} m_B \vec{v}_{B1}^2 \quad (4.9) \quad (4.10)$$

$$\vec{E}_{kAf} = \frac{1}{2} (m_A + m_B) \vec{v}_{AB}^2$$

ຖ້າ $\vec{v}_{B1} = 0$ ນຳສົມຜົນທີ 4.22 ຫານໃຫ້ 4.22 ຈະໄດ້ວ່າ

$$\frac{\sum \vec{E}_{kf}}{\sum \vec{E}_{ki}} = \frac{\frac{1}{2} (m_A + m_B) \vec{v}_{AB}^2}{\frac{1}{2} m_A (\vec{v}_{A1})^2}$$

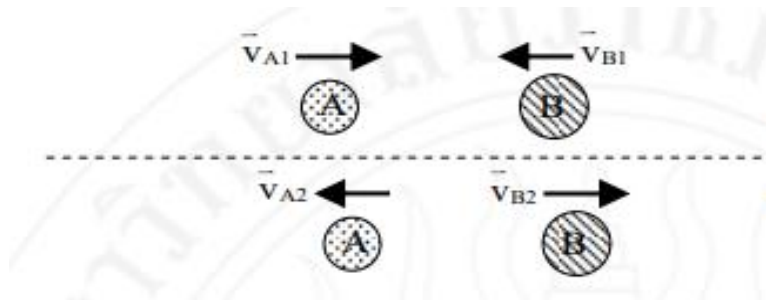
$$\frac{\sum \vec{E}_{kf}}{\sum \vec{E}_{ki}} = \frac{(m_A + m_B) \vec{v}_{AB}^2}{m_A (\vec{v}_{A1})^2}$$

$$\frac{\sum \vec{E}_{kf}}{\sum \vec{E}_{ki}} = \frac{(m_A + m_B) \vec{v}_{AB}^2}{m_A (\vec{v}_{A1})^2} \times \frac{(m_A)^2 (\vec{v}_{A1})^2}{(m_A + m_B)^2}$$

$$\sum \vec{E}_{kf} = \frac{m_A}{(m_A + m_B)} \sum \vec{E}_{ki}$$

$$\text{ດັ່ງນັ້ນ } \sum \vec{E}_{kf} < \sum \vec{E}_{ki}$$

ຕົວຢ່າງທີ 4.4 ວັດຖຸ A ມີມວນສານ 0,3 kg ແລະ B ມີມວນສານ 0,5kg ເຄື່ອນທີ່ເຂົ້າຫາກັນດ້ວຍຄວາມໄວ 30m /s ແລະ 20m/s ຕາມລຳດັບດັ່ງສະແດງໃນຮູບທີ 4.9 ຈຶ່ງຊອກຫາຄວາມໄວ ຫຼັງການຕຳກັນຂອງວັດຖຸທັງສອງກ່ອນ



ຮູບທີ 4.9 ສະແດງການຕຳກັນແບບຫົດຍຶດຂອງວັດຖຸ A ແລະ B

ວິທີແກ້: ຈາກກົດເກນຮັກສາໂມເມນຕຳຈະໄດ້ວ່າ

$$m_A \vec{v}_{A1} + m_B \vec{v}_{B1} = m_A \vec{v}_{A2} + m_B \vec{v}_{B2}$$

$$m_A \vec{v}_{A1} + m_B \vec{v}_{B1} (-\vec{v}_{B1}) = m_A \vec{v}_{A2} + m_B \vec{v}_{B2}$$

$$(0,3kg \times 30m/s) - (0,5kg \times 20m/s) = 0,3kg \vec{v}_{A2} + 0,5kg \vec{v}_{B2}$$

$$-1kg.m/s = 0,3kg \vec{v}_{A2} + 0,5kg \vec{v}_{B2}$$

ແທນສົມຜົນ

$$\vec{v}_{A1} + \vec{v}_{B1} = \vec{v}_{A2} + \vec{v}_{B2}$$

$$\vec{v}_{A1} - (-\vec{v}_{B1}) = \vec{v}_{A2} + m_B \vec{v}_{B2}$$

$$30m/s + 20m/s = \vec{v}_{A2} + \vec{v}_{B2}$$

$$\vec{v}_{A2} = \vec{v}_{B2} - 50m/s$$

ແທນສົມຜົນທີ່ຈະໄດ້

$$1kg \cdot m/s = 0,3kg(\vec{v}_{B2} - 50m/s) + 0,5kg\vec{v}_{B2}$$

$$1kg \cdot m/s = 0,3kg\vec{v}_{B2} - 15m/s + 0,5kg\vec{v}_{B2}$$

$$14kg \cdot m/s = 0,8kg\vec{v}_{B2}$$

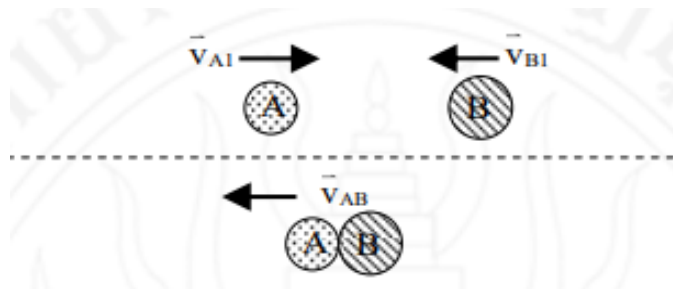
$$\vec{v}_{B2} = 17,5m/s$$

ແທນສົມຜົນທີ່ຈະໄດ້ວ່າ

$$\vec{v}_{A2} = 17,5m/s - 50m/s$$

$$\vec{v}_{A2} = -32,5m/s$$

ຕົວຢ່າງທີ 4.5 ວັດຖຸ A ມີມວນສານ 0,3 kg ແລະ B ມີມວນສານ 0,5 kg ເຄື່ອນທີ່ເຂົ້າຫາກັນດ້ວຍຄວາມໄວ 30m/s ແລະ 20m/s ຕາມລາດັບຫຼັງຈາກຕາວັດຖຸຕິດກັນໄປ ດັ່ງສະແດງໃນຮູບທີ 4.10 ຈົ່ງຊອກຫາຄວາມໄວ ຫຼັງຈາກການຕໍ່ກັນຂອງວັດຖຸ ທັງສອງກ້ອນ ແລະ ທັງພະລັງງານເດີນເຄື່ອນທີ່ສູນເສຍໄປ



ຮູບທີ 4.10 ສະແດງການຕໍ່ກັນແບບບໍ່ຫົດຢຶດຂອງວັດຖຸ A ແລະ B

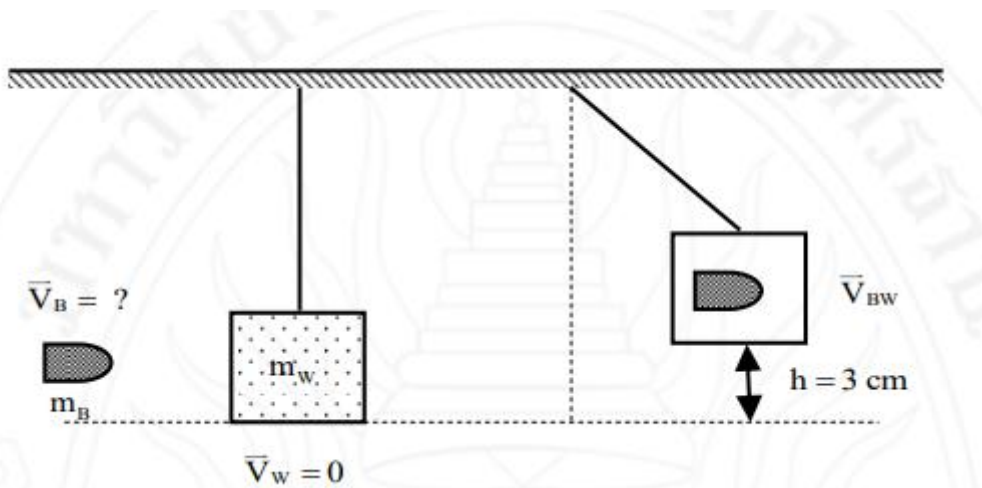
ວິທີແກ້: ຈາກກົດເກນຮັກສາໂມເມນຕໍ່າ

$$\begin{aligned}
m_A \vec{v}_{A1} + m_B \vec{v}_{B1} &= m_A \vec{v}_{A2} + m_B \vec{v}_{B2} \\
m_A \vec{v}_{A1} + m_B \vec{v}_{B1}(-\vec{v}_{B1}) &= m_A \vec{v}_{A2} + m_B \vec{v}_{B2} \\
(0,3\text{kg} \times 30\text{m/s}) - (0,5\text{kg} \times 20\text{m/s}) &= 0,3\text{kg} \vec{v}_{A2} + 0,5\text{kg} \vec{v}_{B2} \\
-1\text{kg} \cdot \text{m/s} &= 0,3\text{kg} \vec{v}_{A2} + 0,8\text{kg} \vec{v}_{B2} \\
\vec{v}_{AB} &= -1,25\text{m/s}
\end{aligned}$$

ແລະພະລັງງານເດີນເຄື່ອນທີ່ເກີດຂຶ້ນ

$$\begin{aligned}
\sum \vec{E}_{ki} &= \frac{1}{2} m_A \vec{v}_{v1}^2 + \frac{1}{2} m_B \vec{v}_{B1}^2 \\
\sum \vec{E}_{ki} &= \frac{1}{2} (0,3\text{kg} \times (30\text{m/s})^2) + \frac{1}{2} (0,5\text{kg} \times (-20\text{m/s})^2) \\
\sum \vec{E}_{ki} &= 135\text{J} - 100\text{J} \\
\sum \vec{E}_{ki} &= 35\text{J} \\
\sum \vec{E}_{kf} &= \frac{1}{2} (m_A + m_B) \vec{v}_{AB}^2 \\
\sum \vec{E}_{kf} &= \frac{1}{2} (0,3\text{kg} + 0,5\text{kg}) (1,25\text{m/s})^2 \\
\sum \vec{E}_{kf} &= 0,625\text{J} \\
\sum \vec{E}_{ki} &= \sum \vec{E}_{ki} - \sum \vec{E}_{ki} \\
\Delta E_k &= \sum \vec{E}_{ki} - \sum \vec{E}_{ki} \\
\Delta E_k &= 25\text{J} - 0,26\text{J}
\end{aligned}$$

ຕົວຢ່າງທີ 4.6 ຈາກຮູບທີ 4.11 ສະແດງການຍິງລູກປືນທີ່ມີມວນສານ (m_B) 5g ດ້ວຍຄວາມໄວ v_B ເຂົ້າໄປໃນກ່ອງໄມ້ມີມວນສານ (m_w) 2kg ທີ່ແຂນໄວ້ໃນແນວດັ່ງ ເມື່ອລູກປືນເຂົ້າໄປໃນກ່ອງເຮັດໃຫ້ກ່ອງໄມ້ແກວ່ງຂຶ້ນໄປໄດ້ເປັນໄລຍະສູງສຸດ (h) 3cm ຈົ່ງຊອກຫາຄວາມໄວ v_B ຂອງລູກປືນ



ຮູບທີ 4.11 ສະແດງການຍິງຂອງລູກປືນເຂົ້າກ້ອນໄມ້ແບບ ballistic pendulum

ວິທີແກ້: ການກົດເກນຮັກສາໂມເມນຕໍາ

$$\begin{aligned} m_B \vec{v}_B + m_w \vec{v}_w &= (m_B + m_w) \vec{v}_{Bw} \\ (0,005kg \times \vec{v}_B) + (0,5kg \times 0m/s) &= (0,005kg + 2kg) \vec{v}_{Bw} \\ 0,005kg \vec{v}_B &= 2,005kg \vec{v}_{Bw} \end{aligned}$$

ແລະ ກົດເກນຮັກສາພະລັງງານຈະໄດ້ວ່າ

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} m_{Bw} \vec{v}_{Bw1} + m_{Bw} gh_1 &= \frac{1}{2} m_{Bw} \vec{v}_{Bw2} + m_{Bw} gh_2 \\ \frac{1}{2} m_{Bw} \vec{v}_{Bw1} + 0 &= 0 + m_{Bw} gh_2 \\ \vec{v}_{Bw1} &= \sqrt{2gh_2} \\ \vec{v}_{Bw1} &= \sqrt{2 \times 9,8m/s^2 \times 0,3m} \\ \vec{v}_{Bw1} &= 0,77m/s \end{aligned}$$

ແທນສົມຜົນທີ 4.2 ໃສ່ 4.22 ຈະໄດ້ວ່າ

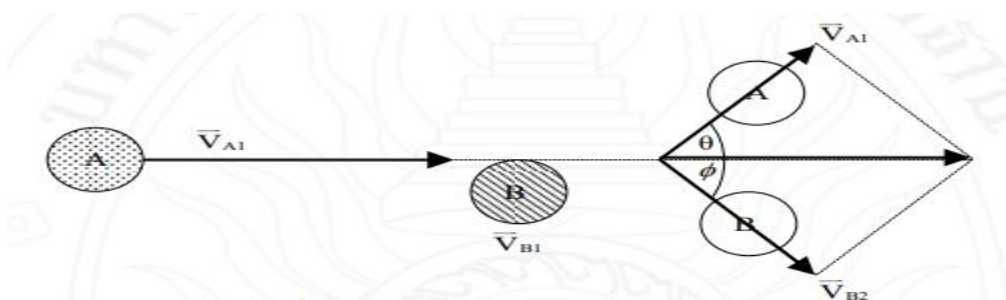
$$\begin{aligned} 0,005kg \vec{v}_B &= 2,005kg \times 0,77m/s \\ \vec{v}_B &= 307m/s \end{aligned}$$

6. ການຕໍາກັນແບບ 2 ມິຕິ

ການຕໍາກັນແບບ 2 ມິຕິ ແມ່ນການຕໍາກັນຂອງວັດຖຸທີ່ຫຼັງຕໍາກັນວັດຖຸທັງສອງ ຈະບໍ່ຢູ່ໃນລະນາບດຽວກັນເຊິ່ງເປັນການຕໍາທີ່ບໍ່ຜ່ານຈຸດສູນກາງມວນສານ ດັ່ງສະແດງໃນຮູບທີ 4.12

7. ການຕໍາກັນແບບຢຶດຫົດ

ການຕໍາກັນຂອງວັດຖຸທີ່ຫຼັງຕໍາ ວັດຖຸທັງສອງຈະບໍ່ຢູ່ໃນລະນາບດຽວກັນ ເຊິ່ງເປັນການຕໍາທີ່ບໍ່ຜ່ານຈຸດສູນກາງມວນສານ ຫຼັງຈາກຕໍາກັນແລ້ວວັດຖຸທັງສອງຈະແຍກຈາກກັນ ດັ່ງສະແດງໃນຮູບທີ 4.12



ຮູບທີ 4.12 ສະແດງການຕໍາກັນແບບຫົດຢຶດຂອງວັດຖຸ A ແລະ B

ຈາກກົດເກນຮັກສາໂມເມນຕໍາຈະໄດ້ວ່າ

$$\begin{aligned}\sum \vec{p}_i &= \sum \vec{p}_f \\ \vec{p}_{A1} + \vec{p}_{B1} &= \vec{p}_{A2} + \vec{p}_{B2} \\ m_A \vec{v}_{A1} + m_B \vec{v}_{B1} &= m_A \vec{v}_{A2} + m_B \vec{v}_{B2}\end{aligned}$$

ຖ້າ $\vec{v}_{B1}=0$ ແລະ $m_A = m_B$ ຈະໄດ້ວ່າ

$$\begin{aligned}m_A \vec{v}_{A1} + m_B \vec{v}_{B1} &= m_A \vec{v}_{A2} + m_B \vec{v}_{B2} \\ \vec{v}_{A1} &= \vec{v}_{A2} + \vec{v}_{B2}\end{aligned}$$

ແລະ ສາມາດຫານຂາດໄດ້ໂດຍ ໃຊ້ຫຼັກການລວມຂອງເວັກເຕີ

$$\begin{aligned}(v_{A1})^2 &= (v_{A2})^2 + (v_{B2})^2 + 2v_{A2}v_{B2} \cos(\theta + \varnothing) \\ v_{A1} &= \sqrt{(v_{A2})^2 + (v_{B2})^2 + 2v_{A2}v_{B2} \cos(\theta + \varnothing)}\end{aligned}$$

ຈາກກົດເກນຮັກສາພະລັງງານເດີນເຄື່ອນຈະໄດ້ວ່າ

$$\begin{aligned}\sum \vec{E}_{ki} &= \sum \vec{E}_{kf} \\ \vec{E}_{kA1} + \vec{E}_{kB2} &= \vec{E}_{kA2} + \vec{E}_{kB2} \\ \frac{1}{2} m_A (\vec{v}_{A1})^2 + \frac{1}{2} m_B (\vec{v}_{B1})^2 &= \frac{1}{2} m_A (\vec{v}_{A2})^2 + \frac{1}{2} m_B (\vec{v}_{B2})^2\end{aligned}$$

ຖ້າ $\vec{v}_{B1}=0$ ແລະ $m_A = m_B$ ຈະໄດ້ວ່າ

$$\begin{aligned}(v_{A1})^2 + (v_{B2})^2 &= (v_{A2})^2 + (v_{B2})^2 + 2v_{A2}v_{B2} \cos(\theta + \varnothing) \\ (v_{A1})^2 + (v_{B2})^2 &= (v_{A2})^2 + (v_{B2})^2 + 2v_{A2}v_{B2} \cos(\theta + \varnothing) \\ \cos(\theta + \varnothing) &= \frac{0}{2v_{A2}v_{B2}} \\ \cos(\theta + \varnothing) &= 0\end{aligned}$$

ຖ້າ $\vec{v}_{B1}=0$ ແລະ $m_A = m_B$ ຈະໄດ້ວ່າ

$$\cos(\theta + \varnothing) = 90^\circ$$

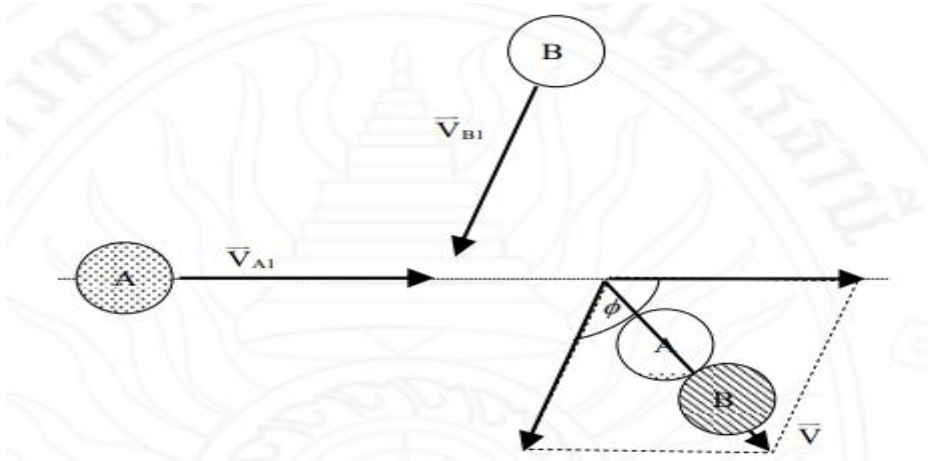
ໃນທຳນອງດຍວກັນດັ່ງນັ້ນຖ້າ $\vec{v}_{B1}=0$ ແລະ $m_A \neq m_B$ ຈະໄດ້ວ່າ

$$\theta + \varnothing < 90^\circ \text{ ເມື່ອ } m_A > m_B$$

$\theta + \phi > 90^\circ$ ເມື່ອ $m_A < m_B$ astic collision)

4.5.2 ການຕຳກັນແບບບໍ່ຫົດຢຶດ (Elastic collision)

ການຕຳກັນຂອງວັດຖຸທີ່ໜຶ່ງ ທີ່ໜຶ່ງຕຳວັດຖຸທັງສອງຈະບໍ່ຢູ່ໃນລະນານດຽວກັນ ເຊິ່ງເປັນການຕຳທີ່ບໍ່ຜ່ານຈຸດສູນກາງມວນ ຫຼັງຈາກຕຳກັນວັດຖຸທັງສອງຈະຕິດກັນໄປ ດັ່ງສະແດງໃນຮູບທີ 4.13



ຮູບທີ 4.13 ສະແດງການຕຳກັນຂອງວັດຖຸແບບບໍ່ຫົດຢຶດຂອງວັດຖຸ A ແລະ B

ຈາກກົດເກນຮັກສາໂມເມນຕຳຈະໄດ້ວ່າ

$$\begin{aligned}\sum \vec{p}_i &= \sum \vec{p}_f \\ \vec{p}_{A1} + \vec{p}_{B1} &= \vec{p} \\ m_A \vec{v}_{A1} + m_B \vec{v}_{B1} &= (m_A + m_B) \vec{v}\end{aligned}$$

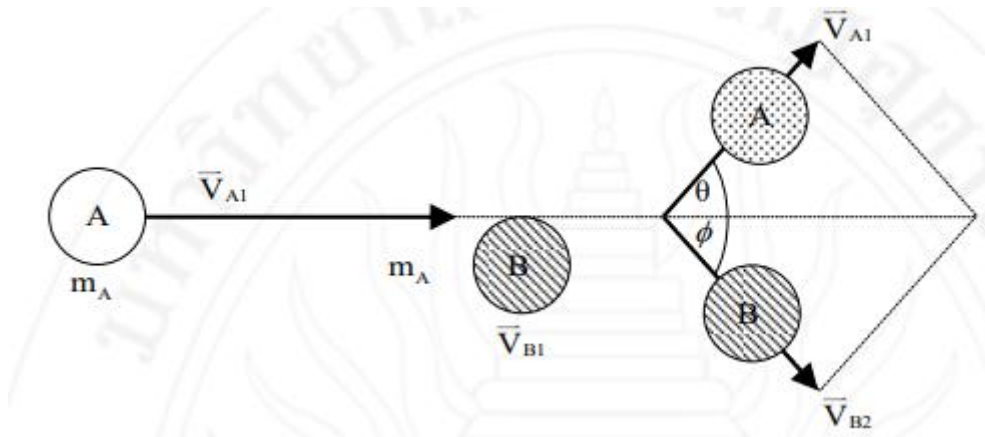
ຖ້າ $m_A \neq m_B$ ຈະໄດ້ວ່າ

$$m_A \vec{v}_{A1} + m_B \vec{v}_{B1} = (m_A + m_B) \vec{v}$$

ແລະ ສົມຜົນຫານຂາດໂດຍໄດ້ໃຊ້ລັກການລວມຂອງເວັກເຕີ

$$\begin{aligned}(p)^2 &= (p_{A1})^2 + (p_{B1})^2 + 2 p_{A1} p_{B2} \cos(\theta + \phi) \\ p &= \sqrt{(p_{A1})^2 + (p_{B1})^2 + 2 p_{A1} p_{B2} \cos(\theta + \phi)}\end{aligned}$$

ຕົວຢ່າງທີ 4.8 ວັດຖຸ A ມີມວນສານ 0,5 kg ແລ່ນດ້ວຍຄວາມໄວ 4m/s ເຂົ້າຕຳກັບວັດຖຸ A ມີມວນສານ 0,3kg ທີ່ຢຸດນຶ່ງຢູ່ກັບທີ່ ຫຼັງຈາກຕຳກັບວັດຖຸ A ມີຄວາມໄວ 2m/s ຈຶ່ງຊອກຫາຄວາມໄວຫຼັງຈາກການຕຳກັນຂອງວັດຖຸ B ແລະ ທິດທາງຂອງວັດຖຸ A ແລະ ວັດຖຸ B ທີ່ບ່ຽງເບນໄປຈາກແນວເດີມ ດັ່ງສະແດງໃນຮູບທີ 4.14



ຮູບທີ 4.14 ສະແດງການຕຳແບບ 2 ມິຕິ ຂອງວັດຖຸ A ແລະ B

ວິທີແກ້: ເນື່ອງຈາກປະລິມານເດີນເຄື່ອນເປັນປະລິມານເກຣດ ດັ່ງນັ້ນເຮົາສາມາດຊອກຫາຄວາມໄວຈາກກົດເກນ
ຮັກສາພະລັງງານເດີນເຄື່ອນຈະໄດ້ວ່າ:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} m_B (\vec{v}_{A1})^2 + \frac{1}{2} m_A (\vec{v}_{B1})^2 &= \frac{1}{2} m_A (\vec{v}_{A2})^2 + \frac{1}{2} m_B (\vec{v}_{B2})^2 \\ \frac{1}{2} (0,5\text{kg})(4\text{m/s})^2 + \frac{1}{2} (0,3\text{kg})(0)^2 &= \frac{1}{2} (0,5\text{kg})(2\text{m/s})^2 + \frac{1}{2} (0,3\text{kg})(\vec{v}_{B2})^2 \\ 8\text{kg}\cdot\text{m/s} &= 2\text{kg}\cdot\text{m/s} + 0,3\text{kg}(\vec{v}_{B2})^2 \\ \vec{v}_{B2} &= 4,47\text{m/s} \end{aligned}$$

ຈາກກົດເກນຮັກສາໂມເມນຕຳ

$$m_A \vec{v}_{A1} + m_B \vec{v}_{B1} = m_A \vec{v}_{A2} + m_B \vec{v}_{B2}$$

ແນວແກນ x ກ່ອນຕຳ

$$(0,5\text{kg} \times 4\text{m/s}) + 0 = 2\text{kg}\cdot\text{m/s}$$

ແນວແກນ y ກ່ອນຕຳ

$$= 0$$

ແນວແກນ x ຫຼັງຕຳ

$$\begin{aligned} m_A \vec{v}_{A2x} + m_B \vec{v}_{B2x} \\ m_A \vec{v}_{A2} \cos \theta + m_B \vec{v}_{B2} \cos \phi \\ = (0,5\text{kg} \times 2\text{m/s} \times \cos \theta) + (0,3\text{kg} \times 4,47\text{m/s} \cos \phi) \\ = (1\text{kg}\cdot\text{m/s} \times \cos \theta) + (1,34\text{kg}\cdot\text{m/s} \cos \phi) \end{aligned}$$

ແນວແກນ y ຫຼັງຕໍ່າ

$$\begin{aligned} m_A \vec{v}_{A2x} + m_B \vec{v}_{B2x} \\ m_A \vec{v}_{A2} \sin \theta + m_B \vec{v}_{B2} \sin \varnothing \\ = (0,5kg \times 2m / s \times \sin \theta) + (0,3kg \times 4,77m / s \sin \varnothing \\ = (1kg.m / s \times \sin \theta) + (1,34kg.m / s \sin \varnothing \end{aligned}$$

ລວມສົມຜົນແຕ່ລະແນວເຂົ້າກັນຈະໄດ້ວ່າ:

ແນວແກນ x

$$\begin{aligned} 2kg.m / s &= (1kgm / s \times \cos \theta) + (1,34kg.m / s \times \cos \varnothing) \\ 2 &= \cos \theta + 1,34 \cos \varnothing \\ (2 - \cos \theta)^2 &= (1,34 \cos \varnothing)^2 \\ 4 - 4 \cos \theta &= 1,79 (\cos \varnothing)^2 \end{aligned}$$

ແນວແກນ y

$$\begin{aligned} 0 &= 1kgm / s \times \cos \theta + (1,34kg.m / s \times \cos \varnothing) \\ (\sin \theta)^2 + 1,79 (\sin \varnothing)^2 \end{aligned}$$

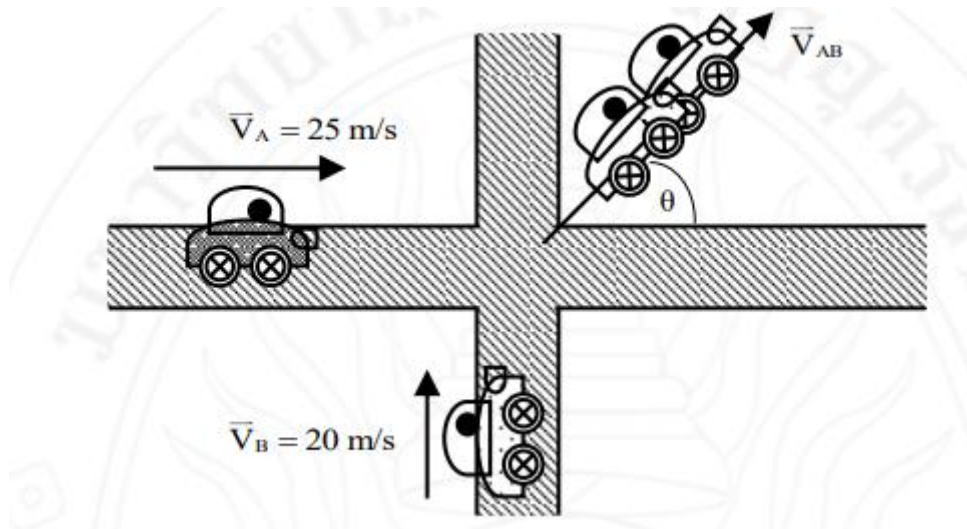
ນຳສົມຜົນມາບວກກັນ

$$\begin{aligned} 4 - 4 \cos \theta^2 + (\cos \varnothing)^2 + (\cos \theta^2) &= 1,79 (\cos \varnothing)^2 + 1,79 (\sin \varnothing)^2 \\ 4 - 4 \cos \theta + 1 &= 1,79 \\ \cos \theta &= 0,8 \\ \theta &= 36.86^\circ \end{aligned}$$

ແທນຄ່າໃນສົມຜົນ

$$\begin{aligned} 2 &= 0,8 + 1,3 \cos \varnothing \\ \cos \varnothing &= 0,895 \\ \theta &= 26,49^\circ \end{aligned}$$

ຕົວຢ່າງທີ 4.7 ລົດຍົນຄັນທີ 1 ມີມວນສານ 1500kg ແລະ ຄັນທີ 2 ມີມວນສານ 2500kg ສະແດງດັ່ງຮູບທີ 4.15 ເກີດຕາກັນຢູ່ທາງແຍກ ແລະ ຕິດກັນໄປ ຈຶ່ງຫາຄວາມໄວຫຼັງຈາກການຕາກັນຂອງລົດຄັນທັງສອງ ແລະ ທິດທາງລັງການຕໍ່າຂອງລົດທັງສອງຕາມແນວລົດ A



ຮູບທີ 4.15 ສະແດງການຕຳກັນແບບບໍ່ຫົດຢຶດຂອງລົດທັງສອງຄັນ

ວິທີແກ້: ພິຈາລະນາໂມເມນຕຳໃນແນວແກນ x ແລະແກນ y ກ່ອນຕຳ

ແກນ x

$$P_{Ax} = m_A v_{Ax} = 1500 \text{ kg} \times 25 \text{ m/s} = 37500 \text{ kg.m/s}$$

$$P_{Bx} = m_B v_{Bx} = 0$$

ແກນ y

$$P_{Ay} = m_A v_{Ay} = 0$$

$$P_{By} = m_y v_{yx} = 2500 \text{ kg} \times 20 \text{ m/s} = 50000 \text{ kg.m/s}$$

ແລະໂມເມນຕຳໃນແນວແກນ x ແລະ ແກນ y ກ່ອນຕຳກັນ

$$\vec{p} = \sqrt{\vec{p}_x^2 + \vec{p}_y^2}$$

$$\vec{p} = \sqrt{(37500)^2 + (50000)^2}$$

$$\vec{p} = 62500 \text{ N}$$

ແລະໂມເມນຕຳໃນແນວແກນ x ແລະ ແກນ y ຫຼັງຕຳກັນ

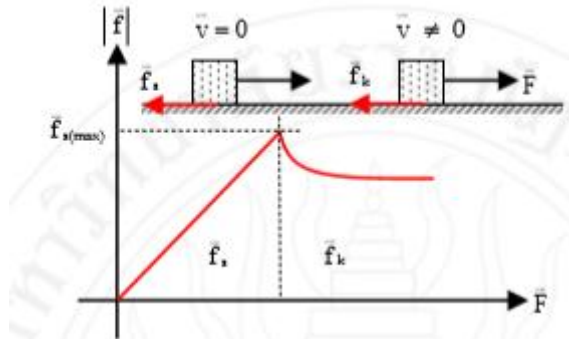
$$\tan \theta = \frac{50000}{37500}$$

$$\theta = 53,06^\circ$$

ແລະຄວາມໄວຫຼັງການຕຳກັນ

$$\vec{v}_{AB} = \frac{\vec{p}}{(m_A + m_B)} = \frac{62500 \text{ kg.m / s}}{400 \text{ kg}}$$

$$\vec{v}_{AB} = 15,63 \text{ m / s}$$



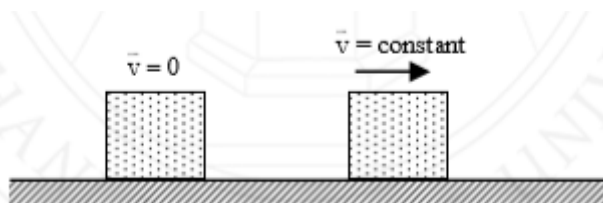
ຮູບທີ່ 2.3 ສະແດງການອອກແຮງດຶງວັດຖຸແລະກາຟການຜົວພັນແຮງຮຸກຖູລະຫວ່າງວັດຖຸແລະພື້ນ

8. ກົດເກນການເຄື່ອນທີ່ຂັ້ນ 1 ຂອງນິວເຕັນ

ກົດເກນການເຄື່ອນທີ່ຂັ້ນ 1 ຂອງນິວເຕັນ (Newton's first law of motion) ຫຼືກົດເກນຂອງຄວາມເສື່ອຍ (law of inertia) ກ່າວວ່າວັດຖຸຈະຮັກສາສະພາວະຢູ່ນຶ່ງຫຼືສະພາວະເຄື່ອນທີ່ຢ່າງສະໝໍາສະເໝີໃນແນວເສັ້ນຕົງ ນອກຈາກມີແຮງພັງ ຊຶ່ງມີຄ່າບໍ່ເປັນສູນມາເຮັດ ໝາຍຄວາມວ່າຖ້າວັດຖຸຢູ່ນຶ່ງກໍຍັງຄົງຢູ່ນຶ່ງເໝືອດ ແລະຖ້າວັດຖຸເກີດການເຄື່ອນທີ່ເປັນເສັ້ນຕົງດ້ວຍຄວາມເລັ່ງຄົງທີ່ຫຼືຄວາມເລັ່ງເປັນສູນ ຖ້າບໍ່ມີແຮງພັງ ພາຍນອກມາກະທົບຕໍ່ ວັດຖຸດ້າຮູບ 2.4 ສາມາດຂຽນສົມຜົນໄດ້ດັ່ງນີ້

$$\Sigma \vec{f} = 0$$

$\Sigma \vec{f}$ ແຮງພັງທັງໝົດທີ່ກະທົບໃສ່ວັດຖຸ



ຮູບທີ່ 2.4 ສະແດງການເຄື່ອນທີ່ຕາມກົດເກນຂັ້ນ 1 ຂອງນິວເຕັນ

2.6 ກົດເກນເຄື່ອນທີ່ຂັ້ນ 2 ຂອງນິວເຕັນ

ສໍາລັບກົດເກນການເຄື່ອນທີ່ຂັ້ນ 2 ຂອງນິວເຕັນ (Newton's second law of motion) ຫຼືກົດເກນຂອງແຮງ (Law of force) ກ່າວວ່າເມື່ອມີແຮງພັງ ມີຄ່າບໍ່ເທົ່າສູນມາກະທົບຕໍ່ວັດຖຸຈະເຮັດໃຫ້ວັດຖຸເກີດຄວາມເລັ່ງໃນທິດດຽວກັບແຮງພັງທີ່ມາກະທົບ ໂດຍທີ່ຂະໜາດຂອງຄວາມເລັ່ງຈະປ່ຽນຜັນຕົງກັບຂະໜາດຂອງແຮງພັງຕາມສົມຜົນ

$$\vec{a} \propto \vec{f}$$

ຊຶ່ງໝາຍຄວາມວ່າ ເມື່ອຜັກວັດຖຸໃຫ້ແຮງຂຶ້ນ ຄວາມແຮງຂອງວັດຖຸກໍຈະຫຼາຍຂຶ້ນຕາມໄປດ້ວຍ ແລະຂະໜາດຂອງຄວາມເລັ່ງຈະແປຜັນກັບມວນສານຂອງວັດຖຸຕາມສົມຜົນ

$$\vec{a} \propto \frac{1}{m}$$

ຊຶ່ງໝາຍຄວາມວ່າ ເມື່ອອອກແຮງເທົ່າໆກັນ ຜັກວັດຖຸສອດເຊະນິດຊຶ່ງມີມວນສານນ້ອຍກວ່າ ວັດຖຸມີມວນສານຫຼາຍຈະເຄື່ອນທີ່ດ້ວຍຄວາມເລັ່ງນ້ອຍກວ່າວັດຖຸທີ່ມີມວນສານນ້ອຍ ຈາກກົດເກນຂໍ້ນີ້ສາມາດອະທິບາຍສົມຜົນໄດ້ດີເປັນ

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$$

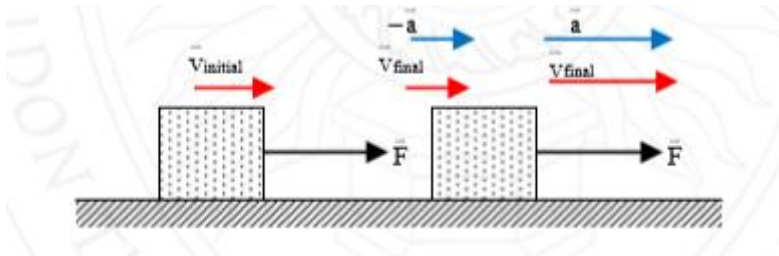
$\Sigma \vec{F}$ ແຮງພະລັງງານທັງໝົດທີ່ກະທົບໃສ່ວັດຖຸ N

M ມວນສານຂອງວັດຖຸ kg

$\vec{a}$ ຄວາມເລັ່ງຂອງວັດຖຸ m/s

ເຮັດໃຫ້ສາມາດພິຈາລະນາແຮງພະລັງງານນີ້ໃນຮູບຂອງເວັກເຕີຍ່ອຍຕາມແກນ x,y,ແລະ z ໄດ້ເປັນ

$$\Sigma \vec{F}_x = m\vec{a}_x \quad \Sigma \vec{F}_y = m\vec{a}_y \quad \text{ແລະ} \quad \Sigma \vec{F}_z = m\vec{a}_z$$



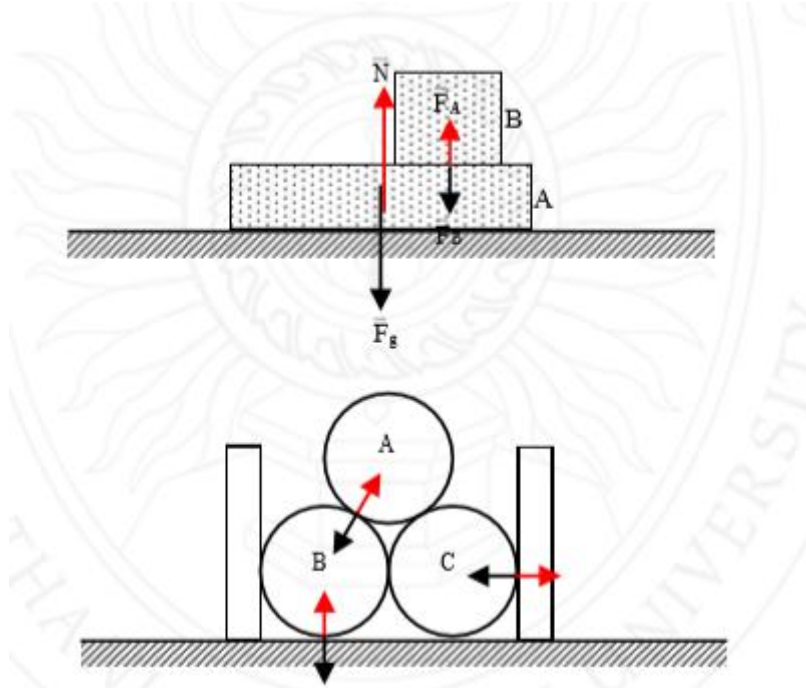
ຮູບທີ່ 2.5 ສະແດງການເຄື່ອນທີ່ຕາມຂັ້ນຂອງນິວເຕິນ

2.7 ກົດເກນການເຄື່ອນທີ່ຂັ້ນ 3 ຂອງນິວເຕິນ

ສໍາລັບກົດເກນການເຄື່ອນທີ່ຂັ້ນ 3 ຂອງນິວເຕິນ (Newton's third law of motion) ຫຼືກົດເກນຂອງປະຕິກິລິຍາ (Law of action and reaction) ກ່າວວ່າ ທຸກແຮງກິລິຍາ (Action force) ຕ້ອງມີແຮງປະຕິກິລິຍາ (Reaction force) ທີ່ມີຂະໜາດເທົ່າກັນ ສາມາດຂຽນສົມຜົນໄດ້

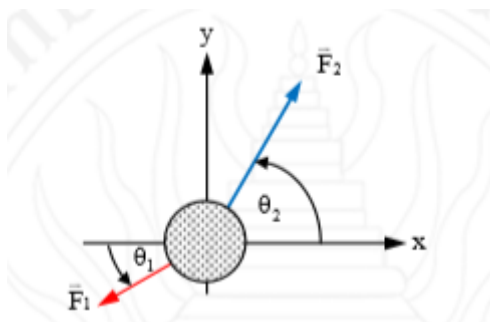
$$F_{\text{action}} = -F_{\text{reaction}}$$

ເຮົາຈະພົບວ່າເມື່ອໃດທີ່ມີແຮງກົລິຍາ ຈະມີແຮງປະຕິກົລິຍາເກີດຂຶ້ນສະເໝີ ເຊິ່ງເປັນແຮງທີ່ກະທົບຕໍ່ຊ່ວຍມວນສານທີ່ຕ່າງກັນແລະເກີດຂຶ້ນພ້ອມກັນເປັນຄູ່ສະເໝີສະແດງດັ່ງຮູບ 2.6 ຈະເຫັນໄດ້ວ່າແຮງທີ່ກະທົບຕໍ່ວັດຖຸທີ່ວ່າງຢູ່ພື້ນຈະມີ 2 ຄູ່ໂດຍທີ່ຄູ່ທີ່ 1 ເປັນແຮງທີ່ເກີດຂຶ້ນຈາກພື້ນກະທົບຕໍ່ວັດຖຸແລະເປັນແຮງຈາກວັດຖຸກະທົບໃສ່ພື້ນ ແລະຄູ່ທີ່ 2 ເປັນແຮງທີ່ເກີດຈາກໂລກກະທົບໃສ່ວັດຖຸນ້ຳໜັກ ແລະວັດຖຸທີ່ 3 ກອນແຮງທີ່ເກີດຈາກວັດຖຸກະທົບຕໍ່ໂລກ ດຶງດູດ ແລະຄູ່ທີ່ 2 ເປັນແຮງທີ່ເກີດຈາກວັດຖຸກະທົບລະຫວ່າງວັດຖຸ



ຮູບທີ່ 2.6 ສະແດງແຮງປະຕິກົລິຍາເກີດຂຶ້ນລະຫວ່າງວັດຖຸ

ຕົວຢ່າງ 1 ໝາກບານໜ່ວຍໜຶ່ງມີມວນສານ 0.4 kg ກົງມາຕາມພື້ນລຽບຖືກເຕະສະກັດໂດຍນັກເຕະບານສອງຄົນໃນທິດທາງດັ່ງຮູບ 2.7 ໂດຍໜັກເຕະບານຄົນທຳອິດອອກແຮງ 2 N ມຸມ θ_1 ເທົ່າກັບ 30° ກັບແກນ $-X$ ແລະນັກເຕະບານຄົນທຳອິດອອກແຮງ 5 N ມຸມ 60° ກັບແກນ X ຈາກຂະໜາດແລະທິດທາງຂອງຄວາມເລັ່ງຂອງໝາກບານລູກນີ້ເມື່ອບໍ່ຄິດແຮງຕ້ານໃດໆ



ຮູບທີ່ 2.7 ສະແດງທິດທາງ $\vec{F}_1$ ແລະ $\vec{F}_2$ ທີ່ກະທົບກັບໝາກບານ

ບົດແກ້ ຈາກກົດເກນຂໍ້ 2 ຂອງນິວເຕັນ $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$

$$\text{ໂດຍທີ່ } \Sigma \vec{F}_x + \Sigma \vec{F}_y = m\vec{a}_x + m\vec{a}_y$$

$$\Sigma \vec{F}_x = F_{1x} \hat{i} + F_{2x} \hat{i}$$

$$\Sigma \vec{F}_y = F_{1y} \hat{j} + F_{2y} \hat{j}$$

$$\text{ແຮງຕາມແກນ x } F_{1x} = -F_1 \cos \theta_1 = -2 \times \cos 30^\circ = -2 \times 0.866 = -1.732N$$

$$F_{2x} = f_2 \cos \theta_2 = 2 \times \cos 60^\circ = 4 \times 0.5 = 2N$$

$$\text{ແທນຕາມແກນ y } F_{1y} = F_1 \sin \theta_1 = -2 \times \sin 30^\circ = -2 \times 0.5 = -1.0N$$

$$F_{1y} = F_2 \sin \theta_2 = 5 \times \sin 60^\circ = 5 \times 0.866 = 4.33N$$

$$\begin{aligned} \text{ແທນຄ່າຈະໄດ້ } \Sigma \vec{F}_x &= -1.732\hat{i} + 2\hat{i} = 0.268N\hat{i} \\ \Sigma \vec{F}_y &= -1.0\hat{j} + 4.33\hat{j} = 3.33N\hat{j} \end{aligned}$$

$$\text{ແທນຄ່າຈະໄດ້ } \Sigma \vec{F}_x = m\vec{a}_x$$

$$0.268N\hat{i} = (0.4kg)a_x$$

$$\vec{a}_x = \frac{0.268N\hat{i}}{0.4kg}$$

$$\vec{a}_x = 0.67\hat{i}m/s^2$$

$$\text{ແທນຄ່າໃສ່ຈະໄດ້ } \Sigma \vec{F}_y = m\vec{a}_y$$

$$3.33N\hat{j} = (0.4kg)\vec{a}_y$$

$$\vec{a}_y = \frac{3.33N\hat{j}}{0.4kg}$$

$$\vec{a}_y = 8.325\hat{j}m/s^2$$

$$\text{ຈະໄດ້ } \vec{a} = \vec{a}_x + \vec{a}_y = 0.67\hat{i} + 8.325\hat{j}m/s^2$$

$$\text{ຂະໜາດຂອງຄວາມເລັ່ງ } a = \sqrt{(a_x)^2 + (a_y)^2}$$

$$= \sqrt{(0.67) + (8.3215)m/s^2}$$

$$= 8.35m/s^2$$

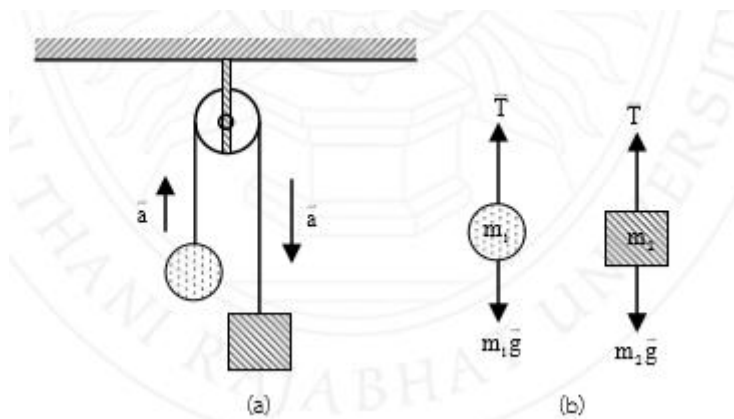
$$\text{ແລະທິດທາງຂອງຄວາມເລັ່ງ } \tan \theta = \frac{\vec{a}_y}{\vec{a}_x}$$

$$= \frac{0.67}{8.325}$$

$$\theta = \tan^{-1}(0.08)$$

$$\theta = 5^\circ$$

ຕົວຢ່າງ 2 ວັດຖຸສອງກ້ອນ m_1 ແລະ m_2 ຊຶ່ງ $m_2 > m_1$ ຜູກຕິດປາຍເຊືອກເປົາກ້ອງຜ່ານລອດເປົາແລະໝື່ນດັ່ງ
ຮູບ ວິ 2.8 (ລະບົບ Atwood's Machine) ຈົ່ງຫາຄວາມເລັ່ງຂອງມວນສານ ແລະແຮງຕຶງເຊືອກ



ຮູບທີ່ 2.8(a) ສະແດງລະບົບ Atwood's Machine

(b) ສະແດງແຮງຕ່າງໆທີ່ກະທົບຕໍ່ວັດຖຸ m_1 ແລະ m_2

ບົດແກ້ ເນື່ອງຈາກ $m_2 > m_1$ ດັ່ງນັ້ນມວນສານ m_1 ຈະເຄື່ອນທີ່ຂຶ້ນດັ່ງນັ້ນມວນສານ m_2 ເຄື່ອນທີ່ລົງດ້ວຍຄວາມເລັ່ງ
ເທົ່າກັນນັ້ນຄືຄວາມເລັ່ງຂອງມວນສານຈະເທົ່າກັບຄວາມເລັ່ງຂອງລະບົບນີ້ຈະໄດ້

$$\text{ຈາກກົດເກນຂໍ້ 2 ຂອງນິວເຕັນ } \Sigma \vec{F} = m\vec{a}$$

$$\text{ຈະໄດ້ } \Sigma \vec{F}_x + \Sigma \vec{F}_y = m\vec{a}_x + m\vec{a}_y$$

$$\Sigma \vec{F}_x = F_x i, \Sigma \vec{F}_y = F_y j$$

$$\vec{a}_x = a_x i, \quad \vec{a}_y = a_y j$$

ພິຈາລະນາແຮງ m_1

$$\text{ແຮງຕາມແກນ } x \quad F_{m1x} = 0N$$

$$\text{ແຮງຕາມແກນ } y \quad F_{m2y} = (T - m_1 g)N$$

ແທນຄ່າໃນ

$$(T - m_1 g)j = m_1 a_y j$$

$$Tj = (m_1 a_y + m_1 g)j$$

ພິຈາລະນາແຮງ m_2

$$\text{ແຮງຕາມແກນ } x \quad F_{M2x} = 0N$$

$$\text{ແຮງຕາມແກນ } y \quad F_{m2y} = (m_2 g - T)N$$

ແທນຄ່າໃນ

ນຳ (3)-(4)

$$(m_1 a_y + m_1 g)j = (m_2 g - m_2 a_y)j$$

$$\vec{a}_y = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_2 + m_1)} g \text{ m/s}^2$$

ແລະເນື່ອງຈາກເຊືອກເສັ້ນດຽວກັນ ຈຶ່ງມີຂະໜາດແຮງຕຶງເຊືອກເທົ່າກັນ ສຳລັບ m_1 ແລະ m_2 ແທນຄ່າ a ແລະ

(3)ໃນ (1) ຈະໄດ້

$$T = (m_1 a_y + m_1 g)$$

$$T = m_1 \frac{(m_2 - m_1)}{(m_2 + m_1)} g + m_1 g$$

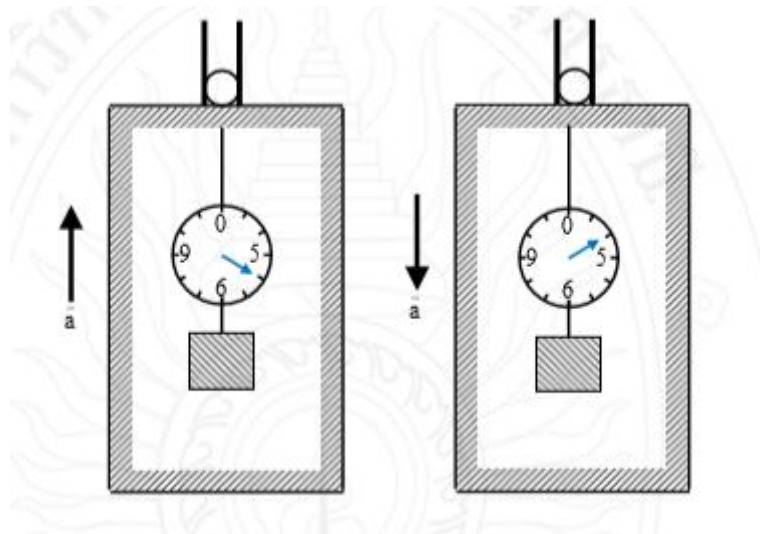
$$T = \frac{m_1 g(m_2 - m_1) + m_1 g(m_2 + m_1)}{(m_2 + m_1)}$$

$$T = \frac{2m_1 m_2 g}{(m_2 + m_1)}$$

ຕົວຢ່າງ 3 ຊັງກ້ອງໃນລົບດ້ວຍສັງສະປິງທີ່ແຂນຫ້ອຍຈາກແພດານລົບ ດັ່ງຮູບທີ່ 2.9 ຂະນະທີ່ລົບຍຸດນຶ່ງສາມາດຊັງນ້ຳໜັກກ້ອງໄດ້ 40N

ຈຶ່ງຫາ (a) ຖ້າລົບເຄື່ອນທີ່ຂຶ້ນດ້ວຍຄວາມເລັ່ງ $2m/s^2$ ຕາຊັງສະປິງຈະອ່ານນ້ຳໜັກໄດ້ເທົ່າໃດ

(b) ຖ້າລົບເຄື່ອນທີ່ລົງດ້ວຍຄວາມເລັ່ງ $2m/s^2$ ຕາຊັງສະປິງຈະອ່ານນ້ຳໜັກໄດ້ເທົ່າໃດ



ຮູບທີ່ 2.9 (a) ສະແດງການຊັງຂະນະທີ່ລົບເຄື່ອນທີ່ຂຶ້ນ

(b) ສະແດງການຊັງກ້ອງລົບເຄື່ອນທີ່ລົງ

ບົດແກ້ (a) ເມື່ອລົບຍຸດນຶ່ງຈາກກົດເກນທີ່ຂອງນິວເຕິນຈະໄດ້ວ່າ

$$\sum \vec{F} = 0$$

$$T - mg = 0$$

$$T = mg$$

$$m \frac{40}{9.8}$$

$$m = 4.08 \text{ kg}$$

ເມື່ອລົບເຄື່ອນທີ່ຂຶ້ນຈາກກົດເກນທີ່ຂອງນິວເຕິນຈະໄດ້ວ່າ

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$$

$$T - mg = m\vec{a}$$

$$T = m\vec{a} + mg$$

$$T = (4.08 \times 2) + (4.08 \times 9.8)$$

$$T = 48.1N$$

ຕາຊັງສະປິງຈະອ່ານນ້ຳໜັກໄດ້ 48.1N

(b) ເມື່ອລົບເຄື່ອນທີ່ລົງຈາກກົດເກນຂໍ້ຂອງນິວເຕິນຈະໄດ້

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$$

$$mg - T = m\vec{a}$$

$$T = mg + m\vec{a}$$

$$T = (4.08 \times 9.8) - (4.08 \times 2)$$

$$T = 31.8N$$

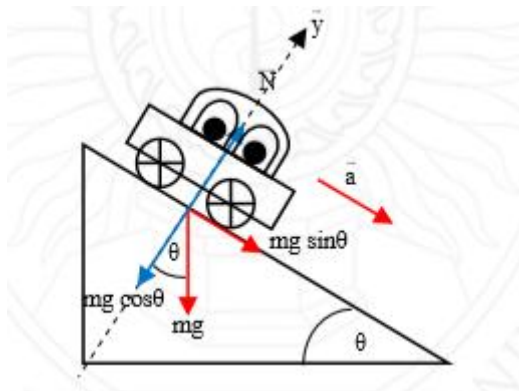
ຕາຊັງສະປິງຈະອ່ານຄ່ານ້ຳໜັກໄດ້ 31.8N

ຕົວຢ່າງ4 ລົດມີມວນສານ m ເຄື່ອນທີ່ຢູ່ຕາມທາງປ່ຽກໝື່ນທີ່ມຸມ 15° ດັ່ງຮູບທີ່2.10

ຈົງຊອກຫາ (a) ຄວາມເລັ່ງຂອງລົດຄັນນີ້ໂດຍບໍ່ຕິດແຮງຮຸກຖູໃດໆ

(b) ຖ້າທາງຍາວ 25m ຈະໃຊ້ເວລາເທົ່າໃດຖ້າເລີ່ມເຄື່ອນທີ່ຈາກຈຸດສູງສຸດໄປຍັງຈຸດຕໍ່າສຸດ

(c) ຄວາມເລັ່ງຂອງລົດຄັນນີ້ຈຸດຕໍ່າສຸດ



ຮູບທີ່ 2.10 ສະແດງການເຄື່ອນທີ່ຂອງລົດຕາມທາງປຽກໜຶ່ງທີ່ເປັນມຸມ 15°

ວິທີແກ້ (a) ເມື່ອລົດເຄື່ອນທີ່ຕາມແຖນ x ຈາກກົດເກນຂັ້ນ 2 ຂອງນິວເຕັນ

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

$$mg \sin \theta = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = g \sin \theta$$

$$\vec{a} = 9.8 \times \sin 20$$

$$\vec{a} = 3.35 \text{ m/s}^2$$

ຄວາມເລັ່ງຂອງລົດຄັນນີ້ເທົ່າກັບ 3.35 m/s^2

(b) ເມື່ອຄວາມຍາວ 25m ຈະໃຊ້ເວລາເທົ່າໃດຖ້າເລີ່ມເຄື່ອນທີ່ຈາກຈຸດສູງສຸດໄປຍັງຈຸດຕໍ່າສຸດ

$$\vec{s} = \vec{u}t + \frac{1}{2} \vec{a}t^2$$

$$25 = 0 + \frac{1}{2} (3.335)t^2$$

$$t = 3.86 \text{ s}$$

ໃຊ້ເວລາເຄື່ອນທີ່ຈາກຈຸດຕໍ່າສູງສຸດໄປຍັງຈຸດຕໍ່າສຸດເທົ່າກັບ 3.86s

(c) ຄວາມເລັ່ງຂອງລົດຄັນນີ້ຈຸດຕໍ່າສຸດເທົ່າກັບ

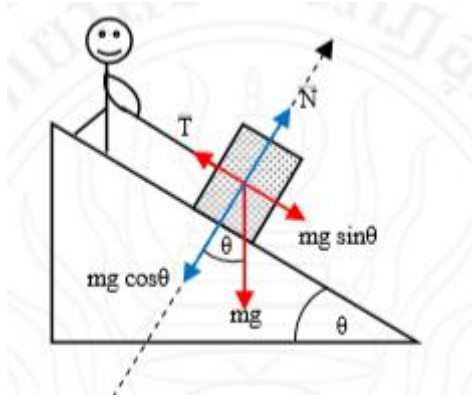
$$\vec{v} = \vec{u} + \vec{a}t$$

$$\vec{v} = 0 + (3.35 \times 3.86)$$

$$\vec{v} = 12.93 \text{ m/s}$$

ຄວາມເລັ່ງຂອງລົດຄັນນີ້ຈຸດຕໍ່າສຸດເທົ່າກັບ 12.93 m/s

ຕົວຢ່າງ 5 ຊາຍຄົນໜຶ່ງພະຍາຍາມດຶງກ້ອງໄວ້ນຶ່ງຢູ່ເທິງພື້ນຮຽງມຸມ 30° ກັບທາງລຽບໂດຍບໍ່ຄິດແຮງຮຸກຮຸນຕັ້ງຮູບ 2.11 ກ້ອງນີ້ມີນ້ຳໜັກ 90N ຈຶ່ງຊອກຫາແຮງດຶງເຊືອກທີ່ຜູກຕິດກັບກ້ອງແລະແຮງທີ່ເກີດຈາກພື້ນກະທົບໃສ່ກ້ອງໃບນີ້



ຮູບທີ 2.11 ສະແດງຊາຍຄົນໜຶ່ງດຶງກ້ອງໄວ້ນຶ່ງຢູ່ພື້ນຮຽງໂດຍບໍ່ໄດ້ຕິດແຮງຮຸກຖູ

ວິທີແກ້ ເນື່ອງຈາກກ້ອງຢູ່ນຶ່ງຢູ່ພື້ນຮຽງດັ່ງນັ້ນຄວາມແຮງເປັນສູນແຮງທາງຊ້າຍກັບແຮງທາງຂວາຈະໄດ້ວ່າ

$$\sum \vec{F} = 0$$

$$T - mg \sin \theta = 0$$

$$T = mg \sin \theta$$

$$T = 70 \times \sin 30$$

$$T = 70 \times 0.5$$

$$T = 35N$$

ເນື່ອງຈາກກ້ອງຢູ່ນຶ່ງທາງພື້ນຮຽງດັ່ງນັ້ນຄວາມເລັ່ງເປັນສູນແຮງຂຶ້ນເທົ່າກັບແຮງລົງຈະໄດ້ວ່າ

$$\sum \vec{F} = 0$$

$$N - mg \cos \theta = 0$$

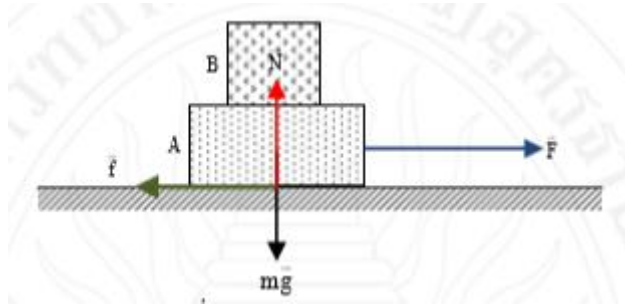
$$N = mg \cos \theta$$

$$N = 70 \cos 30$$

$$N = 70 \times 0.866$$

$$N = 60.62N$$

ຕົວຢ່າງ 6 ກ້ອງ a ມີນ້ຳໜັກ 70N ຢູ່ກ້ອງ b ມີນ້ຳໜັກ 60N ຖືກດຶງໃຫ້ເຄື່ອນທີ່ດ້ວຍຄວາມແຮງຖ້າສໍາປະສິດ ແຮງຮຸກຖູຈົນເທົ່າກັບ 0.1 ແລະສໍາປະສິດແຮງຮຸກຖູສະຖິຕິເທົ່າກັບ 0.7 ຈົ່ງຊອກຫາແຮງຫຼາຍທີ່ສຸດທີ່ຕ້ອງດຶງ ລາກເລື່ອນໄຫ້ເລີ່ມເຄື່ອນທີ່ອອກໄປໄດ້ດັ່ງຮູບ 2.12



ຮູບທີ່ 2.12 ສະແດງການອອກແຮງດຶງກ້ອງ

ວິທີແກ້ ເນື່ອງຈາກແຮງທີ່ໃຊ້ດຶງເພື່ອໃຫ້ເລີ່ມເຄື່ອນທີ່ ດັ່ງນັ້ນ ສໍາປະສິດແຮງຮຸກຖູສະຖິຕິຈຶ່ງຖືກນໍາມາພິຈາລະນາ ນັ້ນຄື $\mu = 0.7$ ແລະຄວາມເລັ່ງເປັນສູນ

$$\sum \vec{F} = 0$$

$$F - f_s = 0$$

$$F - \mu_s N = 0$$

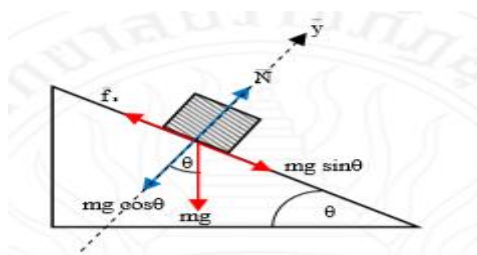
$$F = \mu_s N$$

$$F = 0.7(70 + 60)$$

$$F = 91N$$

ແຮງທີ່ຫຼາຍທີ່ສຸດທີ່ຕ້ອງໃຊ້ດຶງລາກເລື່ອນໄຫ້ເລີ່ມເຄື່ອນທີ່ 91N

ຕົວຢ່າງທີ່ 7 ກ້ອງມີມວນສານ 2.50kg ວ່າງຢູ່ພື້ນຮຽງ θ ຖ້າສໍາປະສິດແຮງຮຸກຖູລະຫວ່າງກ້ອງໄມ້ແລະພື້ນຮຽງ ເທົ່າກັບ 0.35 ພື້ນຮຽງຕ້ອງຢູ່ມຸມເທົ່າໃດກ້ອງໄມ້ຈຶ່ງຈະເຄື່ອນທີ່ລົງດັ່ງຮູບ 2.13



ຮູບທີ່ 2.13 ສະແດງການເຄື່ອນທີ່ຂອງກ້ອງພື້ນຮຽງ

ວິທີແກ້ ເນື່ອງຈາກກ້ອງຢູ່ນຶ່ງພື້ນຜິວດັ່ງນັ້ນຄວາມເລັ່ງເປັນສູນຈາກກົດເກນຂໍ້ຂອງນິວເຕິນຈະໄດ້ວ່າ

$$\sum \vec{F} = 0$$

ແຮງທາງຊ້າຍຈະເທົ່າແຮງທາງຂວາ

$$f - mg \sin \theta = 0$$

$$\mu_s N = mg \sin \theta$$

ແຮງຂຶ້ນເທົ່າກັບແຮງລົງ

$$N - mg \cos \theta = 0$$

$$N = mg \cos \theta$$

ນຳສົມ(2)ຜົນຫານສົມ(3)ຈະໄດ້

$$\frac{\mu_s N}{N} = \frac{mg \sin \theta}{mg \cos \theta}$$

$$\mu_s = \tan \theta$$

$$\theta = \tan^{-1}(\mu_s)$$

$$\theta = \tan^{-1}(0.35)$$

$$\theta = 19.29^\circ$$

ດັ່ງນັ້ນພື້ນຜິວຕ້ອງຢູ່ມຸມຫຼາຍກວ່າ 19.29° ກ້ອງເຖິງຈະເຄື່ອນທີ່ລົງ

9. ກົດເກນໂນ້ມຖ່ວງຂອງນິວເຕິນ

ກົດເກນໂນ້ມຖ່ວງຂອງນິວເຕິນກ່າວໄວ້ວ່າອະນຸພາກທຸກໆອະນຸພາກໃນເອກະພົບສາມາດດຶງດູດກັນແລະກັນດ້ວຍແຮງທີ່ຜິວພັນດຶງກັນຜົນຄູນຂອງມວນສານແລະຜິວພັນກັບກຳລັງສອງຂອງໄລຍະທາງລະຫວ່າງອະນຸພາກເຫຼົ່ານັ້ນ ຖ້າອະນຸພາກມີມວນສານ m_1 ແລະ m_2 ຢູ່ຫ່າງກັນເປັນໄລຍະທາງ r ຈະໄດ້ຂະໜາດຂອງແຮງໂນ້ມຖ່ວງເປັນ

$$\vec{F} \propto m_1 m_2$$

$$\text{ແລະ} \quad \vec{F} \propto \frac{1}{r^2}$$

$$\text{ຈະໄດ້ } F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.7)$$

ເມື່ອ G ເປັນຄ່າຄົງທີ່ເອີ້ນວ່າຄ່າຄົງທີ່ໂນ້ມຖ່ວງ (universal gravitational constant) ເຊິ່ງມີຄ່າເທົ່າກັບ $6.674 \times 10^{-22} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$ ໃນໜ່ວຍ SI ແຮງໂນ້ມຖ່ວງເປັນຄູ່ປະຕິກິລິຍາສາມາດຂຽນໃນຮູບເວັກເຕີໄດ້

$$F_{21} = -F_{12}$$

$$F_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} r_{12} \quad (2.8)$$

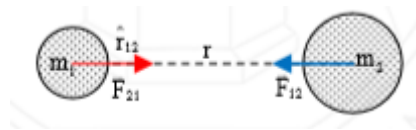
$$F_{21} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} r_{21} \quad (2.9)$$

ເມື່ອ F_{12} ແມ່ນແຮງອະນຸພາກມວນສານ m_1 ດຶງດູດອະນຸພາກມວນສານ m_2

F_{21} ແມ່ນແຮງອະນຸພາກມວນສານ m_2 ດຶງດູດອະນຸພາກມວນສານ m_1

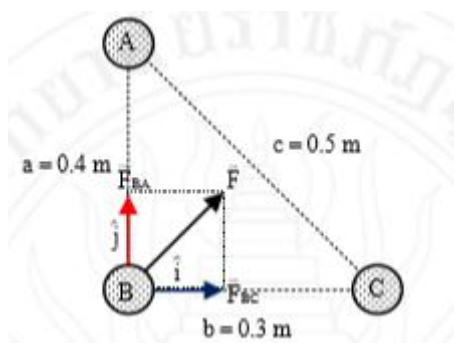
r_{12} ແມ່ນເວັກເຕີໜຶ່ງຫົວໜ່ວຍຄວາມແຮງມີທິດທາງຊື່ຈາກ m_1 ໄປຫາ m_2

r_{21} ແມ່ນເວັກເຕີໜຶ່ງຫົວໜ່ວຍຄວາມແຮງມີທິດທາງຊື່ຈາກ m_2 ໄປຫາ m_1



ຮູບທີ່ 2.14 ສະແດງແຮງໂນ້ມຖ່ວງລະຫວ່າງອະນຸພາກສອງກ້ອນດຶງດູດກັນ

ຕົວຢ່າງ 2.8 ລູກບິດສຽດ AB ແລະ C ແຕ່ລະລູກມີມວນສານ 0.30kg ວາງຢູ່ພື້ນໂຕະບິດສຽດດັ່ງຮູບທີ່ 2.15 ອຽງຈົ່ງຊອກຫາຂະໜາດແລະທິດທາງຂອງພະລັງງານແຮງດຶງດູດໂນ້ມຖ່ວງທີ່ກະທົບຕໍ່ລູກ B



ຮູບທີ່ 2.15 ສະແດງແຮງດຶງດູດໂນ້ມຖ່ວງທີ່ກະທົບລູກ B

ວິທີແກ້ ຈາກກົດເກນແຮງດຶງດູດໂນ້ມຖ່ວງຂອງນິວເຕິນຈະໄດ້ວ່າ

ພິຈາລະນາທີ່ແຮງອະນຸພາກມວນ A ສານດຶງດູດອະນຸພາກມວນສານ B

$$\vec{F}_{BA} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} j \quad (1)$$

$$F_{BA} = \frac{(6.674 \times 10^{-11} N.m^2 / kg^2 \times 0.3kg \times 0.3kg)}{(0.4m)^2} j$$

$$\vec{F}_{BA} = 3.75 \times 10^{-11} jN$$

ພິຈາລະນາແຮງທີ່ອະນຸພາກມວນສານ A ດຶງດູດອະນຸພາກມວນສານ B

$$\vec{F}_{BC} = \frac{(6.674 \times 10^{-11} N.m^2 / kg^2 \times 0.3kg \times 0.3kg)}{(0.3m)^2} i$$

$$\vec{F}_{BC} = 6.67 \times 10^{-11} iN$$

ຂະໜາດຂອງແຮງພະລັງງານທີ່ດຶງດູດອະນຸພາກມວນສານ B

$$F = \sqrt{(F_{BA})^2 + (F_{BC})^2}$$

$$F = \sqrt{(3.75)^2 + (6.67)^2}$$

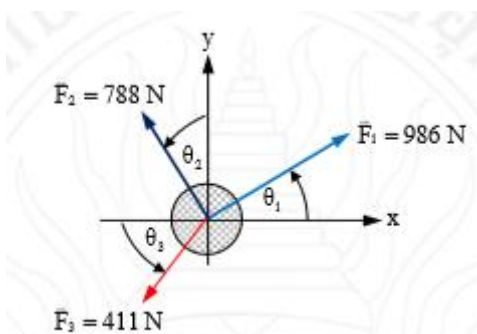
$$F = 7.66 \times 10^{-11} N$$

ທິດທາງຂອງພະລັງງານຂອງແຮງດຶງດູດໂນ້ໃມຖ່ວງທີ່ກະທົບລູກB

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{F_{BA}}{F_{BC}} \right) \text{ ເຮັດໃຫ້ໄດ້ } \theta = \tan^{-1} \left(\frac{3.75 \times 10^{-11} N}{6.67 \times 10^{-11} N} \right) = 29.4^\circ$$

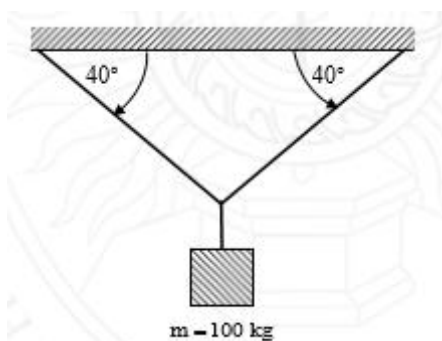
ບົດເຝິກຫັດ

1. ຈົ່ງຊອກຫາແຮງພະລັງງານທີ່ເກີດຈາກແຮງຍ່ອຍທັງ 3 ແຮງກະທົບກັບວັດຖຸຊື່ນດຽວດັ່ງຮູບ 2.16



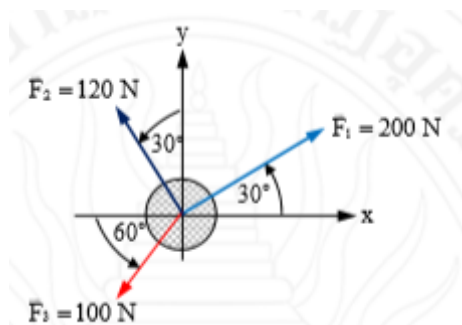
ຮູບທີ່ 2.16 ສະແດງແຮງຍ່ອຍ 3 ແຮງກະທົບກັບວັດຖຸຊື່ນດຽວກັນ

2. ກ້ອງມືມວນສານ 100 kg ຜູກດ້ວຍເຊືອກ 2 ເສັ້ນ ດັ່ງຮູບ 2.17 ຈົ່ງຊອກຫາແຮງຕຶງເຊືອກທັງ 2 ເສັ້ນ



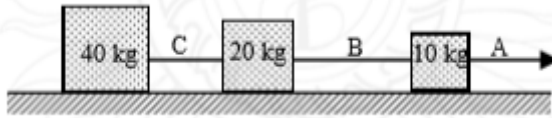
ຮູບທີ່ 2.17 ສະແດງມວນສານທີ່ຜູກດ້ວຍເຊືອກ 2 ເສັ້ນ

3. ແຮງ F_1 , F_2 ແລະ F_3 ກະທົບກັບກ້ອງມວນສານ 7 kg ດັ່ງຮູບ 2.18 ຈົ່ງຊອກຫາຂະໜາດແລະທິດທາງຂອງຄວາມເລັ່ງຂອງກ້ອງ



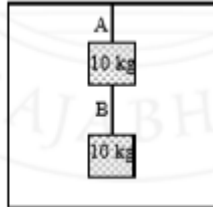
ຮູບທີ່ 2.18 ສະແດງແຮງ F_1 , F_2 ແລະ F_3 ກະທົບກັບກ້ອງຊື່ນດຽວກັນ

4. ມີກ້ອງ 3 ໃບຜູກຕິດກັນດ້ວຍເຊືອກດັ່ງຮູບ 2.19 ຖືກຕຶງໃຫ້ເຄື່ອນທີ່ດ້ວຍຄວາມເລັ່ງ 0.12 m/s^2 ບໍ່ຕິດຄວາມຕ້ານໃດໆແລະບໍ່ຕິດນ້ຳໜັກຂອງເຊືອກ ຈົ່ງຊອກຫາວ່າຕ້ອງໃຊ້ແຮງຕຶງເຊືອກແຕ່ລະເສັ້ນແລະແຮງຕຶງເທົ່າໃດ



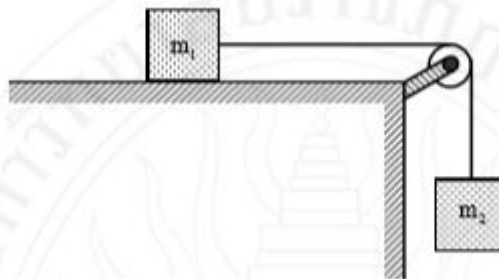
ຮູບທີ່ 2.19 ສະແດງເຮືອຮາກສົມກາລະ

5. ກ່ອງ 2 ກ່ອງຜູກຕິດກັນໂດຍເຊືອກແລະຜູກໄວ້ກັບເພດານຂອງລົບດັ່ງຮູບທີ່ 2.20 ຖ້າລົບເຄື່ອນທີ່ຂຶ້ນດ້ວຍຄວາມເລັ່ງ 2 m/s^2 ຈົ່ງຊອກຫາແຮງຕຶງເຊືອກແຕ່ລະເສັ້ນ



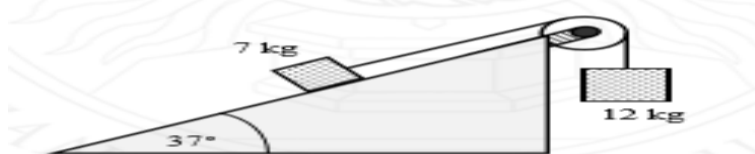
ຮູບທີ່ 2.20 ສະແດງກ່ອງ 2 ກ່ອງທີ່ຜູກດ້ວຍເຊືອກຕິດກັບເພດານຂອງລົບ

6. ວັດຖຸຜູກຕິດກັບວັດຖຸດັ່ງຮູບ 2.21 ຈົ່ງຊອກຫາຄວາມເລັ່ງຂອງວັດຖຸແຕ່ລະກ້ອນແລະແຮງຕຶງເຊືອກແຕ່ລະເສັ້ນ



ຮູບທີ່ 2.21 ສະແດງກ່ອງ 2 ກ່ອງທີ່ຜູກດ້ວຍເຊືອກຕິດກັນ

7. ຈົ່ງຊອກຫາອັດຕາສ່ວນຂອງແຮງໂນ້ມຖ່ວງທີ່ກະທົບຕໍ່ຍານອາກາດ ເມື່ອຍົນຢູ່ຜິວໂລກຕໍ່ແຮງໂນ້ມຖ່ວງທີ່ກະທົບຕໍ່ຍານອາກາດເມື່ອຢູ່ທີ່ລະດັບເໜືອໂລກເປັນໄລຍະທາງເທົ່າກັບຄັ້ງໜຶ່ງທັດມີຂອງໂລກ
8. ກ່ອງມີມວນສານ 25 kg ວ່າຢູ່ນຶ່ງຖ້າອອກແຮງດຶງດ້ວຍ -54 N ໃນທິດດຶງຂຶ້ນເປັນມຸມ 55° ກັບແກນ x ຈົນກ່ອງເລີ່ມເຄື່ອນທີ່ຖ້າປະສົມກັບແຮງຮຸກຖູລະຫວ່າງກ່ອງລະພື້ນມີຄ່າເທົ່າ 0.35 ກັບຈົ່ງຊອກຫາຂະໜາດແລະທິດທາງຄວາມເລັ່ງຂອງກ່ອງໃນແນວແກນ x
9. ຈົ່ງຊອກຫາຄວາມເລັ່ງຂອງວັດຖຸທັງສອງແລະແຮງຕຶງເຊືອກຖ້າປະສົມກັບແຮງຮຸກຖູພະລັງງານລະຫວ່າງມວນສານ 0.25 ພື້ນເທົ່າກັບດັ່ງຮູບ 2.22



ຮູບທີ່ 2.22 ສະແດງກ່ອງ 2 ກ່ອງທີ່ຜູກດ້ວຍເຊືອກຕິດກັນເທິງກ່ອງສາມຫຼ່ຽມ

10. (a) ຈົ່ງຊອກຫາຂະໜາດໂມເມນຕໍາຂອງລົດບັນທຸກ ທີ່ມີມວນສານ 10000kg ເຄື່ອນທີ່ດ້ວຍຄວາມໄວ 12m/s (b) ຈົ່ງຊອກຫາຄວາມໄວຂອງລົດອະແນກປະສົງ suv ມວນສານ 2000kg ຖ້າມີຂະໜາດໂມເມນຕໍາ ແລະ ພະລັງງານເດີນເຄື່ອນເທົ່າກັບລົດບັນທຸກ
11. ນັກເທນນິກເດາະລູກບອລມວນສານ 57g ຂຶ້ນສູງ 55m ຈົ່ງຊອກຫາການຕົວທີ່ບໍ່ກະທົບຕໍ່ລູກບອລ
12. ປ່ອຍໝາກບານທີ່ມີມວນສານ $0,15\text{g}$ ໃຫ້ຕົກຈາກຄວາມສູງ $1,25\text{m}$ ຈາກນັ້ນໝາກບານກະດອນຈາກພື້ນສູງ $0,96\text{ m}$ ຈົ່ງຊອກຫາການຕົວທີ່ພື້ນກະທົບຕໍ່ໝາກບານ
13. ລູກເຫຼັກມີມວນສານ 3 kg ຖືກໂຍນເຂົ້າກໍາແພງດ້ວຍຄວາມໄວ 10m /s ເປັນມຸມ 60° ກັບແນວກໍາແພງ ຖ້າລູກເຫຼັກກະດອນກັບດ້ວຍຄວາມໄວ ແລະ ມຸມເທົ່າເດີມ ຈົ່ງຊອກຫາແຮງສຽກທີ່ກໍາແພງກະທົບຕໍ່ລູກເຫຼັກ ຖ້າລູກເຫຼັກສຳຜັດກໍາແພງເປັນເວລາ 2s
14. ຕີລູກກັອບມວນສານ $0,045\text{ kg}$ ທີ່ຢູ່ນັ້ງເຄື່ອນທີ່ໄປດ້ວຍຄວາມໄວ 25m/s ຖ້າໄມ້ສຳຜັດກັບລູກກັອບເປັນເວລາ 2s ຈົ່ງຫາແຮງສຽກທີ່ໄມ້ກະທົບຕໍ່ລູກກັອບ
15. ແກ່ວງໄມ້ກັອບມວນສານ 200kg ດ້ວຍຄວາມໄວ 55m/s ຕີລູກກັອບມວນສານ 46kg ໄປຕິດຕົ້ນໄມ້ ຫຼັງຈາກຈາກຕີໄມ້ກັອບຍັງມີທິດທາງເດີມ ແລະ ມີຄວາມໄວ 40m /s ຈົ່ງຊອກຫາຄວາມໄສຂອງລູກກັອບຫຼັງຈາກການຕີ
16. ນັກລີ້ນສະເກັດຕໍາກັນແບບບໍ່ຫົດຢຶດ ເກີດຈາກຄົນທີ 1 ມີມວນສານ 70kg ກໍາລັງເຄື່ອນທີ່ໄປທາງຂວາດ້ວຍຄວາມໄວ 2m/s ແລະ ຄົນທີ 2 ມີມວນສານ 56kg ກໍາລັງເຄື່ອນທີ່ໄປທາງຊ້າຍດ້ວຍຄວາມໄວ $2,5\text{ m/s}$ ຈົ່ງຊອກຫາຂະໜາດແລະ ທິດທາງຂອງຄວາມໄວ ຫຼັງຈາກການຕໍາກັນແລ້ວຕິດກັນໄປ
17. ກ້ອນຫີນມີມວນສານ 3kg ເຄື່ອນທີ່ດ້ວຍຄວາມໄວ 8m/s ໄປທາງຂວາແລ້ວຕໍາກັບກ່ອງທີ່ມີມວນສານ 15kg ທີ່ມັດຕິດກັບສະບັງເບົາ ເຊິ່ງມີຄ່າຄົງທີ່ສະບັງເທົ່າກັບ 500N/m ຢູ່ນັ້ງກັບທີ່ ຫຼັງຈາກການຕໍາແລ້ວກ້ອນຫີນ ກະດອນກັບໄປທາງຊ້າຍດ້ວຍຄວາມໄວ 2m/s ຈົ່ງຊອກຫາໄລຍະທາງທີ່ຫຼາຍທີ່ສຸດທີ່ກ່ອງເຄື່ອນທີ່ໄປໄດ້ຫຼັງການຕໍາກັນ
18. ຍິງລູກປືນມວນສານ 5g ເຂົ້າໄປຜະໜັງກ່ອງໄມ້ມີມວນສານ $1,2\text{kg}$ ດຶງຢູ່ເທິງພື້ນຖ້າສໍາປະສິດຮຸກຖູລະຫວ່າງກ່ອງກັບພື້ນເທົ່າກັບ $0,2$ ຫຼັງຈາກຍິງແລ້ງກ່ອງໄມ້ເຄື່ອນທີ່ໄດ້ໄລຍະທາງ $0,23\text{ m/s}$ ຈົ່ງຊອກຫາຄວາມໄວເລີ່ມຕົ້ນຂອງລູກປືນ
19. ຍານພາຫະນະຄັນທໍາອິດມີມວນສານ 2500kg ເຄື່ອນທີ່ຈາກທິດຕາເວັນອອກໄປຫາທິດຕາເວັນຕົກ ($-x$) ດ້ວຍຄວາມໄວ 14 m/s ແລະ ຄັນທີ 2 ມີມວນສານ 1500kg ເຄື່ອນທີ່ຈາກທິດໃຕ້ໄປຫາທິດເໜືອ ($+y$) ດ້ວຍຄວາມໄວ 23m/s ຈົ່ງຊອກຫາ (a) ໂມເມນຕໍາສຸດທິຂອງລະບົບໃນອົງປະກອບ x ແລະ y (b) ຂະໜາດ ແລະ ທິດທາງຂອງໂມເມນຕໍາສຸດທິ

ບົດທີ 5

ກິນລະສາດທາດໄຫຼ

ເວລາ 6 ຊົ່ວໂມງ

ຈຸດປະສົງ: ໃຫ້ນັກຮຽນສາມາດ

- ນຳໃຊ້ບັນດາແບບຕັ້ງຕ່າງໆເຂົ້າໃນການແກ້ບົດເຝິກຫັດໄດ້
- ນຳໃຊ້ກິດຈະກຳຕ່າງໆທີ່ໄດ້ຮຽນມາເຂົ້າໃນຊີວິດປະຈຳວັນໄດ້
- ບອກໄດ້ພະລັງງານຂອງການເຄື່ອນທີ່
- ບອກໄດ້ຄວາມໝາຍການຂະຫຍາຍຂອງວັດຖຸຍ້ອນຄວາມຮ້ອນ
- ເຮັດການທົດລອງກ່ຽວກັບຄວາມຮ້ອນໄດ້

ກິດຈະກຳ ແລະ ວິທີສອນ

- ການສອນແບບບັນຍາຍ ແລະ ອະທິບາຍ
- ການອນແບບຖາມ - ຕອບ
- ການເຮັດວຽກກຸ່ມ ແລະ ລາຍງານ

ສື່ການສອນ

- ເອກະສານປະກອບການບັນຍາຍ
- ເອກະສານປະກອບການສອນ

ການວັດ ແລະ ປະເມີນຜົນ

- ການມີສ່ວນຮ່ວມຂອງນັກຮຽນໃນເວລາປະຕິບັດກິດຈະກຳ
- ສັງເກດການຕອບຄຳຖາມຂອງນັກຮຽນ
- ສັງເກດການລາຍງານກຸ່ມຂອງນັກຮຽນ

I. ຄວາມດັນໃນຂອງແຫຼວ

ສານສາມາດຈຳແນກໄດ້ 3 ຖານະ ໄດ້ແກ່ ຂອງແຂງ(Solid) ຂອງແຫຼວ(Liquid) ແລະ ກຳສ(Gas) ໂດຍຂອງແຂງຂະຈະມີຮູບຮ່າງສະຖານະປະລິມານຄົງທີ່ ເຊິ່ງອະນຸພາກພາຍໃນຈະຢູ່ໃກ້ກັນຫຼາຍ ເຊັ່ນ ທອງ ສ່ວນສະຖານະທີ່ເປັນຂອງແຫຼວ ຈະມີຮູບຮ່າງຕາມພາສະນະທີ່ບັນຈຸ ແລະ ມີປະລິມານຄົງທີ່ ເຊິ່ງອະນຸພາກພາຍໃນຈະໃກ້ຊິດກັນໜ້ອຍລົງ ແລະ ມີສົມບັດເປັນຂອງໄຫຼ (Fluid) ໄດ້ເຊັ່ນ ນ້ຳ ແລະ ສະຖານະທີ່ເປັນກຳສ ຂະມີຮູບຮ່າງແລະປະລິມານທີ່ບໍ່ຄົງທີ່ ຂຶ້ນຢູ່ກັບພາວະທີ່ບັນຈຸເຊິ່ງອະນຸພາກພາຍໃນຈະຢູ່ຫ່າງກັນຫຼາຍທີ່ສຸດ ແລະ ມີຄຸນສົມບັດເປັນຂອງໄຫຼໄດ້ເຊັ່ນ ອາກາດ ກ້າດຕ່າງໆ ໂດຍທີ່ຂອງໄຫຼ (ຂອງແຫຼວ ແລະ ກຳສ) ສາມາດໄຫຼຈາກບ່ອນໜຶ່ງໄປຫາອີກບ່ອນໜຶ່ງໄດ້ ເຊິ່ງສົມບັດຂອງໄຫຼໄດ້ແກ່ ຄວາມໜາແໜ້ນ ຄວາມດັນ ຄວາມຕຶງຜິວ ແລະ ຄວາມຫຍາບເປັນຕົ້ນຄວາມໜາແໜ້ນ(Density) ເປັນຄຸນສົມບັດສະເພາະຂອງວັດຖຸໜຶ່ງ ໂດຍຫາກເປັນວັດຖຸ ສານ ດຽວກັນຈະມີຄວາມໜາແໜ້ນ

ໜັ້ນເທົ່າກັນແລະ ວັດຖຸຕ່າງໆຊະນິດກັນຈະມີຄວາມໜາແໜ້ນຕ່າງກັນ ດັ່ງສະແດງໃນຕາຕະລາງ 5.1 ໂດຍຄວາມໜາແໜ້ນເປັນປະລິມານທີ່ບອກຄ່າມວນສານຂອງວັດຖຸໃນປະລິມານສາມາດນິຍາມສົມການໄດ້ເປັນສູດ

ເມື່ອ	ແມ່ນ	ຄວາມໜາແໜ້ນຂອງວັດຖຸ	ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ kg / m^3
m	ແມ່ນ	ມວນສານຂອງວັດຖຸ	ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ kg
V	ແມ່ນ	ບໍລິມາດຂອງວັດຖຸ	ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ m^3

ຕາຕະລາງທີ 5.1 ຄວາມໜາແໜ້ນຂອງສານຕ່າງໆທີ່ອຸນຫະພູມ 0 ອົງສາເຊ ແລະ ຄວາມດັນບັນຍາກາດ

ສານ	ຄວາມໜາແໜ້ນ kg / m^3	ສານ	ຄວາມໜາແໜ້ນ kg / m^3
ອາກາດ	1.29	ນ້ຳແຂງ	0.917×10^3
ອາລູມິນຽມ	2.70×10^3	ເຫຼັກ	7.86×10^3
ທອງແດງ	8.92×10^3	ນ້ຳແຂງ	0.917×10^3
ທອງ	19.3×10^3	ນ້ຳ	1.00×10^3
ເງິນ	10.5×10^3	ທະເລ	1.03×10^3

ຄວາມດັນ (Pressure) ຄືປະລິມານຂອງແຮງກະທຳໃນແນວຕັ້ງສາກຕໍ່ໜຶ່ງໜ່ວຍພື້ນທີ່ ດັ່ງສະແດງໃນຮູບທີ

$$P = \frac{F}{A}$$

ເມື່ອ	P	ແມ່ນ	ຄວາມດັນ	ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ	$N / m^2 Pa$
	F	ແມ່ນ	ແຮງກະທົບ	ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ	N
	A	ແມ່ນ	ເນື້ອທີ່	ມີຫົວໜ່ວຍເປັນ	m^2

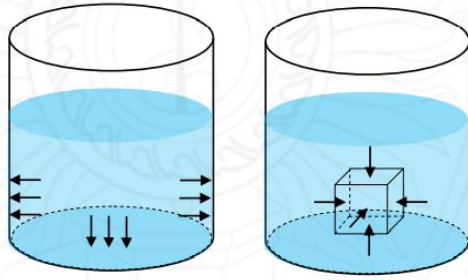
ໂດຍທີ່

$$1 \text{ Passcal (Pa)} = 1 \text{ N} / m^2$$

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 Pa$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ Torr} = 1 \text{ mmHg}$$



ຮູບທີ 5.1 ສະແດງຄວາມດັນ ແລະ ແຮງດັນທຸກທິດທາງໃນແນວຕັ້ງສາກກັບພື້ນທີ່ນັ້ນ

(a) ການກະທຳຕໍ່ພາຊະນະທີ່ບັນຈຸ

(b) ການກະທຳຕໍ່ວັດຖຸໃນຂອງແຫຼວ

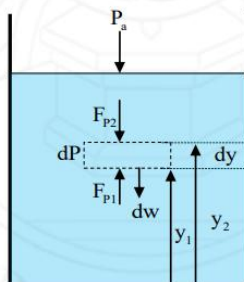
ເມື່ອພິຈາລະນາສ່ວນຕັດຂອງນ້ຳນຶ່ງດັ່ງຮູບ ເຊິ່ງຜົນລວມຂອງແຮງທີ່ເຮັດສ່ວນຕັດຂອງນ້ຳນຶ່ງມີຄ່າເປັນສູນ ເນື່ອງຈາກນ້ຳໃນພາວະສົມດຸນ ເກີດຈາກແຮງກະທົບຈາກນ້ຳໜັກຂອງແຫຼວ ຕໍ່ໜຶ່ງໜ່ວຍພື້ນທີ່ສັງເກດໄດ້ຈາກເມື່ອ ດຳນ້ຳເລິກລົງໄປຈາກຜິວນ້ຳຫຼາຍເທົ່າໃດ ຈະຮູ້ສຶກເຈັບແກ້ວຫຼາຍເທົ່ານັ້ນ ສະແດງວ່າແຮງກົດຂອງນ້ຳທີ່ກະທຳຕໍ່ ແກ້ວຫູ ຍິ່ງເລິກລົງໄປຫຼາຍເທົ່າໃດມີແຮງກົດຫຼາຍ ຈາກສົມຜົນ 5.2 ຈະໄດ້:

$$\sum \vec{F} = 0$$

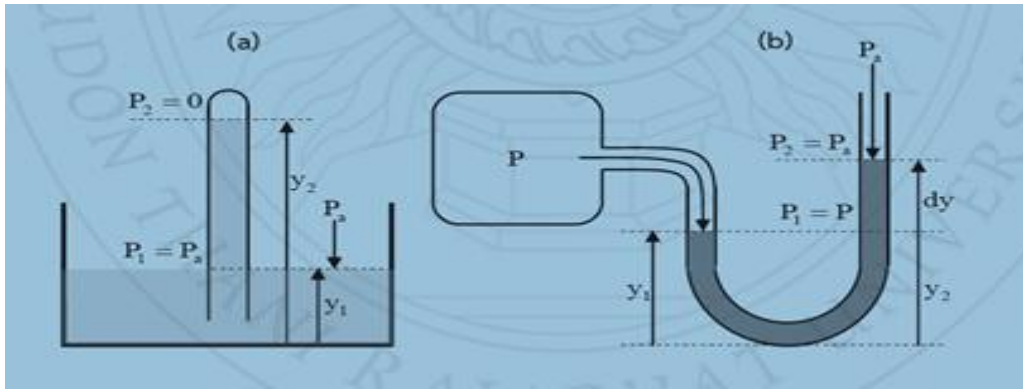
ເມື່ອເລື່ອນຕຳແໜ່ງ P_2 ມາຍັງບໍລິເວນຜິວນ້ຳ ຄວາມດັນທີ່ຈະໄດ້ມີຄ່າເທົ່າກັບຄວາມດັນທີ່ຜິວຄື ຄວາມດັນ ບັນຍາກາດ (P_a) ແລະ ຕຳແໜ່ງ P_1 ເປັນຄວາມດັນໃດໆໃນຂອງແຫຼວມີຄ່າເທົ່າກັບ P ນ້ຳສຳລັບຂອງແຫຼວ ຊະນິດດຽວກັນ ຈະມີຄວາມໜາແໜ້ນທີ່ເທົ່າກັບ (ຄືງທີ່) ແລະ ຄ່າ g ຄືງທີ່ ດັ່ງນັ້ນ ສະແດງດັ່ງຮູບທີ 5.2

ເມື່ອ P ຄືຄວາມດັນສົມບູນ

P_a ຄືຄວາມດັນບັນຍາກາດ

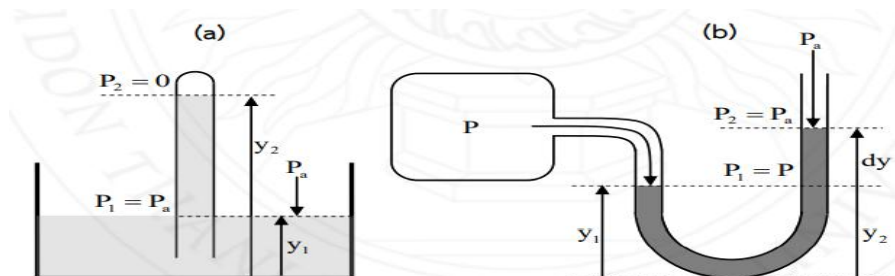


ຮູບທີ 5.2 ສະແດງຄວາມດັນເທົ່າກັນຂອງຂອງແຫຼວຊະນິດດຽວກັນລະດັບສູງເທົ່າກັນ



ບາຣ໌ມິເຕີ (Barometer) ເປັນເຄື່ອງມືວັດແທກຄວາມດັນບັນຍາກາດ ປະກອບດ້ວຍຫລອດແກ້ວ ຊຶ່ງກະບອກ ຍາວເລັກຍາວປາຍເປີດຂ້າງໜຶ່ງ ເມື່ອບັນຈຸທາດບາຫລອດໃຫ້ເຕັມແລ້ວຄວ້າຫຼອດລົງໃນອ່າງບາຫຼອດພົບວ່າບາຫຼອດຍັງຄົງຄ້າງຢູ່ໃນຫຼອດເຊິ່ງມີຄວາມສູງເໝືອນຜິວບາຫຼອດ 76 cm ເຊິ່ງເກີດຊ່ອງວ່າງພາຍໃນຫຼອດເຊິ່ງຖືວ່າມີຄວາມດັນຕໍ່າຫຼາຍເທົ່າກັບ 0 ດັ່ງຮູບ 5.3 ສາມາດຄຳນວນຫາຄວາມດັນບັນຍາກາດໄດ້ດັ່ງນີ້:

ມານ໌ມິເຕີ(Manometer) ເປັນເຄື່ອງມືວັດຄວາມດັນຂອງຂອງໄຫຼແບບງ່າຍທີ່ສຸດ ປະກອບດ້ວຍຫຼອດແກ້ວຮູບໂຕຢູ່ ພາຍໃນບັນຈຸຂອງແຫຼວ ປາຍຂ້າງໜຶ່ງຕໍ່ກັບຄວາມດັນທີ່ຕ້ອງການວັດແທກແລະ ປາຍອີກດ້ານໜຶ່ງເປີດສູ່ອາກາດ ດັ່ງຮູບທີ 5.3 (b) ສາມາດຄຳນວນຈາກຜົນຕ່າງລະດັບຂອງແຫຼວໃນບາຫຼອດທັງສອງຂ້າງໄດ້ດັ່ງນີ້:



ຮູບທີ 5.3 ສະແດງຂໍ້ມູນວັດຄວາມດັນ

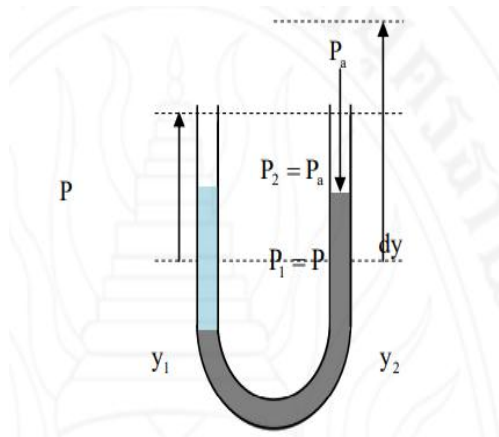
(a) ມານ໌ມິເຕີຮ

(b) ບາຣ໌ມິເຕີຮ

ຕົວຢ່າງທີ 5.1 ຫຼອດແກ້ວຮູບຕົວຢູ່ ບັນຈຸບາຫຼອດຢູ່ພາຍໃນ ເຕີມນໍ້າລົງໄປໃນຂາຂ້າງໜຶ່ງສູງ 15 cm ດັ່ງຮູບທີ ຈິ່ງຊອກຫາ

(a) ຄວາມດັນເກດທີ່ຮອຍນໍ້າ - ບາຫຼອດ

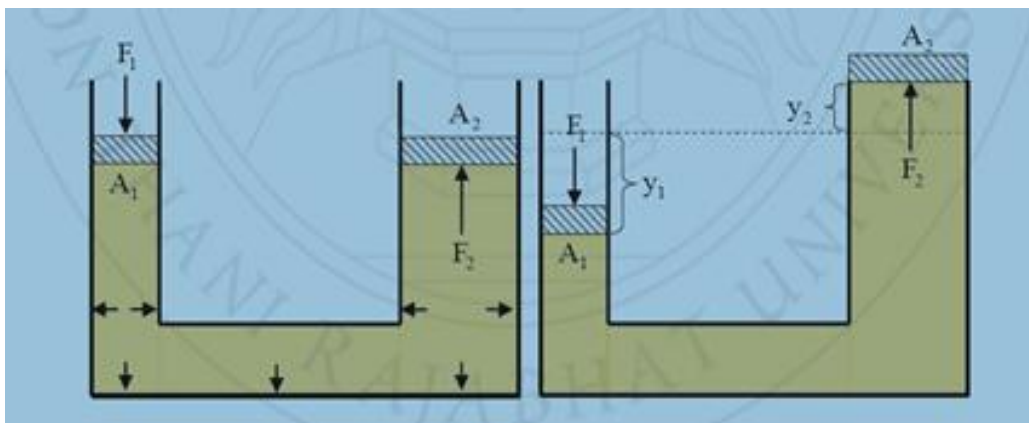
(b) ລະດັບບາຫຼອດໃນຂາອີກຂ້າງໜຶ່ງ (h) ຢູ່ຕໍ່າກວ່າລະດັບນ້ຳເທົ່າໃດ



ຮູບທີ 5.4 ສະແດງຫຼອກແກ້ວຮູບຕົວຢູ່ພາຍໃນບັນຈຸບາຫຼອດແລະນ້ຳ

2. ກົດຂອງປັດສະການ

ຈາກສົມຜົນຈະເຫັນໄດ້ວ່າຄວາມດັນຂຶ້ນກັບຄວາມດັນຂອງບັນຍາກາດ ແລະ ທີ່ຕັ້ງທີ່ເລິກຈາກໜ້າຂອງທາດແຫຼວຖ້າຫາກວ່າເພີ່ມຄວາມດັນຂອງບັນຍາກາດໂດຍໃຫ້ແຮງດັນໃສ່ທາດແຫຼວທີ່ຢຸດນຶ່ງໃນພາສະນະທີ່ບົດຄວາມດັນທີ່ເພີ່ມຈະສົ່ງໄປທຸກໆຈຸດໃນທາດແຫຼວເຊິ່ງເອີ້ນວ່າກົດຂອງປັດສະການດັ່ງໃນຮູບ



$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

F ແມ່ນຄວາມແຮງ ມີຫົວໜ່ວຍແມ່ນນິວເຕິນ

A ແມ່ນເນື້ອທີ່ມີຫົວໜ່ວຍແມ່ນຕາແມັດ

ເນື່ອງຈາກທາດແຫຼວບໍ່ສາມາດບີບອັດໄດ້ດັ່ງນັ້ນປະລິມານທາດໄຫຼດ້ານກະບອກສູບທີ່ນ້ອຍທີ່ຖືກອັດໄວ້ຈະມີຄ່າເທົ່າກັບປະລິມານຂອງທາດໄຫຼທາງດ້ານກະບອກສູບໃຫ່ຍທີ່ຖືກເພີ່ມຂຶ້ນດັ່ງສະແດງໃນຮູບຂ້າງເທິງ

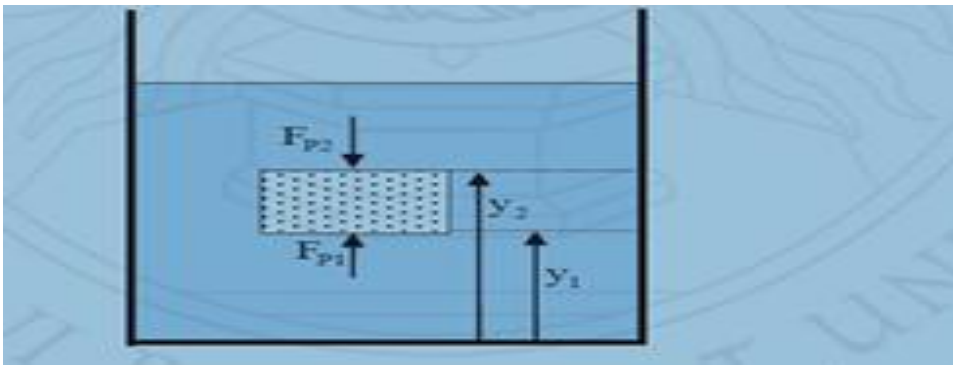
$$V_{A1} = V_{A2}$$

$$A_1 Y_1 = A_2 Y_2$$

$$\frac{Y_1}{Y_2} = \frac{F_1}{F_2}$$

3. ຜົນບັງຄັບໃຊ້ ແລະ ຫຼັກການອັກຊີແມັດ

ແມ່ນແຮງກຳລັງທີ່ເກີດຈາກທາດແຫຼວທີ່ເຮັດໃຫ້ວັດຖຸແຮງດັ່ງກ່າວມີຄ່າເທົ່າກັບນ້ຳໜັກຂອງຂອງແຫຼວທີ່ຖືກແທນບ່ອນໃນວັດຖຸນັ້ນເຊິ່ງເອີ້ນວ່າຫຼັກການອັກຊີແມັດ



$$\vec{F}_1 = P_1 A (P_a + \rho g y_1) A$$

$$\vec{F}_2 = P_2 A (P_a + \rho g y_2) A$$

$$\vec{F}_1 - \vec{F}_2 = (P_a + \rho g y_1) A - (P_a + \rho g y_2) A$$

$$\vec{F}_B = \rho g A (Y_1 - Y_2)$$

$$\vec{F}_B = \rho g V$$

4. ສົມຜົນແບັກໂນລີ

ເມື່ອພິຈາລະນາການໄຫຼຂອງທາດໄຫຼຜ່ານທໍ່ບໍ່ສະໝໍ່າສະເໝີທາດໄຫຼຈະໄຫຼເຂົ້າເນື້ອທີ່ໜ້າຕັດ A_1 ດ້ວຍຄວາມໄວ V_1 ແລະ ທາດໄຫຼໄຫຼອອກພື້ນທີ່ໜ້າຕັດ A_2 ດ້ວຍຄວາມໄວ V_2 ເມື່ອທາດໄຫຼເປັນທາດໄຫຼອຸດົມຄະຕິ 4 ຂໍ້ຄື ບໍ່ມີຄວາມຢຶດ, ບໍ່ສາມາດບີບອັດໄດ້, ຄວາມໜາແໜ້ນບໍ່ສະໝໍ່າສະເໝີໄຫຼຢ່າງສະໝໍ່າສະເໝີບໍ່ມີການໝຸນສະແດງວ່າມວນສານຂອງທາດໄຫຼທີ່ໄຫຼຜ່ານພື້ນທີ່ໜ້າຕັດ A_1 ໃນຊ່ວງເວລາ Δt ຈະມີຄ່າເທົ່າກັບມວນສານຂອງທາດໄຫຼຜ່ານເນື້ອທີ່ໜ້າຕັດ A_2 ໃນຊ່ວງເວລາອັນດຽວກັນສາມາດຂຽນເປັນສົມຜົນໄດ້ດັ່ງນີ້

$$m_{A1} = m_{A2}$$

$$\rho V_{A1} = \rho V_{A2}$$

$$\rho A_1 \Delta X_1 = \rho A_2 \Delta X_2$$

$$\rho A_1 V_1 \Delta t = \rho A_2 V_2 \Delta t$$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$\text{ດັ່ງນັ້ນ } R = AV = \frac{V}{t}$$



ບົດເຝິກຫັດ

1. ຖ້າຄວາມດັນຂອງບັນຍາກາດໃນຄະນະນີ້ມີຄ່າເທົ່າກັບ $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ ຈົ່ງຊອກຫາຄວາມດັນທີ່ຍັງເຮັດໃຫ້ອາກາດຢູ່ພາຍໃນຫ້ອງໄດ້ໂດຍໜ້າຕາງມີຂະໜາດ $40 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$
2. ກະບອກໂລຫະມີມວນສານ 80 kg ຍາວ 2 m ເນື້ອທີ່ພື້ນ 25 cm^2 ຈົ່ງຊອກຫາຄວາມດັນທີ່ກະບອກກະທົບໃສ່ພື້ນຖ້າຫ່ກວ່າວາງກະບອກໃນທິດຕັ້ງສາກ
3. ເຂື່ອນໄຟ້າແຫ່ງໜຶ່ງເລິກ 12 cm ຈົ່ງຊອກຫາຄວາມດັນຂອງນ້ຳທີ່ a ຈຸດຕ່ຳສຸດຂອງເຄື່ອນ b ໄລຍະ 3 m ຈາກໜ້ານ້ຳ
4. ເພີ່ນປ່ອຍລູກກົມເຫຼັກທີ່ມີລັດສະໝີ 1 mm ຕົກລົງໃນນ້ຳຈົ່ງຊອກຫາຄວາມໄວຂອງລູກກົມເຫຼັກກຳນົດຄວາມໜ້າແໜ້ນຂອງໜ່ວຍກົມເຫຼັກ $7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ຄວາມໜ້າແໜ້ນຂອງນ້ຳ 10^3 kg/m^3 ຄວາມຢືດຂອງນ້ຳ $10 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$

ບົດທີ 6 ຄື້ນ

ເວລາ 7 ຊົ່ວໂມງ

ຈຸດປະສົງ: ໃຫ້ນັກຮຽນສາມາດ

- ນຳໃຊ້ບັນດາແບບຕັ້ງຕ່າງໆເຂົ້າໃນການແກ້ບົດເຝິກຫັດໄດ້
- ນຳໃຊ້ກົດຈະກຳຕ່າງໆທີ່ໄດ້ຮຽນມາເຂົ້າໃນຊີວິດປະຈຳວັນໄດ້

ກົດຈະກຳ ແລະ ວິທີສອນ

- ການສອນແບບບັນຍາຍ ແລະ ອະທິບາຍ
- ການອນແບບຖາມ - ຕອບ
- ການເຮັດວຽກກຸ່ມ ແລະ ລາຍງານ

ສື່ການສອນ

- ເອກະສານປະກອບການບັນຍາຍ
- ເອກະສານປະກອບການສອນ

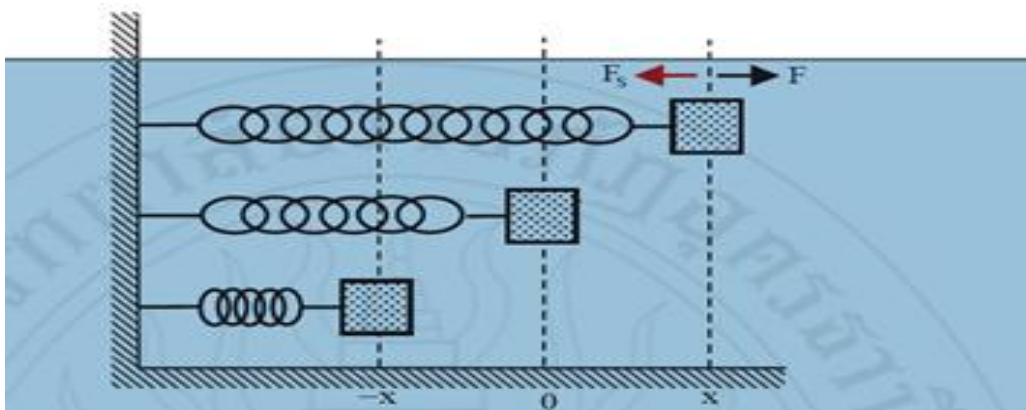
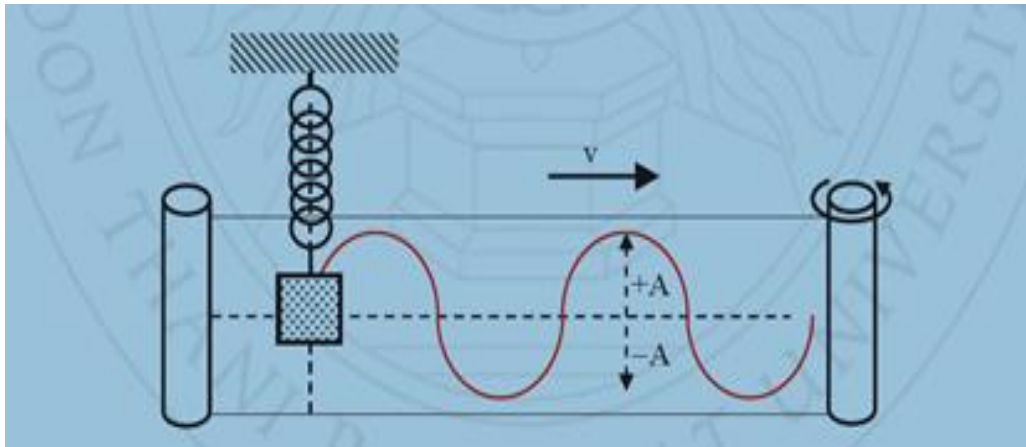
ການວັດ ແລະ ປະເມີນຜົນ

- ການມີສ່ວນຮ່ວມຂອງນັກຮຽນໃນເວລາປະຕິບັດກົດຈະກຳ
- ສັງເກດການຕອບຄຳຖາມຂອງນັກຮຽນ
- ສັງເກດການລາຍງານກຸ່ມຂອງນັກຮຽນ

1. ກົດເກນຂອງຮຸກ

ການສັ່ນໄກວເປັນການເຄື່ອນທີ່ກັບໄປກັບມາທີ່ຕັ້ງດຸນດ່ຽງຂອງມັນເຊັ່ນລູກໄກວຂອງໂມງໃຫ່ຍຈະແກ່ວງກັບໄປກັບມາອ້ອມທີ່ຕັ້ງດີ ງຽງຂອງມັນ. ການສັ່ນໄກວທີ່ບໍ່ຄິດໄລາການຮຸກຖູຫຼາຍມີຄວາມຮຸກຖູນ້ອຍຫຼາຍຈະດັ່ງນັ້ນຈຶ່ງເອີ້ນວ່າເປັນການສັ່ນໄກວກົມກຽວຫຼື ເອີ້ນວ່າ SHM (Simple Harmonic Motion). ແຕ່ການສັ່ນໄກວຫາກມີ ການຮຸກຖູຫຼືມີຕົວຖ່ວງການເຄື່ອນທີ່ຈົນເຮັດໃຫ້ການສັ່ນໄກວນັ້ນຢຸດຕິລົງໃນທິສຸດການສັ່ນໄກວນີ້ເອີ້ນວ່າການສັ່ນໄກວຄ່ອຍດັບມອດ(Damping Oscillation)

ໃນກລະນີ ການສັ່ນໄກວທີ່ມີ ຮູບການຮຸກຖູແຕ່ ຕັ້ ອງການໃຫ້ ມັນສັ່ນໄກວດ້ ວຍຮອບວຽນຄື ງທີ່ຈະຕັ້ ອງມີ ຄວາມແຮງ ກະຕຸ້ນໃສ່ ລູກໄກວຕະຫຼອດເວລາລັກສະນະດັ່ງກ່າວນີ້ ໄດ້ເອີ້ນວ່າການສັ່ນໄກວບັ ງຄັ ບ.(Force Oscillation). ພິ ຈາລະນາລະບົບກ້ອນມວນສານ m ຕິ ດໃສ່ ໃສ້ ເສອ ທີ່ມີ ຄວາມແຂງ k ດັ່ງເມື່ອເອົາ ກ້ອນມວນສານ m ອອກຈາກທີ່ຕັ້ງດຸນດ່ຽງໄປໄລຍະ x ດ້ວຍຄວາມແຮງ ແລ້ ວປ່ອຍໃຫ້ ສັ່ນໄກວເທົ່ ງໜ້ າພຽງນອນໂດຍບໍ່ ມີ ການຮຸກຖູ. F ສັງເກດເຫັນວ່າ



$$F = -KX$$

ຈາກການເຄື່ອນທີ່ທີ່ກົດຂໍ້ທີ່ສອງຂອງນິວເຕັນສາມາດຂຽນໃນຮູບແບບຂອງ

$$\vec{F} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0$$

ເມື່ອ $\omega^2 = \frac{k}{m}$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$

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

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

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

ສ່ວນໄລເວຂອງຄວາມຖີ່ f ຄືຈຳນວນຮອບທີ່ອະນຸພາກເຄື່ອນທີ່ໄດ້ໃນຫົວໜ່ວຍເວລາມີຫົວໜ່ວຍເປັນຮອບຕໍ່ວິນາທີ ແຮກສາມາດຂຽນສົມຜົນໄດ້ດັ່ງນີ້

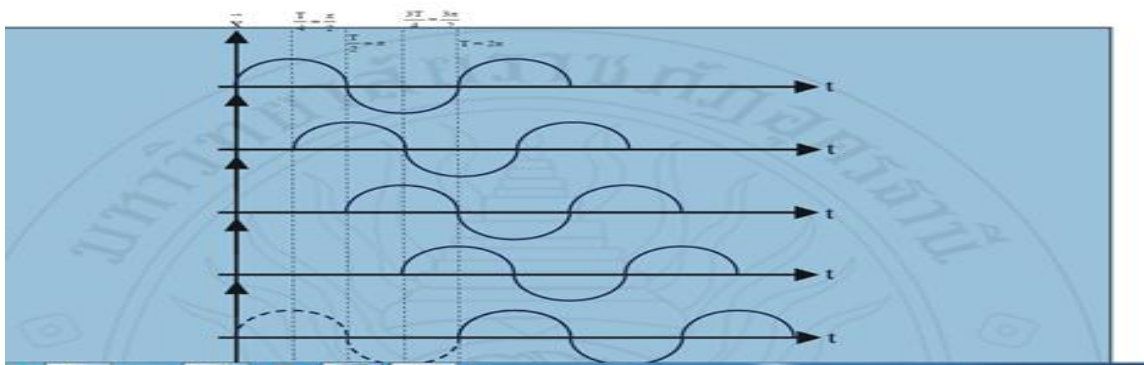
$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

ຈາກສົມຜົນຂ້າງເທິງສາມາດຂຽນການພົວພັນການເຄື່ອນທີ່ແບບຊຶມເປັນອາກໂມນິກ ແລະ ມີສໍາປະສິດແມ່ນ K

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

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

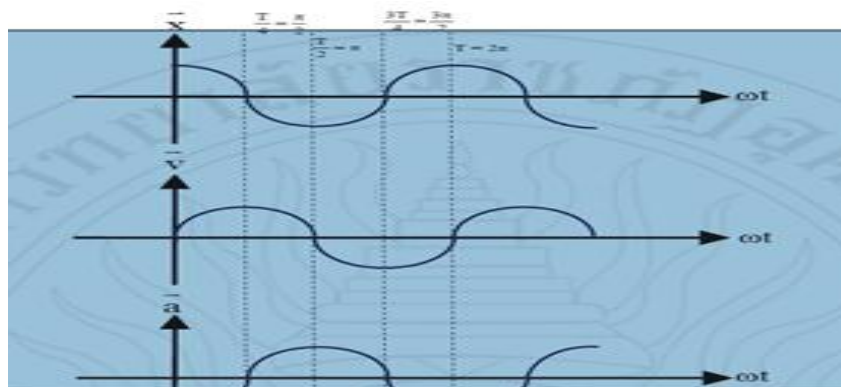


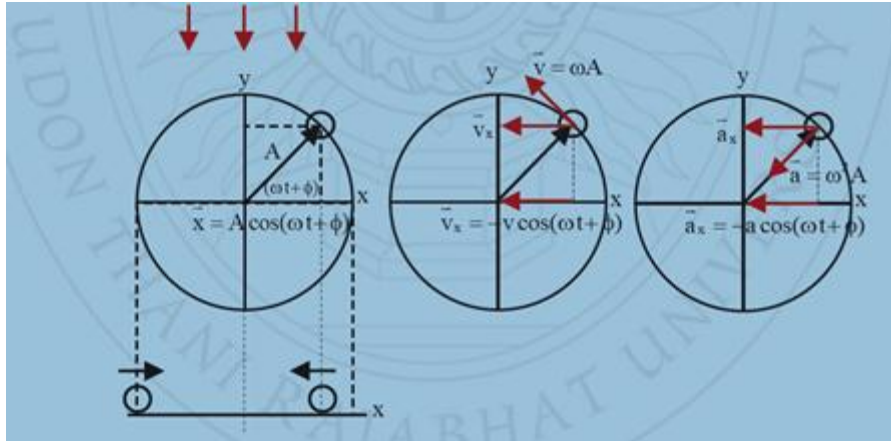
$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt}$$

$$\frac{d}{dt} A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$= -A\omega \sin(\omega t + \varphi)$$

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





ເຮົາພິຈາລະນາຄວາມໃຫຍ່ສຸດ ແລະ ຄວາມເລັ່ງໄດ້ດັ່ງນີ້

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

$$V_x = -V \sin(\omega t + \varphi) = -A \sin(\omega t + \varphi)$$

ຄວາມເລັ່ງ

$$a_x = -a \cos(\omega t + \varphi) = -A \omega^2 \cos(\omega t + \varphi)$$

ເຮົາສາມາດຊອກຫາຄ່າຟາສເລີ່ມຕົ້ນ φ, A ເຊິ່ງເປັນປະລິມານທີ່ບອກຕໍາແໜ່ງເລີ່ມຂອງວັດຖຸໄດ້ຈາກເງື່ອນໄຂເລີ່ມຕົ້ນທີ່ກໍ່ນິດມາໃຫ້ຄື

$$t = 0, x(t) = x_0$$

$$x_0 = A \cos(\omega(0) + \varphi)$$

$$x_0 = A \cos \varphi$$

ເຮົາສາມາດຊອກຫາມູມຟາສເລີ່ມຕົ້ນໄດ້

$$\frac{v_0}{x_0} = \frac{-A \omega \sin \varphi}{A \cos \varphi}$$

$$\frac{-v_0}{\omega x_0} = \tan \varphi \rightarrow \varphi = \tan^{-1} \left(-\frac{v_0}{\omega x_0} \right)$$

$$x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2} = A^2 \cos^2 \varphi + A^2 \sin^2 \varphi$$

$$A = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}}$$

2.ພະລັງງານຂອງການເຄື່ອນທີ່

ເມື່ອວັດຖຸມີມວນສານ m ຜູກຕິດກັບສະປຶງກັບຕໍາແໜ່ງສົມດູນໃຫ້ລະບົບການເຄື່ອນທີ່ຊຶມເປັນອາກໂມນິກມີ ພະລັງງານເດີນເຄື່ອນ ແລະ ພະລັງງານທໍາຕັ້ງ

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = -A\omega \sin(\omega t + \varphi)$$

$$E_K = \frac{1}{2}m(-A^2\omega^2 \sin^2(\omega t + \varphi)) = \frac{1}{2}mA^2\omega^2 \sin^2(\omega t + \varphi)$$

$$\frac{1}{2}kA^2 \sin^2(\omega t + \varphi)$$

$$E_{ps} = \frac{1}{2}kx^2$$

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

$$E_K = \frac{1}{2}k(A^2 \cos^2(\omega t + \varphi)) = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi)$$

$$E = E_K + E_{ps}$$

$$= \frac{1}{2}kA^2 \sin^2(\omega t + \varphi) + \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi)$$

$$= \frac{1}{2}kA^2 (\sin^2(\omega t + \varphi) + \cos^2(\omega t + \varphi))$$

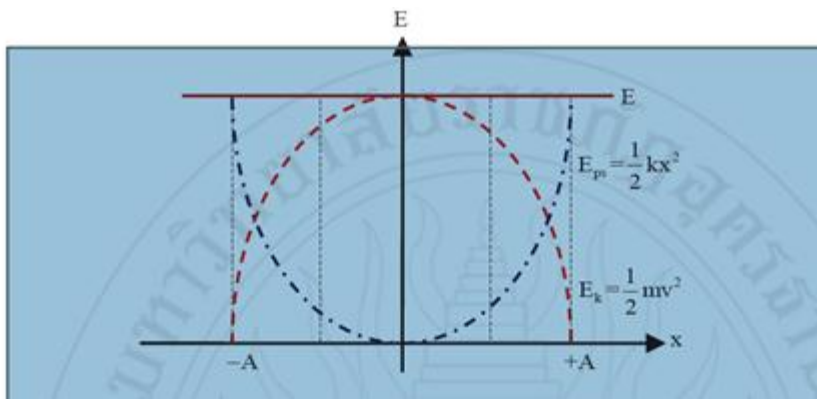
ແຕ່ວ່າ

$$\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$$

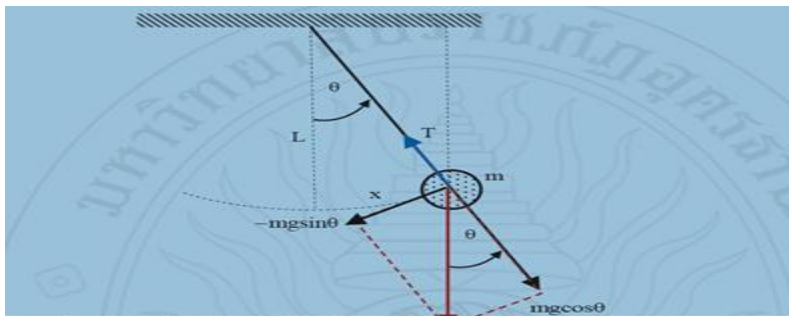
$$E_K = \frac{1}{2}kA^2$$

$$\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$$

$$v = \pm \sqrt{\frac{k}{m}(A^2 - x^2)} = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2}$$



1. ລູກໄກວ



ລູກໄກວເປັນອີກໜຶ່ງລະບົບທີ່ມີການເຄື່ອນທີ່ແບບສັ່ນຫຼື ແຕ່ລະໄລຍະທີ່ມີມວນສານແລ້ວປ່ອຍໃຫ້ມັນເຄື່ອນທີ່ໄກວໄປມາໂດຍມີແຮງໂມ້ນຖ່ວງໜັກຂອງວັດຖຸແມ່ນ

$$\vec{F} = mg \sin \theta$$

ອີງຕາມກົດເກນທີສອງຂອງນິວເຕັນເຮົາສາມາດຂຽນໄດ້

$$\vec{F} = m \frac{dx^2}{dt^2} = m \frac{dx^2}{dt^2} = -mg \sin \theta$$

ເຮົາສາມາດຂຽນສົມຜົນການພົວພັນການເຄື່ອນທີ່ແບບຊິມເປັນອາກໂມນິກໄດ້ທີ່ສໍາປະສິດ

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}$$

ບົດເຝິກຫັດ

1. ວັດຖຸຕິດກັບສະປິງມີຄ່າຄົງຕົວ 120 N/m ຖ້າລະບົບສັ່ນດ້ວຍຄວາມຖີ່ 6 Hz ຈົ່ງຊອກຫາໄລຍະ, ຄວາມຖີ່ເຊິ່ງມຸມ ແລະ ມວນສານຂອງວັດຖຸ
2. ສະປິງສອງຕົວມີຄ່າເທົ່າກັບ 20 N/m ວັດຖຸມີມວນສານ 0.3 kg ຈົ່ງຊອກຫາໄລຍະຂອງການເຄື່ອນທີ່
3. ວັດຖຸມີມວນສານ 20 kg ຜູກຕິດກັບສະປິງ 4 ຕົວໃນແນວດິ່ງເມື່ອຄ່າຄົງຕົວແຕ່ລະຕົວເປັນ 30 N/s ຈົ່ງຊອກຫາໄລຍະຂອງການເຄື່ອນທີ່
4. ຕໍ່ວັດຖຸໃສ່ກັບສະປິງປ່ອຍໃຫ້ເຄື່ອນທີ່ແບບອາກໂມນິກແບບງ່າຍຕາຍຄະນະທີ່ວັດຖຸຢູ່ທີ່ຕັ້ງ $x = 0.28 \text{ m}$ ພົບວ່າມີຄວາມເລັ່ງເປັນ -5.30 m/s^2 ຊອກຫາຄວາມຖີ່ຂອງການເຄື່ອນທີ່

ບົດທີ 7

ຄວາມຮ້ອນ ແລະ ອຸນຫະພູມ

ເວລາ 10 ຊົ່ວໂມງ

ຈຸດປະສົງ: ໃຫ້ນັກຮຽນສາມາດ

- ນຳໃຊ້ບັນດາແບບຕັ້ງຕ່າງໆເຂົ້າໃນການແກ້ບົດເຝິກຫັດໄດ້
- ນຳໃຊ້ກິດຈະກຳຕ່າງໆທີ່ໄດ້ຮຽນມາເຂົ້າໃນຊີວິດປະຈຳວັນໄດ້
- ເຮັດການທົດກ່ຽວຄວາມຮ້ອນ ແລະ ອຸນຫະພູມໄດ້

ກິດຈະກຳ ແລະ ວິທີສອນ

- ການສອນແບບບັນຍາຍ ແລະ ອະທິບາຍ
- ການອນແບບຖາມ - ຕອບ
- ການເຮັດວຽກກຸ່ມ ແລະ ລາຍງານ

ສື່ການສອນ

- ເອກະສານປະກອບການບັນຍາຍ
- ເອກະສານປະກອບການສອນ

ການວັດ ແລະ ປະເມີນຜົນ

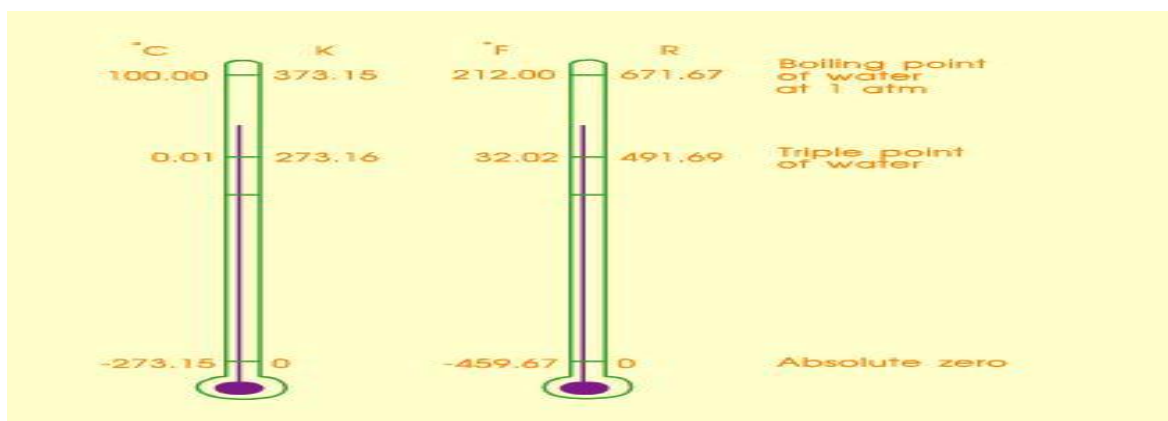
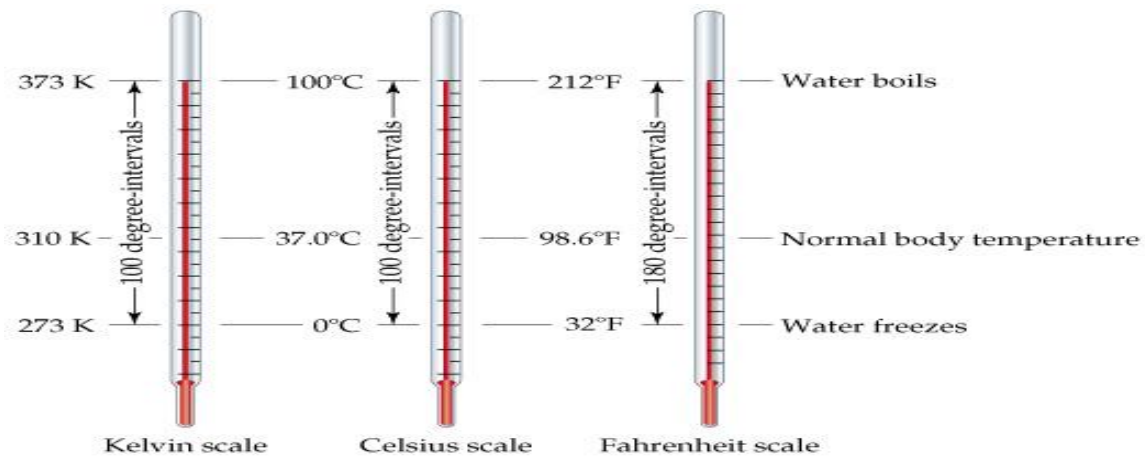
- ການມີສ່ວນຮ່ວມຂອງນັກຮຽນໃນເວລາປະຕິບັດກິດຈະກຳ
- ສັງເກດການຕອບຄຳຖາມຂອງນັກຮຽນ
- ສັງເກດການລາຍງານກຸ່ມຂອງນັກຮຽນ

1. ອຸນຫະພູມ

ເນື່ອງຈາກວ່າວັດຖຸປະກອບດ້ວຍບັນດາໂມເລກຸນເຄື່ອນທີ່ຢູ່ຕະຫຼອດເວລາດັ່ງນັ້ນບັນດາໂມເລກຸນທີ່ປະກອບເປັນວັດຖຸຈຶ່ງມີພະລັງງານເດີນເຄື່ອນ, ເມື່ອວັດຖຸໄດ້ຮັບຄວາມຮ້ອນບັນດາໂມເລກຸນເຄື່ອນທີ່ໄວຂຶ້ນແລ້ວມີຜົນເຮັດໃຫ້ພະລັງງານເດີນເຄື່ອນສະເລ່ຍຂອງບັນດາໂມເລກຸນເພີ່ມຂຶ້ນ. ເມື່ອວັດຖຸສູນເສຍຄວາມຮ້ອນ(ວັດຖຸເຢັນລົງ) ພະລັງງານເດີນເຄື່ອນສະເລ່ຍຫຼຸດລົງປະລິມານໃຊ້ບອກລະດັບຄວາມຮ້ອນຫຼືລະດັບພະລັງງານເດີນເຄື່ອນສະເລ່ຍຂອງບັນດາໂມເລກຸນທີ່ປະກອບເປັນວັດຖຸເອີ້ນວ່າອຸນຫະພູມ.

ໂມເລກຸນປະລິມະນູດຽວມີພະລັງງານແບບເຄື່ອນໄຫວຂອງການແປພາສາພະລັງງານ kinetic ທີ່ສອດຄ້ອງກັບການ ໝູນ ວຽນຂອງໂມເລກຸນຖືວ່າບໍ່ມີ. ຈິງຈະສະນັ້ນພວກເຮົາຮູ້ໂຄງສ້າງຂອງອະຕອມປະກອບດ້ວຍແກນທີ່ມີຄວາມເຂັ້ມຂຸ້ນທີ່ສຸດມວນມະຕຸພາບແລະຂອບຂອງແສງໄຟຟ້າຂອງອີເລັກຕອນ. ເມື່ອໂມເລກຸນຕິແຕະຕ້ອງເຊິ່ງກັນ

ແລະກັນ, ນອກ ເໜືອ ໄປຈາກການແລກປ່ຽນພະລັງງານທາງເພດຂອງກັນແລະກັນນອກຈາກນັ້ນ, ໂມເລກຸນນີ້ຍັງສິ່ງຕໍ່ໄປຂອບທາງຂອງເອເລັກໂຕຣນິກຂອງໂມເລກຸນອື່ນໆປັນ. ແຕ່ປະລິມານນີ້ບໍ່ໄດ້ ໝູນ ແກນເນື່ອງຈາກແກນແລະຂອບຂອງເອເລັກໂຕຣນິກບໍ່ມີຄວາມຜູກພັນທີ່ແຂງແກ່ນ. ຍິ່ງໄປກວ່ານັ້ນຍ້ອນວ່າປັດຈຸບັນຂອງ inertia J ຂອງປະລິມະນູຂະໜາດນ້ອຍຫຼາຍສາມາດໄດ້ຮັບການພິຈາລະນາສູນ, ພະລັງງານ kinetic ຂອງການຍົກຍ້າຍການໝູນ ວຽນຂອງໂມເລກຸນກໍ່ຍັງຖືວ່າເປັນສູນ.



ການພົວພັນລະຫວ່າງພະລັງງານເດີນເຄື່ອນສະເລ່ຍຂອງໂມເລກຸນວັດຖຸ ແລະ ອຸນຫະພູມເປັນໄປຕາມສູດດັ່ງນີ້

$$\overline{E}_c = \frac{3}{2}KT$$

$\overline{E}_c$ ພະລັງງານເດີນເຄື່ອນສະເລ່ຍຂອງໂມເລກຸນວັດຖຸ

K ສາປະສິດໂບນສະມານມີຄ່າເທົ່າກັບ $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

T ແມ່ນອຸນຫະພູມສໍາບູນ (ອຸນຫະພູມແກນວິນ)



ຊ່ວງອຸນຫະພູມຖືກກຳນົດໂດຍຈຸດເຍືອກແຂງ ແລະ ຈຸດຟົດຂອງນ້ຳບໍລິສຸດ

$$T(K) = T^{\circ}(C) + 273.15$$

$$T(R) = T^{\circ}(F) + 459.67$$

$$T(R) = 1.8T(K)$$

$$T^{\circ}(F) = 1.8T^{\circ}(C) + 32$$

ຕົວຢ່າງ: ທອງມີຈຸດຫຼອມແຫຼວທີ່ $1064^{\circ}C$ ແລະ ຈຸດຟົດທີ່ $660^{\circ}C$

ກ. ຈົ່ງຂຽນອຸນຫະພູມເຫຼົ່າໃນຫົວໜ່ວຍ F ແກນວິນ K

ບົດແກ

$$T = \frac{9}{5}(1064 + 32) = 1974F$$

$$T = 1064 + 273.15 = 1337K$$

$$T = \frac{9}{5}(2660 + 32) = 4820K$$

$$T = 2660 + 273.15 = 2933K$$

ຕົວຢ່າງ ຈົ່ງຂຽນອຸນຫະພູມເຫຼົ່າໃນຫົວໜ່ວຍ 20 C ເປັນແກນວິນ K

ບົດແກ້

$$T = 20C + 273 = 293 K$$

ຕົວຢ່າງ

ຜົນລະໄມ້ຊະໜິງຢຸດການຈະເລີນເຕີບໂຕທີ່ອຸນຫະພູມ $50^{\circ}F$ ຈະຕ້ອງປັບອຸນຫະພູມໃນຕູ້ເຢັນເທົ່າໃດອົງສາແຊນຊີອຸດເພື່ອໃຫ້ໄດ້ອຸນຫະພູມຕາມທີ່ກຳນົດໄວ້.

ບົດແກ້

$$\frac{T_C}{100} = \frac{T_F - 32}{180} = \frac{T_C}{100} = \frac{50 - 32}{180} = 10^{\circ}C$$

ຕົວຢ່າງ

ຈົງຊອກຫາຄ່າອຸນຫະພູມມີຄ່າເທົ່າໃດໃຫ້ອົງສາແຊນຊີອຸດມີຄ່າເທົ່າກັບອົງສາຟາເລັນຮາຍ

ບົດແກ້

ພົ້ນກຳນົດໃຫ້ x ເປັນອົງສາແຊນຊີອຸດມີຄ່າເທົ່າກັບອຸນຫະພູມຟາເລັນຮາຍ

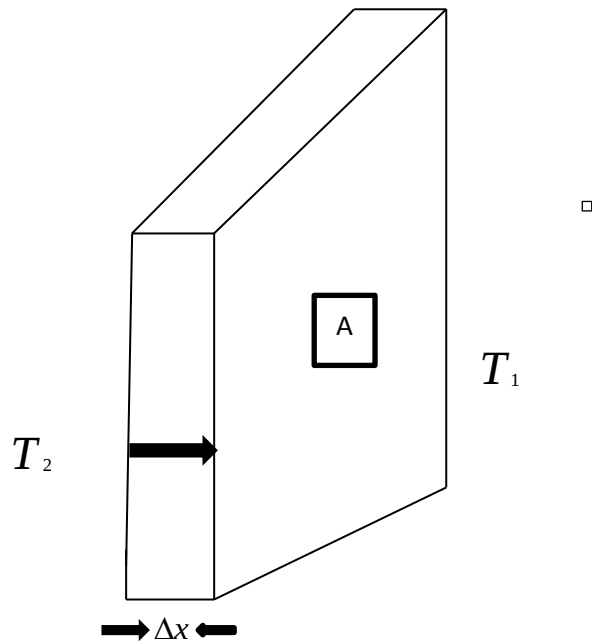
ຈາກການພົວພັນເຮົາມີ

$$\begin{aligned}\frac{T_c}{100} &= \frac{T_F - 32}{180} \\ \frac{X}{100} &= \frac{X - 32}{180} = 180X = 100X - 3200 \\ 180X - 100X &= -3200 \Rightarrow X = \frac{-3200}{80} = -40C, -40F\end{aligned}$$

2. ການເກີດຄວາມຮ້ອນ

ກ. ການນຳຄວາມຮ້ອນ.

ການສົ່ງຜ່ານຄວາມຮ້ອນຈະເກີດຂຶ້ນໄດ້ເມື່ອອຸນຫະພູມທີ່ຈຸດ 2 ຈຸດຂອງເນື້ອວັດຖຸທີ່ມີຄ່າຕ່າງກັນເອີ້ນການສົ່ງຜ່ານຄວາມຮ້ອນແບບນີ້ວ່າ: ການນຳຄວາມຮ້ອນ



ໂດນພະລັງງານຄວາມຮ້ອນຈະເຄື່ອນທີ່ຈາກຈຸດທີ່ມີອຸນຫະພູມສູງໄປຫາຈຸດທີ່ມີອຸນຫະພູມຕໍ່າຜ່ານອະນຸພາກທີ່ຢູ່ຕິດກັນຕໍ່ເນື່ອງກັນໄປ.

ພິຈາລະນາແຜ່ນວັດຖຸທີ່ມີຄວາມໜາ Δx ແລະ ມີເນື້ອທີ່ໜ້າຕັດ A ໂດຍທັງສອງດ້ານມີອຸນຫະພູມແຕກຕ່າງກັນ ດ້ານທີ່ພິຈາລະນາມີອຸນຫະພູມ T_1 ແລະ ດ້ານກົງກັນຂ້າມມີອຸນຫະພູມ T_2 ເມື່ອ $T_2 > T_1$ ດັ່ງຮູບ

ໂດຍຈາກການທົດລອງພົບວ່າປະລິມານຄວາມຮ້ອນ ΔQ ຈາກການທົດລອງໄດ້ພົບວ່າປະລິມານຄວາມຮ້ອນ ΔQ ຜ່ານຈາກດ້ານຮ້ອນໄປທາງຂ້າງເປັນກວ່າເວລາຜ່ານໄປ Δt ແລະ $(\Delta Q / \Delta t)$ ແຕກຕ່າງກັນກັບພື້ນທີ່ຂ້າມສ່ວນຕ່າງຄວາມແຕກຕ່າງຂອງອຸນຫະພູມ ΔT ແລະ ມີອັດຕາສ່ວນກັນກັບຄວາມໜາ Δx ຖືກຂຽນເປັນສົມຜົນວ່າ:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1) \& (2)$$

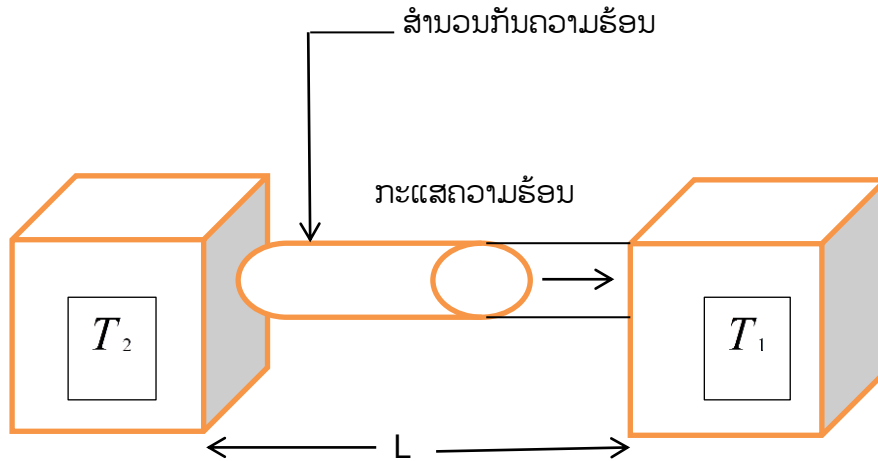
$$\frac{dQ}{dt} = -KA \frac{dT}{dx}$$

ມຜົນ (2) ເອີ້ນວ່າກົດ ໝາຍ ຂອງ Fourier, ຄ່າຄົງທີ່ k ເອີ້ນວ່າສະພາບການ ນຳຄວາມຮ້ອນຂອງວັດຖຸຂຶ້ນກັບປະເພດວັດຖຸ ໃນວັດຕໍ່ວັດ - Kelvin ($W / m \cdot K$) dT / dx ແມ່ນອຸນຫະພູມອຸນຫະພູມເບິ່ງວ່າການປະຕິບັດຄວາມຮ້ອນແມ່ນຢູ່ໃນທາງທີ່ເມື່ອໄລຍະທາງເພີ່ມຂຶ້ນ, ອຸນຫະພູມຫຼຸດລົງ, ເອີ້ນວ່າ dQ / dt ຄວາມຮ້ອນກະແສໄຟຟ້າ, H ແມ່ນອັດຕາການໄຫລຂອງຄວາມຮ້ອນຜ່ານບໍລິເວນຂ້າມພາກ A ຫຼື

ພະລັງງານຄວາມຮ້ອນທີ່ໄຫລຜ່ານພື້ນທີ່ຂ້າມທາງໃນ ໜຶ່ງ ໜ່ວຍ ຂອງເວລາ ໃນວັດ (W), ດັ່ງນັ້ນ

$$H = \frac{dQ}{dt} = -KA \frac{dT}{dx}$$

3



ຄວາມຮ້ອນໄຫຼຈາກອຸນຫະພູມສູງ (T_2) ເຖິງອຸນຫະພູມຕໍ່າ (T_1)

ຖ້າພິຈາລະນາຮູບຊົງກະບອກຍາວທີ່ເປັນຮູບຊົງ L , ພື້ນທີ່ຕັດຂ້າມແມ່ນເປັນເອກະພາບ A , ເຊິ່ງດ້ານຂ້າງຖືກປົກຄຸມດ້ວຍຄວາມສນວນປ້ອງກັນການຮົ່ວໄຫຼຂອງຄວາມຮ້ອນດັ່ງທີ່ສະແດງຢູ່ໃນສະພາບຄົງທີ່. ພົບວ່າ dT / dx ຄົງທີ່ຕະຫຼອດວັດຖຸ.

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad \text{ໂດຍ } (T_2 > T_1)$$

$$\text{ແທນໃສ່ 3 ເຮົາໄດ້ } H = \frac{dQ}{dt} = \frac{KA(T_2 - T_1)}{L}$$

4

ຈາກສົມຜົນ (4), ພົບວ່າການໄຫຼລວມຂອງຄວາມຮ້ອນ (H) ແຕກຕ່າງກັນກັບອຸນຫະພູມ (T_2 - ຄວາມແຕກຕ່າງ).

T_1) ລະຫວ່າງທັງສອງສິ້ນແລະພື້ນທີ່ຂ້າມຂອງວັດຖຸ ແຕ່ເປັນສັດສ່ວນກັນກັບຄວາມຍາວຂອງວັດຖຸຖ້າວັດຖຸຍາວຫຼາຍ ການປະຕິບັດຄວາມຮ້ອນໜ້ອຍສໍາ ລັບສີ່ຄວາມຮ້ອນທີ່ບັນຈຸວັດສະດຸຮ້ອນຫລາຍປະເພດ, ຄວາມ ໜາ $L_1, L_2 \dots$

ແລະມີການປະຕິບັດຄວາມຮ້ອນເປັນ $k_1, k_2, \dots$ ອັດຕາການຖ່າຍທອດຄວາມຮ້ອນສາມາດຂຽນເປັນ

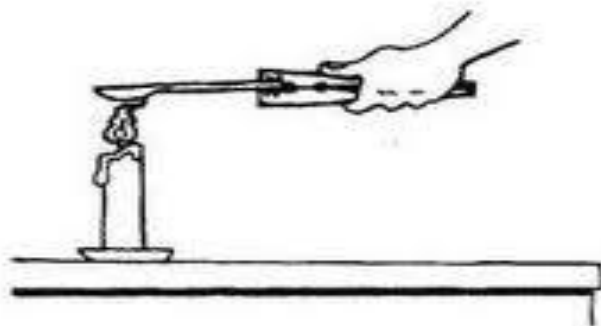
$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{A(T_2 - T_1)}{\sum_i \left(\frac{L_i}{K_i} \right)}$$

T1 ແລະ T2 ແມ່ນອຸນຫະພູມທີ່ຢູ່ນອກຂອງຕົວ ນໍ້າ.



ການນໍາຄວາມຮ້ອນເປັນການຖ່າຍໂອນຄວາມຮ້ອນໂດຍຄວາມຮ້ອນເຄື່ອນທີ່ຜ່ານເໝືອນວັດຖຸຈາກຈຸດທີ່ມີອຸນຫະພູມສູງໄປຜ່ານທີ່ວັດຖຸທີ່ມີອຸນຫະພູມຕໍ່າ.

ວັດຖຸທີ່ນໍາຄວາມຮ້ອນໄດ້ຢ່າງໄວເອີ້ນວ່າຕົວນໍາຄວາມຮ້ອນໄດ້ແກ່ ເງິນ, ທອງ, ທອງແດງສ່ວນວັດຖຸທີ່ນໍາຄວາມຮ້ອນບໍ່ໄດ້ດີເອີ້ນວ່າສໍານວນຄວາມຮ້ອນໄດ້ແກ່ໄມ້, ປາລາສະຕິກ ແລະຂອງແຫຼວ



ການໃຊ້ປະໂຫຍດຈາກຕົວນໍາຄວາມຮ້ອນ ແລະ ສໍານວນຄວາມຮ້ອນ



ໝໍ້ກະທະ ຫຼືໝໍ້ຫຸງຕົ້ມທີ່ຕ້ອງການໃຫ້ຄວາມຮ້ອນສິ່ງຜ່ານໄປຫາອາຫານ

ເຕົາລົດ



ຕາຕະລາງ 4 ສະແດງໃຫ້ເຫັນເຖິງຄວາມຮ້ອນຂອງສານ

ທາດ	k (W / m.K)
ໂລຫະ	
ອາລູມິນຽມ	205.5
ທອງເຫລືອງ	109.0
ທອງແດງ	385.0
ນໍ້າ	34.7
Mercury	8.3
ເງິນ	406.0
ສານອື່ນໆ	0.6
ດິນຈີ່ສີແດງ	0,8
ຄອນກິດ	0,8
ແກ້ວ	1.6
ກ້ອນ	0.01
ໂຟມ	0.12-0.04
ໄມ້	2055
ອາກາດ	1090
	3850

ສານທີ່ມີຄ່າຫຼາຍ k ແມ່ນເຄື່ອງເຮັດຄວາມຮ້ອນທີ່ດີ. ແຕ່ສານທີ່ມີຄ່າຕໍ່າ ສຸດ k ຈະເປັນຕົວ ນໍ້າ ຄວາມຮ້ອນບໍ່ດີຫລື ສໍານວນກັນຄວາມຮ້ອນ ຈາກຕາຕະລາງຂ້າງເທິງ, ມັນພົບວ່າໂລຫະແມ່ນຕົວ ນໍ້າ ຄວາມຮ້ອນທີ່ດີກວ່າສານອື່ນໆ.

ຕົວຢ່າງ ກະຕິກນໍ້າແຂງເຮັດດ້ວຍໂຟມ ໜາ 2.0 ຊມ, ເຕັມໄປດ້ວຍນໍ້າກ້ອນ.ຖ້າຂວດນີ້ມີເນື້ອທີ່ທັງ ໜຶ່ງ 0,80 ມ². ຖ້າເອົາບາຫຼອດຕັ້ງຢູ່ກາງແຈ້ງເຊິ່ງມີອຸນຫະພູມ 300C ໃນ 1 ວັນ, ຊອກຫາອັດຕາການໄຫລຂອງຄວາມຮ້ອນ

ເຂົ້າໃນ thermos ແລະມວນສານຂອງນ້ຳ ກ້ອນທີ່ລະລາຍແມ່ນຖືກ ກຳ ນົດໂດຍສະພາບຄວາມຮ້ອນຂອງໂຟມ
ແມ່ນ 0.010 W / m.K . ຄວາມຮ້ອນທີ່ ໜຽວ ຂອງການລະລາຍແມ່ນ $3.33 \times 10^5 \text{ J / kg}$

ບົດແກ້

ຊອກຫາອັດຕາການໄຫລຂອງຄວາມຮ້ອນເຂົ້າໄປໃນກະຕິກນ້ຳກ້ອນຈາກ

$$H = \frac{KA(T_2 - T_1)}{L} = 0,010 \cdot 0,80 \frac{30 - 0}{0,020} = 12 \text{ W}$$

ອັດຕາການໄຫລຂອງຄວາມຮ້ອນເຂົ້າໄປໃນ ກະຕິກແມ່ນ 12 W , ໝາຍ ຄວາມວ່າໃນ 1 s ມີຄວາມຮ້ອນໄຫລເຂົ້າ
ກະຕິກ 12 J , ສະນັ້ນໃນ $1 \text{ ມື້} = 86,400 \text{ s}$, ມີຄວາມຮ້ອນທີ່ໄຫລເຂົ້າໄປໃນກະຕິກ

$$Q = 12 \text{ W} \times 86,400 = 1,04 \times 10^6 \text{ J}$$

$$Q = mL$$

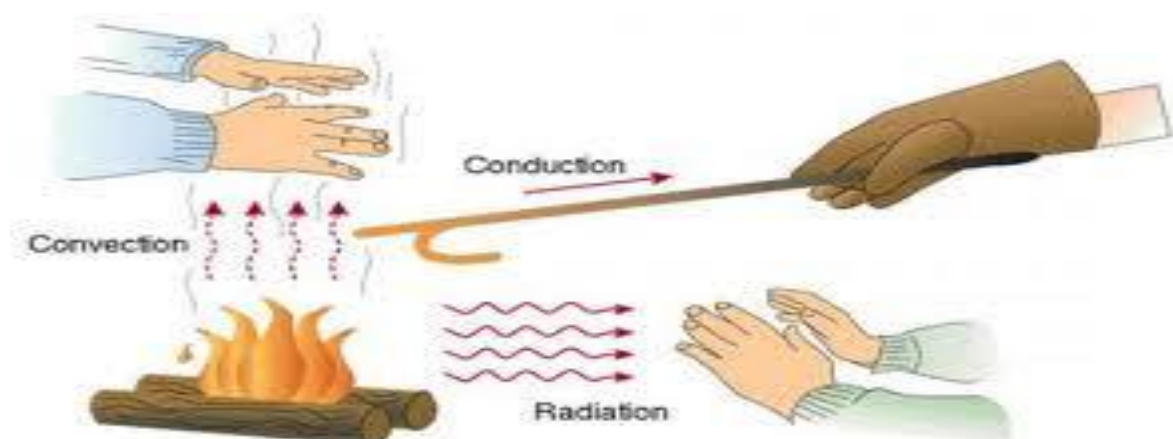
$$1.04 \times 10^6 \text{ J} = m(3.33 \times 10^5 \text{ J/kg})$$

$$m = 3.1 \text{ kg}$$

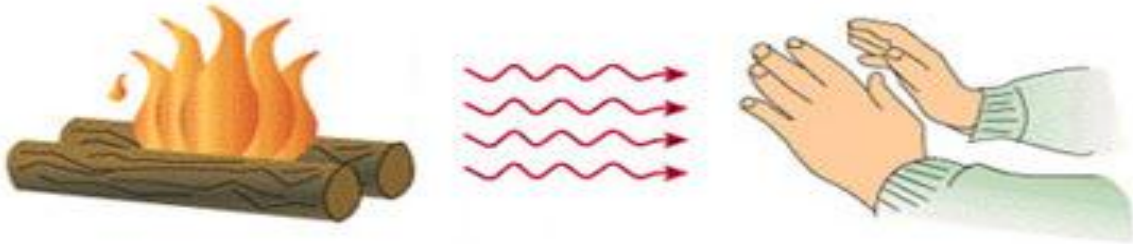
ຂ. ການພາຄວາມຮ້ອນ

ການພາຄວາມຮ້ອນເປັນການສົ່ງຜ່ານຄວາມຮ້ອນແມ່ນການໂອນຄວາມຮ້ອນ ໂດຍໂມເລກຸນຂອງເຄື່ອງເຮັດຄວາມ
ຮ້ອນ

ເປັນການເຄື່ອນຍ້າຍ ຖ້າພິຈາລະນາສະພາບຂອງ 3 ສານ, ໂມເລກຸນຂອງທາດແຂງການເຄື່ອນຍ້າຍມີຄວາມ
ຫຍຸ້ງຍາກຫຼາຍກ່ວາໂມເລກຸນແຫຼວແລະອາຍແກັສ ເພາະສະນັ້ນ, ແຂງບໍ່ຕ້ອງຜ່ານຄວາມຮ້ອນ.ເກີດຂຶ້ນໃນໂມເລກຸນ
ຂອງທາດແຫຼວຫລືອາຍແກັດເມື່ອຖືກເຮັດໃຫ້ຮ້ອນ, ເຮັດໃຫ້ຄວາມ ໜາ ແໜ້ນ ຂອງໂມເລກຸນພື້ນທີ່ນັ້ນ ໜ້ອຍ
ກ່ວາ ໂມເລກຸນຍ້າຍໃນຄວາມໄວສູງຂຶ້ນແລະເອົາຄວາມຮ້ອນໄປພ້ອມກັບສ່ວນ.ໂມເລກຸນທີ່ຍັງບໍ່ໄດ້ຮັບຄວາມຮ້ອນ
ຈະຍ້າຍອອກສູ່ສະຖານທີ່. ເຮັດໃຫ້ການໄຫຼວຽນຂອງຄວາມຮ້ອນຂຶ້ນ.



Radiation



ຄວາມສອດຄ່ອງ ການເຄື່ອນໄຫວຂອງໂມເລກູນສີ່ແມ່ນ 2 ປະເພດ.

3.ການພາຄວາມຮ້ອນບໍ່ເສລີ

ຄືແຮງດຶງດູດແມ່ນການປະສານຄວາມຮ້ອນກັບໂມເລກູນຂອງຕົວກາງແມ່ນຖືກຍ້າຍໂດຍ ກຳ ລັງພາຍນອກ.ອັດຕາການຖ່າຍທອດຄວາມຮ້ອນໂດຍການພາຄວາມຮ້ອນ ສາມາດຄິດໄລ່ຈາກ.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = hA(T_2 - T_1) = K(T_2 - T_1)$$

6

$\frac{\Delta Q}{dt}$ ແທນອັດຕາສິ່ງຜ່າຄວາມຮ້ອນໂດຍການພາຄວາມຮ້ອນມີຫົວໜ່ວຍເປັນວັດ

h ແທນສຳປະສິດການພາຄວາມຮ້ອນຕົວກາງ ຂຶ້ນກັບຄຸນສົມບັດຂອງທາດແຫຼວຄວາມໄວ, ຮູບຮ່າງແລະການ ກຳ ນົດທິດທາງຮ່າງກາຍ ($W / m^2.K$)

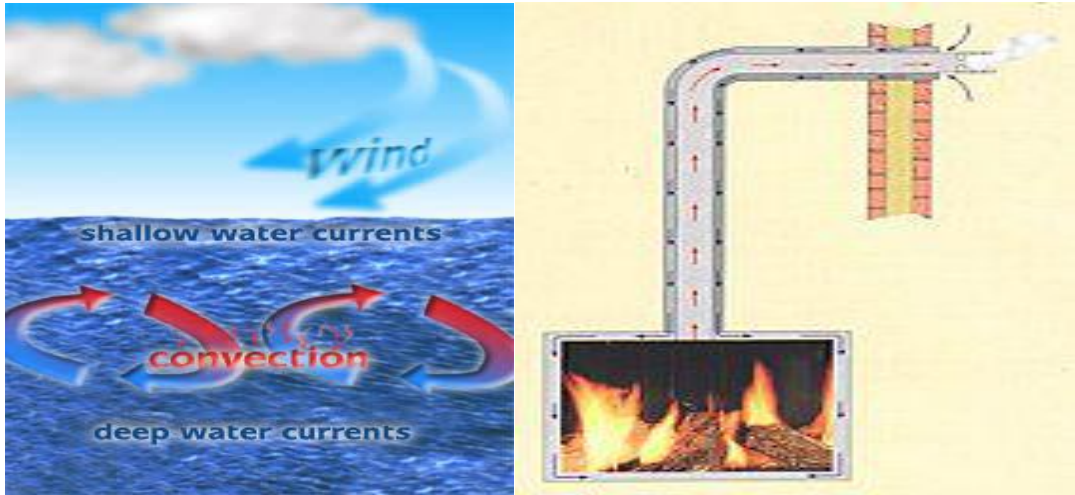
A ໝາຍ ເຖິງພື້ນທີ່ ໜ້າ ດິນທີ່ຖືກພິຈາລະນາ (m^2)

$T_2 - T_1$ ເປັນຕົວແທນຄວາມແຕກຕ່າງຂອງອຸນຫະພູມຂອງ 2 ຈຸດພິຈາລະນາ (K)

ສົມຜົນ (6) ບາງຄັ້ງກໍ່ເອີ້ນວ່າສົມຜົນ ກົດ ໝາຍ ວ່າດ້ວຍຄວາມເຢັນຂອງນິວຕັນ

K ຄົງທີ່ເອີ້ນວ່າຕົວຄຸນຄວາມເຢັນ.

ປະກົດການຂອງການ convection ແມ່ນ ກະແສໄຫຼວຽນຢູ່ໃນມະຫາສະ ໝຸດການໂອນຄວາມຮ້ອນໃນທະເລໃນເຄື່ອງຈັກ ຄວາມເຢັນຂອງເຄື່ອງຈັກໃນໂຮງງານ, ແລະອື່ນໆ



ຄ.ການແຜ່ລັງສີຄວາມຮ້ອນ.

ການແຜ່ລັງສີຄວາມຮ້ອນ ແມ່ນການສົ່ງຄວາມຮ້ອນຈາກພື້ນຜິວຂອງວັດຖຸໂດຍພະລັງງານຄວາມຮ້ອນແມ່ນຖືກສົ່ງອອກໄປໃນຮູບແບບຂອງຄື້ນໄຟຟ້າ ເຊິ່ງຍ້າຍດ້ວຍຄວາມໄວເທົ່າກັບຄວາມໄວຂອງແສງແລະຄວາມຮ້ອນລັງສີບໍ່ ຈຳເປັນຕ້ອງຍ້າຍສີ່ກາງ.

ວັດຖຸທັງ ໝົດ ທີ່ຢູ່ ເໜືອ ຈຸດສູນ (Kelvin, K) ແມ່ນສາມາດແຜ່ລັງສີແລະຮັບໄດ້ລັງສີສາມາດໄດ້ຮັບຖ້າອັດຕາລັງສີຄວາມຮ້ອນສູງກວ່າລັງສີຄວາມຮ້ອນ. ອຸນຫະພູມວັດຖຸຈະເພີ່ມຂຶ້ນແລະຖ້າອັດຕາການຮັງສີຄວາມຮ້ອນເທົ່າກັບລັງສີຄວາມຮ້ອນ ອຸນຫະພູມວັດຖຸຈະຍັງບໍ່ປ່ຽນແປງ ໂດຍລັງສີ ກຳ ລັງແຜ່ອອກໄປໃນຮູບແບບຂອງຄື້ນໄຟຟ້າ.

ອັດຕາການແຜ່ລັງສີຂອງວັດຖຸໃດ ໜຶ່ງ ແຕກຕ່າງກັບບໍລິເວນພື້ນຜິວຂອງວັດຖຸແລະພະລັງອຸນຫະພູມທີ່ສູ່ຈຸດປະສົງຢ່າງແທ້ຈິງຂອງວັດຖຸນັ້ນເອີ້ນວ່າກົດ ໝາຍ ຂອງ Stefanໄດ້ດັ່ງນີ້.

$$R = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \sigma A e T^4 \quad 7$$

ແມ່ນອັດຕາການແຜ່ລັງສີຂອງວັດຖຸຫຼືພະລັງງານຂອງຄື້ນໄຟຟ້າ $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ ກະຈາຍອອກໄປຈາກພື້ນຜິວຂອງວັດຖຸໃນເວລາ ໜຶ່ງ ໜ່ວຍ ໃນວັດ

e ແມ່ນການລະບາຍຂອງພື້ນຜິວຂອງວັດຖຸເຊິ່ງຂຶ້ນກັບປະເພດຂອງພື້ນຜິວຂອງວັດຖຸທີ່ມີຄ່າລະຫວ່າງ 0 ແລະ 1

σ ແມ່ນ Stefan - Boltzmann Constant, ເຊິ່ງແມ່ນ $5,67 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2\text{K}^4$

A ແມ່ນພື້ນທີ່ ໜ້າ ດິນທັງ ໝົດ ຂອງວັດຖຸທີ່ສົ່ງຄື້ນຟອງໄຟຟ້າ. ໃນຕາແມັດ

T ແມ່ນອຸນຫະພູມຂອງວັດຖຸ ກັບ ໜ່ວຍ ງານໃນ Kelvin (K)

ສຳ ລັບວັດຖຸໃດ ໜຶ່ງ, ພົບວ່າວັດຖຸສີ ດຳ ດູດຊຶມແລະລະບາຍຄວາມຮ້ອນໄດ້ດີກວ່າວັດຖຸສີ.ສີຂາວແລະສີອື່ນໆ, ດັ່ງນັ້ນວັດຖຸທີ່ສາມາດດູດຊຶມພະລັງງານທັງ ໝົດ ທີ່ໂຈມຕີພື້ນຜິວຂອງວັດຖຸຖືກເອີ້ນວ່າວັດຖຸ "ຮ່າງກາຍ ດຳ" ເຊິ່ງສະພາບການລັງສີຂອງວັດຖຸສີ ດຳ (ຈ) ເທົ່າກັບ 1 ຖ້າວັດຖຸມີອຸນຫະພູມຂອງ T₁ ໃນຂະນະທີ່ສະພາບແວດລ້ອມມີອຸນຫະພູມ T₂, ອັດຕາການຮັງສີຄວາມຮ້ອນສຸດທິສາມາດຂຽນເປັນ.

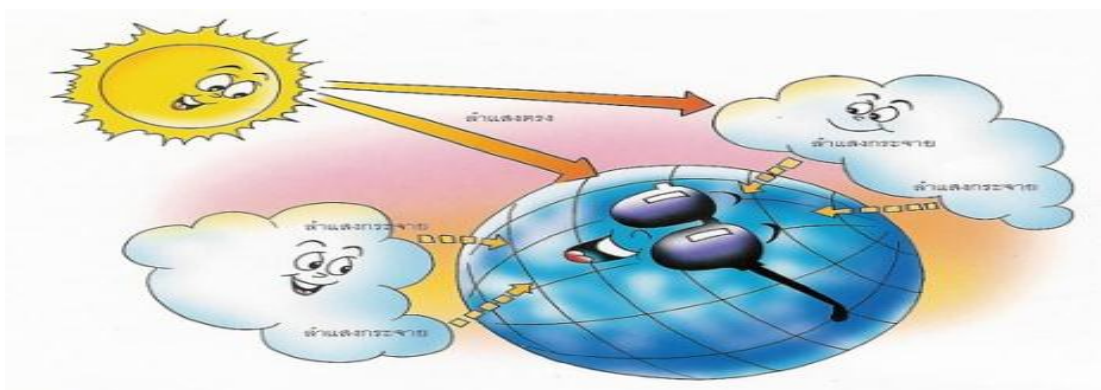
ການແຜ່ລັງສີຄວາມຮ້ອນເປັນການຖ່າຍເທຄວາມຮ້ອນອອກທຸກທິດທາງໂດຍບໍ່ຕ້ອງອາໃສຕົວກາງໃນການສົ່ງຖ່າຍພະລັງງານລັງສີຄວາມຮ້ອນສາມາດຖ່າຍເທຄວາມຮ້ອນຜ່ານວັດຖຸທຸກຊະນິດທີ່ມີອຸນຫະພູມສູງກ່ວາ -270 c ຫຼື 0 K ຍ່ອມມີການແຜ່ລັງສີເຊັ່ນ ເວລາເຮົາຕາກເສື້ອຜ້າ ກາງແດດ



ການດູດກືນຄວາມຮ້ອນຂອງວັດຖຸ

ວັດຖຸທຸກຊະນິດສາມາດດູດກືນພະລັງງານລັງສີການດູດກືນພະລັງງານລັງສີເອີ້ນວ່າການດູດກືນຄວາມຮ້ອນໂດຍທີ່ວັດຖຸແຕ່ລະຊະນິດສາມາດດູດກືນຄວາມຮ້ອນຈາກການແຜ່ລັງສີໄດ້ບໍ່ເທົ່າກັນທັງນີ້ຂຶ້ນຢູ່ກັບ.

1. ສີຂອງວັດຖຸ: ວັດຖຸສີດຳຫຼືສີເຂັ້ມດູດກືນຄວາມຮ້ອນໄດ້ດີກວ່າວັດຖຸສີຂາວຫຼືສີອ່ອນ.
2. ຜິວວັດຖຸ: ວັດຖຸຜິວທີ່ສຸກດູດກືນຄວາມຮ້ອນໄດ້ດີກວ່າວັດຖຸທີ່ລຽບ ແລະ ຂັດມັນ.



ປະໂຫຍດການແຜ່ລັງສີຄວາມຮ້ອນ:

ບ້ານເຮືອນໃນປະເທດທີ່ມີອາກາດຮ້ອນບໍ່ຄວນທາສີເຂັ້ມຈະໄດ້ສະທ້ອນແສງແດດແລະ ເຮັດໃຫ້ບ້ານເຮືອນມີອຸນຫະພູມບໍ່ສູງຫຼາຍໃນເວລາກາງເວັນ

4.ຄວາມຮ້ອນ

ຄວາມຮ້ອນແມ່ນພະລັງງານທີ່ປ່ຽນແປງຈາກພະລັງງານໃນຮູບແບບອື່ນ, ເຊັ່ນ: ພະລັງງານໄຟຟ້າ, ພະລັງງານກົນຈັກ (ພະລັງງານທີ່ມີທ່າແຮງແລະພະລັງງານທາງຄືນກ). ພະລັງງານ, ເຄມີ, ພະລັງງານນິວເຄຼຍຫລືວຽກງານອື່ນໆ.

ພະລັງງານຄວາມຮ້ອນແມ່ນຢູ່ໃນ Joule (J) ໃນລະບົບ SI (SI), ແຕ່ບາງຄັ້ງມັນສາມາດສະແດງອອກເປັນຫົວໜ່ວຍ ອື່ນໆເຊັ່ນ cal ແລະ BTU.

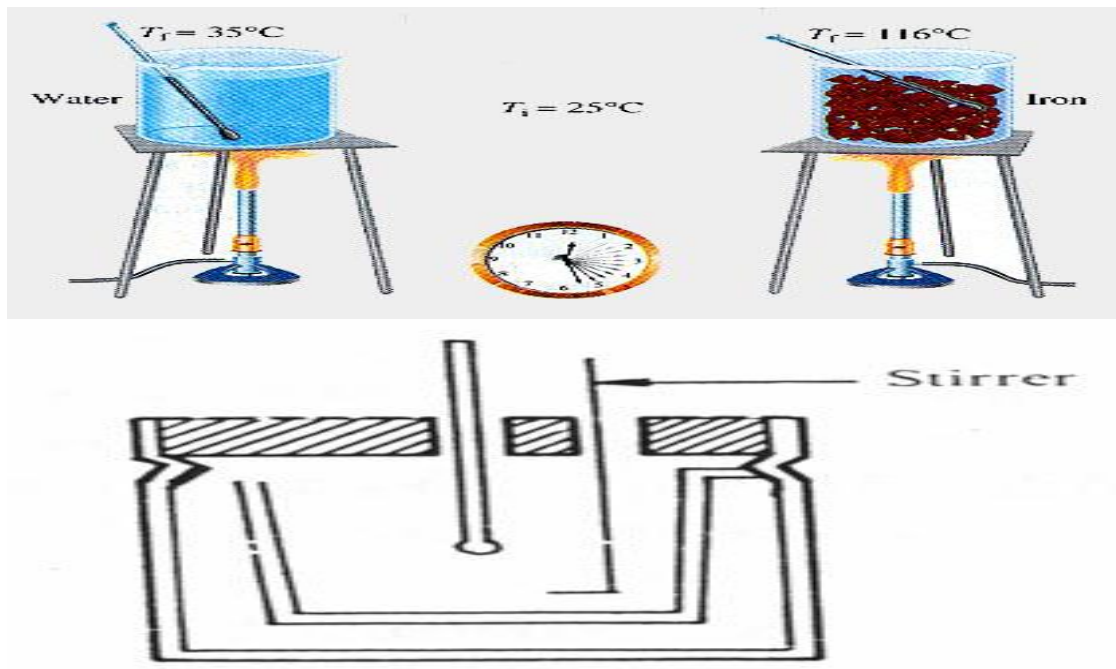
$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

$$1 \text{ BTU} = 252 \text{ cal} = 1055 \text{ J}$$

ນັກວິທະຍາສາດໄດ້ ກຳ ນົດວ່າອຸນຫະພູມແມ່ນອັດຕາສ່ວນໂດຍກົງກັບພະລັງງານ kinetic ສະເລ່ຍຂອງອາຍແກັສ. ເມື່ອພວກເຮົາເວົ້າວ່າວັດຖຸໃດກໍ່ຮ້ອນຫຼາຍຫຼື ໜ້ອຍ, ພວກເຮົາສາມາດບອກໄດ້ໂດຍອຸນຫະພູມຂອງວັດຖຸ, ນັ້ນແມ່ນວັດຖຸທີ່ມີຄວາມຮ້ອນຫຼາຍຈະມີອຸນຫະພູມສູງ. ວັດຖຸທີ່ມີຄວາມຮ້ອນ ໜ້ອຍ ຈະມີອຸນຫະພູມຕໍ່າ, ສະນັ້ນຖ້າພວກເຮົາເອົາວັດຖຸທີ່ມີອຸນຫະພູມສູງໄປແຕະວັດຖຸທີ່ມີອຸນຫະພູມຕໍ່າ ພະລັງງານຄວາມຮ້ອນໄດ້ຖືກຍົກຍ້າຍຈາກວັດຖຸທີ່ມີອຸນຫະພູມສູງໄປສູ່ວັດຖຸ. ດ້ວຍອຸນຫະພູມຕໍ່າ ຈົນກ່ວາວັດຖຸທັງສອງມີອຸນຫະພູມດຽວກັນ.

ອຸປະກອນທີ່ໃຊ້ໃນການວັດອຸນຫະພູມຖືກເອີ້ນ ບາຫຼອດ ມີບາຫຼອດ ຈຳ ນວນຫຼາຍປະເພດ, ເຊັ່ນວ່າ

1. ລະດັບອົງສາເຊນຊຽດ (Celsius, °C) ຫຼືບາງລະດັບທີ່ເອີ້ນວ່າ centigrade (ຢູ່ໃນຄວາມກົດດັນ 1 ບັນຍາກາດ, ຈຸດນໍ້າເຢັນແມ່ນ 0 Celsius ແລະຈຸດເດືອດແມ່ນ 100 Celsius ລະຫວ່າງຈຸດ ໜາວ ແລະຈຸດຮ້ອນແມ່ນແບ່ງອອກເປັນ 100 ສ່ວນເທົ່າກັນ)
2. Kelvin, °K) ແມ່ນຫົວ ໜ່ວຍ ຂອງອຸນຫະພູມຢ່າງແທ້ຈິງ (ຢູ່ທີ່ຄວາມກົດດັນຂອງ 1 ບັນຍາກາດ, ຈຸດທີ່ເຢັນຂອງນໍ້າ ແມ່ນ 273.16 Kelvin ແລະຈຸດເດືອດແມ່ນ 373.16 Kelvin ລະຫວ່າງຈຸດ ໜາວ ແລະຈຸດຮ້ອນແບ່ງເປັນ 100 ສ່ວນເທົ່າກັນ) ໜ່ວຍ Kelvin ແມ່ນຫົວ ໜ່ວຍ ມາດຕະຖານໃນຄວາມຮ້ອນຈຳເພາະແມ່ນຄວາມຮ້ອນທີ່ເຮັດໃຫ້ສານທັງ ໝົດ ທີ່ຖືວ່າມີການປ່ຽນແປງອຸນຫະພູມ ໜຶ່ງ ຄັ້ງໂດຍບໍ່ມີສະຖານະພາບປ່ຽນແປງຖ້າໃຫ້ຮ້ອນ ΔQ ກັບວັດຖຸ, ອຸນຫະພູມຂອງວັດຖຸຈະປ່ຽນແປງ ΔT , ດັ່ງນັ້ນຖ້າອຸນຫະພູມຂອງວັດຖຸປ່ຽນແປງ 1 ໜ່ວຍຈະຖືກ ນຳ ໃຊ້ຄວາມຮ້ອນ C ແມ່ນ



$$C = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$$

ຕົວຢ່າງ:

ວັດຖຸກ້ອນໜຶ່ງມີມວນສານ 1 kg ເມື່ອສິ່ງພະລັງງານນີ້ໃຫ້ວັດຖຸດ້ວຍຄ່າໃດຄ່າໜຶ່ງຄົງຄ່າ 1 kJ/s ໃນເວລາ 5 mn ເຫັນວ່າອຸນຫະພູມຂອງວັດຖຸປ່ຽນຈາກຕອນເລີ່ມຕົ້ນ 100 c ໄປເປັນ 200 c ຄວາມຮ້ອນຈຳເພາະຂອງວັດຖຸນີ້ ມີຄ່າເທົ່າໃດ kJ/kg.K

ບົດແກ້

ສຸດ

$$C = \frac{\Delta Q}{m\Delta T} = \frac{1 \times (5 \times 60)}{1 \times (200 - 100)} = 3 \text{ kJ / kg.K}$$

5.ການສົ່ງຄວາມຮ້ອນ.

ວັດຖຸຕັ້ງ 2 ຊະນິດຂຶ້ນໄປທີ່ມີອຸນຫະພູມຕ່າງກັນມາແຕະກັນຫຼືປະສົມເຂົ້າກັນ, ວັດຖຸທີ່ມີອຸນຫະພູມສູງກ່ວາຈະສົ່ງຄວາມຮ້ອນອອກ, ສ່ວນວັດຖຸທີ່ມີອຸນຫະພູມຕໍ່າກ່ວາຈະຮັບຄວາມຮ້ອນເຂົ້າໄວ້ຈົນກ່ວາອຸນຫະພູມຂອງພວກມັນ ຊຶ່ງຊາກັນຈິ່ງຈະຢຸດການສົ່ງຄວາມຮ້ອນ.

ຖ້າການສົ່ງຄວາມຮ້ອນຈາກວັດຖຸໜຶ່ງໄປຫາອີກວັດຖຸໜຶ່ງມີການສູນເສຍຄວາມຮ້ອນໃຫ້ກັບສິ່ງແວດລ້ອມຈະໄດ້ປະລິມານຄວາມຮ້ອນທີ່ວັດຖຸມີອຸນຫະພູມສູງສົ່ງອອກເທົ່າກັບປະລິມານຄວາມຮ້ອນທີ່ວັດຖຸມີອຸນຫະພູມຕໍ່າໄດ້ຮັບ ຫຼືເວົ້າສັ້ນໆ ຄວາມຮ້ອນທີ່ສົ່ງອອກເທົ່າກັບຄວາມຮ້ອນທີ່ໄດ້ຮັບ.

ຫຼັກການແກ້ບົດເລກປະເພດສິ່ງ - ຮັບຄວາມຮ້ອນອາດແບ່ງເປັນຂັ້ນຕອນດັ່ງນີ້.

ກ.ໃຫ້ແຍກວັດຖຸເປັນສອງພາກສ່ວນພາກສ່ວນອຸນຫະພູມສູງ ແລະ ພາກສ່ວນອຸນຫະພູມຕໍ່າ

ຂ.ປະລິມານຄວາມຮ້ອນຢູ່ວັດຖຸທີ່ມີອຸນຫະພູມສູງສິ່ງອອກທັງໝົດຈາກສົມຜົນ

$$\Delta Q = cm\Delta t$$

ຫຼື
$$\Delta Q = mL$$

ຄ. ຊອກຫາປະລິມານຄວາມຮ້ອນທີ່ວັດຖຸທີ່ມີອຸນຫະພູມຕໍ່າໄດ້ຮັບທັງໝົດຈາກສົມຜົນ

$$\Delta Q = cm\Delta t$$

$$\Delta Q = mL$$

ງ.ຊອກຫາຄ່າທີ່ຕ້ອງການຕາມແຜນວາດ

ຄວາມຮ້ອນເພີ່ມ

ຄວາມຮ້ອນຫຼຸດ



$$\Delta Q = cm\Delta t$$

$$\Delta Q = mL$$

6.ການຂະຫຍາຍຂອງວັດຖຸຍ້ອນຄວາມຮ້ອນ.

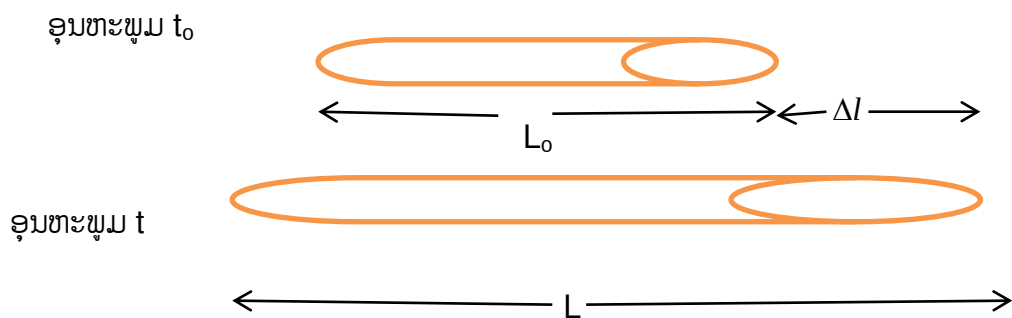
ວັດຖຸເມື່ອໄດ້ຮັບຄວາມຮ້ອນຈາກອຸນຫະພູມທີ່ສູງຂຶ້ນ ແລະອາດຈະເຮັດໃຫ້ວັດຖຸຂະຫຍາຍອອກໄປສຳ ລັບວັດຖຸທີ່ມີຄວາມຮ້ອນໂດຍສະເລ່ຍຕະຫຼອດຄິວ (Isotropic) ເຊັ່ນ: ແກ້ວແລະທາດເຫລົ້າທັງ ໝົດ ເຫລົ່ານີ້ຈະຂະຫຍາຍອອກທຸກດ້ານຢ່າງເທົ່າທຽມກັນ. ນັບຕັ້ງແຕ່ອະຕອມຂອງວັດຖຸໃນເວລາທີ່ໄດ້ຮັບພະລັງງານຫຼາຍຈະເຮັດໃຫ້ເກີດຄວາມສັ່ນສະເທືອນພໍປະມານເຮັດໃຫ້ໄລຍະຫ່າງລະຫວ່າງອາຕອມມີການປ່ຽນແປງໂດຍໄລຍະຫ່າງລະຫວ່າງອາຕອມBake ຫນຶ່ງຈຸດພາຍໃນໂຄງສ້າງຂອງວັດຖຸເພີ່ມຂຶ້ນ. ວັດຖຸນັ້ນເຕີບໃຫຍ່ຂຶ້ນ ແຕ່ຖ້າໄລຍະຫ່າງລະຫວ່າງອະຕອມຫຼຸດລົງ, ວັດຖຸ

ນັ້ນຈະນ້ອຍລົງ ເຊິ່ງການຂະຫຍາຍຕົວຂອງສິ່ງທີ່ແຂງ, ແຫຼວແລະອາຍແກັສຈະແຕກຕ່າງກັນນີ້ຈະອະທິບາຍເຖິງການຂະຫຍາຍຂອງທາດແຂງແລະທາດແຫຼວ. ການຂະຫຍາຍກາສຈະອະທິບາຍໃນບົດຕໍ່ໄປ

ການຂະຫຍາຍຕົວຢ່າງແຂງແຮງ ໂດຍທົ່ວໄປ, ເມື່ອໃຫ້ຄວາມຮ້ອນແກ່ສິ່ງແຂງໃດໆ ທີ່ແຂງການຂະຫຍາຍໄປໃນທຸກທິດທາງ, ດັ່ງນັ້ນຈຶ່ງສິ່ງຜົນກະທົບຕໍ່ຮູບຮ່າງຂອງວັດຖຸ ແຕ່ຈະປ່ຽນແປງໃນແງ່ຂອງຄວາມຍາວ, ພື້ນທີ່ແລະປະລິມານ ການຂະຫຍາຍຕົວຈະມີຫຼາຍຫຼື ໜ້ອຍ ຂຶ້ນກັບປະເພດແຂງ. ການຂະຫຍາຍຂອງແຂງສາມາດແບ່ງອອກເປັນ 3 ປະເພດ:

ກ. ການຂະຫຍາຍເສັ້ນ

ວັດຖຸທີ່ມີຄວາມຍາວ l_0 ເມື່ອອຸນຫະພູມເລີ່ມຕົ້ນ $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ຖ້າຮັບຄວາມຮ້ອນເພີ່ມເຕີມຈົນກ່ວາອຸນຫະພູມ $t_0\text{ }^{\circ}\text{C}$, ຄວາມຍາວແມ່ນ l , ຄວາມຍາວເພີ່ມຂຶ້ນ $\Delta l = l - l_0$ ແລະພົບວ່າຄວາມຍາວເພີ່ມຂຶ້ນແມ່ນສັດສ່ວນກັບຄວາມຍາວເດີມ (l_0) ແລະແມ່ນອັດຕາສ່ວນໂດຍກົງກັບອຸນຫະພູມທີ່ເພີ່ມຂຶ້ນ ($\Delta t = t - t_0\text{ }^{\circ}\text{C}$) ດັ່ງທີ່ສະແດງດັ່ງຮູບ



$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta t \quad \Delta l = \alpha l_0 \Delta t$$

ດັ່ງນັ້ນ, ປະສິດທິພາບຂອງການຂະຫຍາຍຕາມເສັ້ນແມ່ນຄວາມຍາວຂອງວັດຖຸທີ່ປ່ຽນໄປເປັນ ໜຶ່ງ ດຽວ. ຫົວ ໜ່ວຍ ຄວາມຍາວເດີມ ແລະຕໍ່ ໜຶ່ງ ອົງສາອຸນຫະພູມຂອງວັດຖຸປ່ຽນແປງ ມີຫົວ ໜ່ວຍ ເປັນອົງສາ ($^{\circ}\text{C}$)⁻¹ ເມື່ອສະແດງມູນຄ່າ $\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}$ ໃນສົມຜົນ (4), ຄວາມຍາວຂອງວັດຖຸມີດັ່ງນີ້.

$$l = l_0(1 + \alpha \Delta t)$$



ວັດຖຸປະເພດທີ່ແຕກຕ່າງກັນຈະບໍ່ແກ່ຍາວເປັນ ຈຳ ນວນເທົ່າກັນ, ເຊັ່ນເຫຼັກແລະທອງເຫລືອງ, ຄວາມຍາວດຽວກັນຈະຖືກເຜົາໃຫ້ຮ້ອນ.ເທົ່າທຽມກັນ, ທອງເຫລືອງສາມາດຍຶດໄດ້ຫລາຍກ່ວາເຫຼັກ. ເນື່ອງຈາກຕົວຄຸນຂະຫຍາຍຂອງທອງເຫລືອງມີຄຸນຄ່າຫຼາຍກ່ວາເຫຼັກ ສະນັ້ນ, ເມື່ອເອົາເຫຼັກແລະທອງເຫລືອງມາປະສົມກັນ ຫຼັງຈາກນັ້ນກໍ່ປັກເຂັມດ້ວຍເຂັມເມື່ອຈູດໄຟໃຫ້ຮ້ອນ, ໃຫ້ ມີທອງເຫລືອງໂຄ້ງຢູ່ທາງນອກ ເພາະວ່າໃນຂະນະທີ່ທອງເຫລືອງຮ້ອນກ່ວາເຫຼັກດຽວກັນຖ້າເປັນ ທອງເຫລືອງຈະຫົດຕົວຫລາຍກ່ວາເຫຼັກ. ມັນຈະດຶງກັນທາງ ໜຶ່ງ ຕາມທີ່ສະແດງ

ຂ.ການຂະຫຍາຍໄປຕາມເນື້ອທີ່

$$A = A_0(1 + \beta \Delta t)$$

ເມື່ອ β ເປັນສາປະສິດຂອງການຂະຫຍາຍຕາມພື້ນທີ່ຂອງວັດຖຸແມ່ນພື້ນທີ່ທີ່ປ່ຽນໄປຕໍ່ ໜຶ່ງພື້ນທີ່ ໜ່ວຍ ບໍລິການເດີມແລະອຸນຫະພູມ ໜຶ່ງ ອົງສາຂອງວັດຖຸປ່ຽນແປງ ມີຫົວ ໜ່ວຍ ເປັນອົງສາ (oC) ⁻¹ນັບຕັ້ງແຕ່ການຄິດໄລ່ພື້ນທີ່ແມ່ນມາຈາກຜະລິດຕະພັນຂອງຄວາມຍາວຂອງຂ້າງຂອງ 2 ດ້ານ.ລະຫວ່າງ β ແລະ α ແມ່ນດັ່ງຕໍ່ໄປນີ້

$$\beta = 2\alpha$$

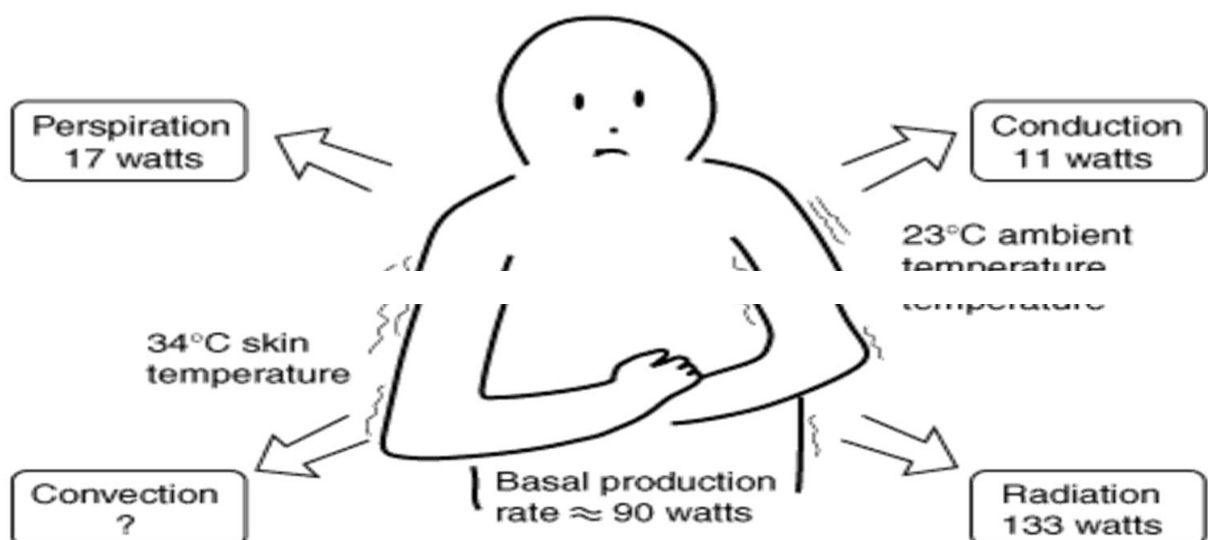
ງ. ການຂະຫຍາຍຕົວຕາມບໍລິມາດ.

ບໍລິມາດຂອງວັດຖຸທີ່ປ່ຽນແປງຕາມບໍລິມາດເດີມຂອງວັດຖຸ ແລະ ອຸນຫະພູມທີ່ປ່ຽນໄປ

$$\Delta V = \beta V \Delta T$$

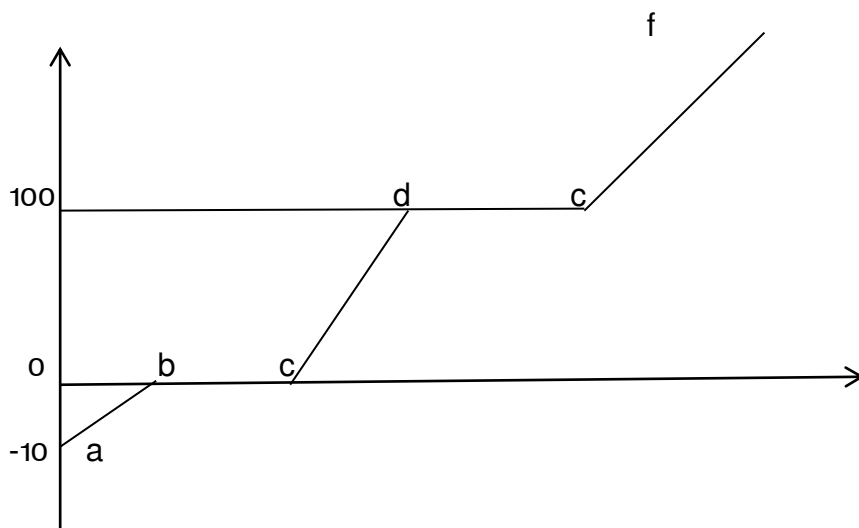
ການຂະຫຍາຍຕົວຕາມອຸນຫະພູມສຳລັບຂອງແຂງແບບໄອໂຊໂທບປິກ. (**isotropic**

ການລະບາຍຄວາມຮ້ອນອອກຈາກຮ່າງກາຍ



7.ປະລິມານຄວາມຮ້ອນແປງ

ເມື່ອສິ່ງພະລັງງານຄວາມຮ້ອນໃຫ້ແກ່ທາດແຂງຈະເຮັດໃຫ້ມັນຮ້ອນຂຶ້ນຈົນເຖິງອຸນຫະພູມຄືກ່າໃດໜຶ່ງຈະເຮັດໃຫ້ທາດແຂງມີການປ່ຽນຮູບຮ່າງເປັນທາດແຫຼວຈົນໝົດ ແລະ ເມື່ອເພີ່ມອຸນຫະພູມສູງຂຶ້ນຈົນເຖິງອຸນຫະພູມອີກຄ່າໜຶ່ງທາດແຂງຈະກາຍເປັນອາຍຈົນໝົດຫຼັງຈາກນັ້ນອຸນຫະພູມຈະສູງຂຶ້ນອີກສາມາດສະຫຼຸບໄດ້ວ່າໃນເວລາປ່ຽນແປງພາວະນັ້ນອຸນຫະພູມບໍ່ເພີ່ມຂຶ້ນຕັ້ງຮູບ



ອຸນຫະພູມ ແລະ ປະລິມານຄວາມຮ້ອນຂອງການໃຫ້ຄວາມຮ້ອນແກ່ນ້ຳກ້ອນຈົນກາຍເປັນອາຍນ້ຳຖ້າເຮົາເອົາຄວາມຮ້ອນຈາກເຕົາໜ່ວຍໜຶ່ງເຊິ່ງເຮົາຖືວ່າໃຫ້ພະລັງງານຄວາມຮ້ອນຢ່າງສະໝໍ່າສະເໝີໃຫ້ກັບນ້ຳກ້ອນທີ່ມີອຸນຫະພູມ -10c ອຸນຫະພູມຂອງນ້ຳກ້ອນຈະສູງຂຶ້ນຈົນມີອຸນຫະພູມເປັນ 0c ໄດ້ເສັ້ນສະແດງ ab ຈາກນັ້ນອຸນຫະພູມນ້ຳກ້ອນບໍ່ປ່ຽນແປງແຕ່ພົບວ່ານ້ຳກ້ອນລະລາຍເປັນນ້ຳ ທີ່ 0c ຈົນໝົດໄດ້ເສັ້ນສະແດງ bc ແລ້ວອຸນຫະພູມຂອງນ້ຳຈະເພີ່ມຂຶ້ນຈົນເຖິງ 100 c ໄດ້ເສັ້ນສະແດງ cd ແລ້ວພົບວ່າເວລາຜ່ານໄປອຸນຫະພູມຂອງນ້ຳຈະຄົງຄ່າແຕ່ນ້ຳໄດ້ປ່ຽນພາວະການເປັນອາຍຈົນໝົດໄດ້ເສັ້ນສະແດງ de ແລ້ວພົບວ່າອຸນຫະພູມຂອງນ້ຳເພີ່ມຂຶ້ນຕາມ ef.

ຈາກທີ່ກ່າວມາແລ້ວຈະເຫັນວ່າການປ່ຽນແປງຂອງວັດຖຸເກີດຂຶ້ນໄດ້ສອງແບບຄື:ການປ່ຽນແປງອຸນຫະພູມໂດຍບໍ່ປ່ຽນພາວະກັບການປ່ຽນພາວະໂດຍບໍ່ປ່ຽນອຸນຫະພູມ.

8.ສົມດຸນຄວາມຮ້ອນ.

ແມ່ນສະພາບທີ່ຄວາມຮ້ອນຖ່າຍເທຄວາມຮ້ອນຜ່ານຂອບເຂດຂອງລະບົບໄດ້ເມື່ອມີຄວາມແຕກຕ່າງຂອງອຸນຫະພູມລະຫວ່າງລະບົບກັບສິ່ງແວດລ້ອມແລະຈະຢຸດຖ່າຍເທຄວາມຮ້ອນເມື່ອອຸນຫະພູມຂອງລະບົບ ແລະ ສິ່ງແວດລ້ອມເທົ່າກັນເຊິ່ງການສົມດຸນຄວາມຮ້ອນນີ້ຈະມີຄວາມກ່ຽວເນື່ອງກັບກົດຂໍ້ທີສູນຂອງອຸນຫະພູມກະສາດ. ກ.ກົດຂໍ້ທີສູນຂອງອຸນຫະພູມກະສາດ.

ກົດຂັ້ນສູນນີ້ກ່ຽວກັບການສົມດູນຄວາມຮ້ອນກົດຂັ້ນນີ້ກ່າວວ່າຖ້າວັດຖຸສອງອັນທີ່ຢູ່ແຍກຈາກກັນຕ່າງກໍ່ຈະຢູ່ໃນສະພາວະການສົມດູນຄວາມຮ້ອນກັບວັດຖຸອັນທີສາມແລ້ວວັດຖຸທັງສອງນັ້ນຈະຢູ່ໃນສະພາວະການສົມດູນຄວາມຮ້ອນເຊິ່ງກັນ ແລະ ກັນ.

ດັ່ງນັ້ນໃນຮູບຂ້າງເທິງຖ້າວັດຖຸ B ກັບ C ຕ່າງກໍ່ຢູ່ໃນສົມດູນທາງຄວາມຮ້ອນກັບວັດຖຸ A ແລ້ວວັດຖຸ B ກັບວັດຖຸ C ຕ້ອງຢູ່ໃນສົມດູນທາງຄວາມຮ້ອນເຊິ່ງກັນ ແລະ ກັນ. ສົມດູນທາງຄວາມຮ້ອນໝາຍຄວາມວ່າບໍ່ມີການປ່ຽນແປງສະພາວະສະນັ້ນຕາມກົດຂັ້ນບອກໃຫ້ຮູ້ວ່າ A, B ແລະ C ຕ່າງກໍ່ມີອຸນຫະພູມດຽວກັນ ແລະ ຍິ່ງກ່ວານັ້ນຖ້າວັດຖຸຕ່າງໆທັງໝົດຢູ່ໃນສະພາວະສົມດູນທາງຄວາມຮ້ອນວັດຖຸເຫຼົ່ານັ້ນຈະມີອຸນຫະພູມດຽວກັນໝົດ.

ຕົວຢ່າງ ການໃຫ້ໂທໂມເມີເຕີວັດຄົນໄຂ້ເມື່ອປອກໃນຫຼອດຄົງທີ່ແລ້ວຍ່ອມເຊື່ອໄດ້ວ່າປອກໃນຫຼອດແກ້ວ ແລະ ຮ່າງກາຍຄົນໄຂ້ມີອຸນຫະພູມດຽວກັນສະນັ້ນຈະຢູ່ໃນສົມດູນທາງຄວາມຮ້ອນເຊິ່ງກັນ ແລະ ກັນໝົດ,

ສະນັ້ນຈິ່ງໄດ້ຂໍສະຫຼຸບໄວ້າພະລັງງານທີ່ແລກປ່ຽນໄປໃນຮູບຂອງຄວາມຮ້ອນນີ້ຈະເກີດຂຶ້ນໄດ້ກໍ່ຕໍ່ເມື່ອລະບົບທັງສອງມີອຸນຫະພູມຕ່າງກັນດັ່ງນັ້ນອຸນຫະພູມຂອງລະບົບໜຶ່ງຄືຄຸນສົມບັດທີ່ບອກວ່າຈະມີສະພາວະສົມດູນຄວາມຮ້ອນກັບລະບົບອື່ນຫຼືບໍ່.

9.ການຖ່າຍໂອນຄວາມຮ້ອນ.

ແມ່ນການເຄື່ອນທີ່ຂອງພະລັງງານຍ້ອນຄວາມແຕກຕ່າງຂອງອຸນຫະພູມ

- ການໂອນຄວາມຮ້ອນສາມາດເກີດຂຶ້ນໄດ້ເມື່ອມີອຸນຫະພູມແຕກຕ່າງ.
- ຄຸນລັກສະນະຂອງການໂອນຄວາມຮ້ອນ
- ການປະຕິບັດ
- Convection (convection)
- ລັງສີ (ລັງສີ)
- ຫຼືມັນອາດຈະເປັນການລວມກັນຂອງປະເພດຂ້າງເທິງຂອງການໂອນຄວາມຮ້ອນ

ສະແດງເປັນການໂອນຄວາມຮ້ອນຕໍ່ໜ່ວຍ ໜຶ່ງພື້ນທີ່ (Q), ຫົວໜ່ວຍ ແມ່ນ watt / m² ປະເພດຂອງການໂອນຄວາມຮ້ອນ ອີງຕາມເວລາສະຖານະພາບຄົງທີ່: ຄຸນສົມບັດຂອງລະບົບບໍ່ປ່ຽນແປງຕາມການເວລາ ອຸນຫະພູມລະບົບຈະ ໝັ້ນ ຄົງ. ເຖິງແມ່ນວ່າເວລາໄດ້ປ່ຽນແປງ ແຕ່ອາດຈະແຕກຕ່າງກັນໄປເມື່ອ ຕໍາ ແໜ່ງ ປ່ຽນແປງ

10. Conduction Heat transfer

ການໂອນພະລັງງານໂມເລກຸນ ໃນຂະນະທີ່ໂມເລກຸນໄດ້ຮັບພະລັງງານຄວາມຮ້ອນ ໂມເລກຸນຈະສັ່ນສະເທືອນ. ພະລັງງານຈາກການສັ່ນສະເທືອນນີ້ແມ່ນຜ່ານຈາກໂມເລກຸນ ໜຶ່ງ ຫາອີກ ໜ່ວຍ ໜຶ່ງ ເຊິ່ງບໍ່ຕ້ອງການການຂົນສົ່ງໂມເລກຸນ (ໂດຍທົ່ວໄປມັກຈະເກີດຂຶ້ນໃນນ້ຳແຂງຫຼືຂອງແຫຼວທີ່ມີຄວາມ ໜຽວ ຫຼາຍ) ການປະຕິບັດການໂອນຄວາມຮ້ອນນີ້ອາດຈະເກີດຂຶ້ນ 1,2,3 ມິຕິຂະ ໜາດການປະຕິບັດຄວາມຮ້ອນຜ່ານແຖບເຫຼັກທີ່ໃຫ້ຄວາມຮ້ອນຢູ່

ສິ່ງ ໜຶ່ງ ແມ່ນຕົວຢ່າງຂອງການຖ່າຍທອດຄວາມຮ້ອນ 2 ມິຕິ ໂດຍການໂອນຈາກປາຍຮ້ອນໄປຫາທິດທາງເຢັນໜຶ່ງ (one direction

ຖ້າແຖບເຫລັກບໍ່ຖືກສນວນ ຄວາມຮ້ອນຈະສູນເສຍຕໍ່ສິ່ງແວດລ້ອມ.

ສູນກາງຂອງແຖບເຫຼັກແມ່ນມີຄວາມອົບອຸ່ນກວ່າພື້ນຜິວ. ເຮັດໃຫ້ເກີດການຖ່າຍທອດຄວາມຮ້ອນເຂົ້າໄປໃນສະພາບແວດລ້ອມ (ມີຕິທິສອງການຖ່າຍທອດຄວາມຮ້ອນແບບປະສົມປະສານ ໜຶ່ງ ມິຕິແມ່ນ ໜ້າ ທີ່ຂອງຄວາມແຕກຕ່າງຂອງອຸນຫະພູມຄວາມໜ້າຂອງວັດສະດຸພື້ນທີ່ທີ່ມີການໂອນຄວາມຮ້ອນຄວາມຕ້ານທານຂອງວັດສະດຸໃນການໂອນຄວາມຮ້ອນ

ການໂອນຄວາມຮ້ອນ ໜຶ່ງ ມິຕິສາມາດສະແດງໃຫ້ເຫັນດັ່ງຕໍ່ໄປນີ້(ກົດ ໝາຍ ຂອງ Fourier law)

$$q = -kA \frac{dT}{dx} = -kA \frac{T_2 - T_1}{\Delta x}$$

q = ອັດຕາການປະຕິບັດຄວາມຮ້ອນ, W A = ພື້ນທີ່ ສໍາ ລັບໂອນຖ່າຍຄວາມຮ້ອນ, m^2 ΔT = ຄວາມແຕກຕ່າງຂອງອຸນຫະພູມ, $^{\circ}C$ Δx = ໄລຍະຫ່າງຂອງຄວາມຮ້ອນຜ່ານ, m K = ຄວາມຮ້ອນໃນການປະສົມຄວາມຮ້ອນ, $W / m^{\circ}C$

ແຜ່ນເຫຼັກ ໜ້າ 1 ຊມ ສໍາ ຜັດກັບຄວາມຮ້ອນມີອຸນຫະພູມຄົງທີ່ $1200^{\circ}C$, ໃນຂະນະທີ່ກົງກັນຂ້າມແມ່ນ $700^{\circ}C$. ຄິດໄລ່ກະແສຄວາມຮ້ອນ, ບ່ອນທີ່ການປະຕິບັດຄວາມຮ້ອນຂອງແຜ່ນເຫຼັກເທົ່າກັບ $17 W / m^{\circ}C$

ແມ່ນການໂອນຄວາມຮ້ອນຍ້ອນການເຄື່ອນຍ້າຍຂອງແຫຼວ / ອາຍແກັສຜ່ານພື້ນທີ່ແຂງເຊັ່ນການແລກປ່ຽນຄວາມຮ້ອນໃນທີ່ປະເພດ Convectionconvection ທໍາມະຊາດຫຼືບໍ່ເສຍຄ່າເກີດຂຶ້ນຍ້ອນອຸນຫະພູມທີ່ແຕກຕ່າງກັນຂອງລະບົບນັ້ນການບັງຄັບ (ການບັງຄັບໂກນບັງຄັບ) ແມ່ນເກີດມາຈາກການກະ ທໍາ ຂອງແຫຼວທີ່ຖືກຍ້າຍໂດຍ ກໍາລັງພາຍນອກເຊັ່ນ: ພັດລົມ.

ພະລັງງານຂອງ convection ສາມາດຄິດໄລ່ໄດ້ຈາກ

$$q = hA(T_p - T_f)$$

h = ຕົວຄູນຄວາມຮ້ອນໃນການຕິດຕໍ່ພື້ນຜິວລະຫວ່າງນໍ້າແລະວັດຖຸ ($W / m^2.oC$) A = ພື້ນທີ່ ໜ້າ ດິນຂອງ
 ວັດຖຸຕິດຕໍ່ກັບທາດແຫຼວ (m^2) ອຸນຫະພູມພື້ນຜິວ $T_p = (K)$ T_f = ອຸນຫະພູມຂອງນໍ້າ ທີ່ຢູ່ຫ່າງຈາກ ໜ້າ
 ດິນຫລືອຸນຫະພູມເບື້ອງຕົ້ນຂອງທາດແຫຼວ (K)

ບົດເຝິກຫັດ

- 1.ການຖ່າຍໂອນຄວາມຮ້ອນແມ່ນຫຍັງ
2. ສົມດຸນຄວາມຮ້ອນໝາຍເຖິງຫຍັງ
- 3.ຈົ່ງອະທິບາຍປະລິມານຄວາມຮ້ອນຈຳເພາະຂອງວັດຖຸ
- 4.ແຜ່ນຮອງຄວາມຮ້ອນແມ່ນໃຫ້ຮ້ອນໂດຍອັດຕາ $8500 \text{ W} / \text{m}^2$ ຕໍ່ອາກາດອ້ອມຂ້າງ.ດ້ວຍອຸນຫະພູມ 250°C ຖ້າອຸນຫະພູມຂອງແຜ່ນຄວາມຮ້ອນແມ່ນ 1250°C , ຊອກຫາຕົວຄຸນ convection.ລະຫວ່າງແຜ່ນຮອງຄວາມຮ້ອນແລະອາກາດ
- 5.ຊອກຫາອັດຕາການໂອນຄວາມຮ້ອນໂດຍການເອົາມັນຈາກມະນຸດ. ເຊິ່ງບໍ່ໃສ່ເຄື່ອງນຸ່ງ denim ໃນຫ້ອງທີ່ອາກາດເປັນສະຖານີມີອຸນຫະພູມ 23°C . ສົມມຸດວ່າຜິວ ຫນັງ ຂອງມະນຸດມີອຸນຫະພູມ 34°C ແລະດ້ານນອກຂອງຮ່າງກາຍມີເນື້ອທີ່ 1.5 ຕາແມັດໃຫ້ຕົວຄຸນ convection ຂອງຮ່າງກາຍມະນຸດດ້ວຍມູນຄ່າ $6 \text{ J} / \text{m}^2.\text{s}.\text{oC}$.
- 6.ແຜ່ນໄມ້ Cork ຊ່ວຍໃຫ້ຄວາມຮ້ອນຜ່ານ $3.6 \times 10^5 \text{ J}$ ໃນ 1 ມື້ໃນພື້ນທີ່ 1 m^2 ຢູ່ເທິງ Gradia.ອຸນຫະພູມຂອງອຸນຫະພູມແມ່ນ $1 \text{ K} /$ ຊມ, ມີຄວາມຮ້ອນໄຫຼຜ່ານແຜ່ນໄມ້ຄອກດ້ວຍເນື້ອທີ່ $0.75 \times 1,8 \text{ m}^2$ ໜ້າ 4 ຊັງຕີແມັດ, ຈັກຈັກກີບຕໍ່ມື້, ຖ້າດ້ານຂ້າງ ໜຶ່ງ ແມ່ນອຸນຫະພູມ 0°C ແລະອີກດ້ານ ໜຶ່ງ ມີອຸນຫະພູມ 18°C
- 7.ອຸນຫະພູມແມ່ນຫຍັງ

ບົດທີ 8

ໄຟຟ້າສະຖິດ ແລະ ໄຟຟ້າກະແສ

ເວລາ 10 ຊົ່ວໂມງ

ຈຸດປະສົງ: ໃຫ້ນັກຮຽນສາມາດ

- ນຳໃຊ້ບັນດາແບບຕັ້ງຕ່າງໆເຂົ້າໃນການແກ້ບົດເຝິກຫັດໄດ້
- ນຳໃຊ້ກິດຈະກຳຕ່າງໆທີ່ໄດ້ຮຽນມາເຂົ້າໃນຊີວິດປະຈຳວັນໄດ້
- ເຮັດການທົດລອງກັບໄຟຟ້າສະຖິດ ແລະ ໄຟຟ້າກະແສໄດ້

ກິດຈະກຳ ແລະ ວິທີສອນ

- ການສອນແບບບັນຍາຍ ແລະ ອະທິບາຍ
- ການອນແບບຖາມ - ຕອບ
- ການເຮັດວຽກກຸ່ມ ແລະ ລາຍງານ

ສື່ການສອນ

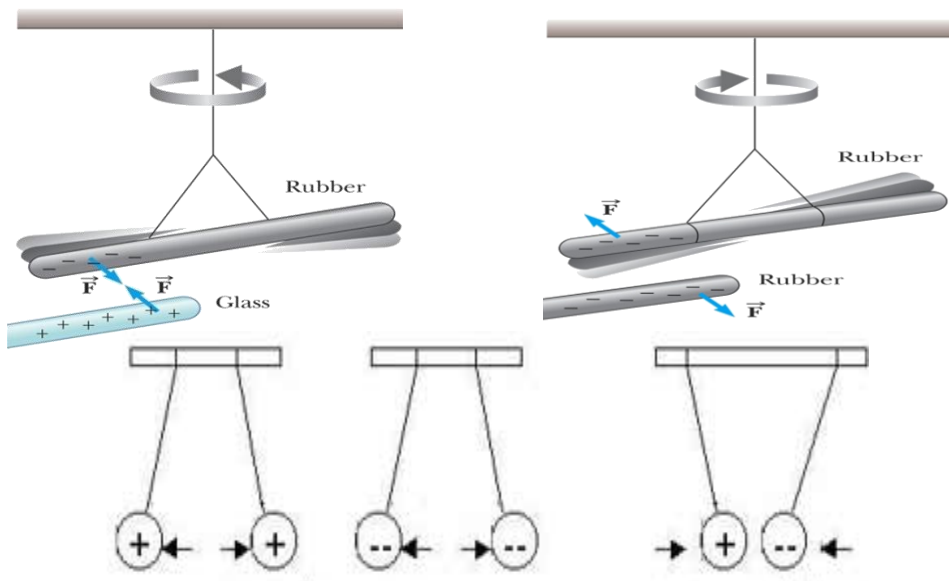
- ເອກະສານປະກອບການບັນຍາຍ
- ເອກະສານປະກອບການສອນ

ການວັດ ແລະ ປະເມີນຜົນ

- ການມີສ່ວນຮ່ວມຂອງນັກຮຽນໃນເວລາປະຕິບັດກິດຈະກຳ
- ສັງເກດການຕອບຄຳຖາມຂອງນັກຮຽນ
- ສັງເກດການລາຍງານກຸ່ມຂອງນັກຮຽນ

1. ຄວາມແຮງໄຟຟ້າ ແລະ ກົດເກນກູລົງ

ຖ້າເອົາບົກຢ່າງໜຶ່ງກັບຜົມ ຫຼື ຂົນສັດຈະເກີດມີອິດທິພົນຕຣອນບາງຕົວຫຼຸດອອກຈາກຜົມ ຫຼືຂົນສັດໄປຢູ່ໃນປາຍບົກບ່ອນທີ່ຖືກຖູ, ເມື່ອເອົາບົກດັ່ງກ່າວມາໃຊ້ກັບເຈ້ຍມູນ, ຈະເຫັນວ່າບົກສາມາດດູດເຈ້ຍມູນໄດ້. ເພິ່ນເອີ້ນຄວາມແຮງດຶງດູດນີ້ວ່າ: ຄວາມແຮງໄຟຟ້າ (Electrical force) ຄວາມຈິງ ຄວາມແຮງນີ້ຮູ້ຈັກກັນມາຫຼາຍຮ້ອຍປີແລ້ວ, ແຕ່ຫາກຮູ້ກັນແນ່ນອນ ເມື່ອປີ 1731 ນີ້ວ່າ: ຄວາມແຮງໄຟຟ້າມີທັງຄວາມແຮງດຶງດູດ ແລະ ຄວາມແຮງຢູ່ຄື:

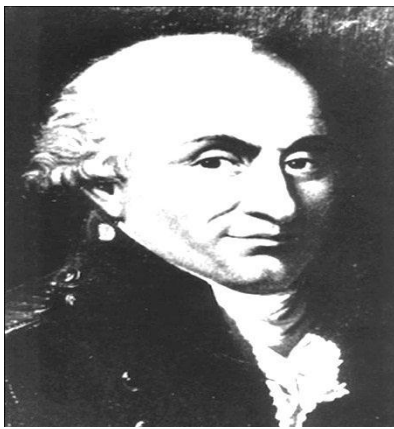


1. ໄຟຟ້າບັນຈຸຊະນິດດຽວ (+ ແລະ + ຫຼື - ແລະ -) ຈະເກີດຄວາມແຮງຢູ່ກັນ.
2. ໄຟຟ້າບັນຈຸຊະນິດນຶ່ງຕ່າງກັນ (+ ແລະ -) ຈະເກີດຄວາມແຮງດຶງດູດກັນ.

ຄວາມແຮງດຶງດູດ ຫຼື ແຮງຢູ່ລະຫວ່າງໄຟຟ້າບັນຈຸຈະມີຄ່າໃຫຍ່ເມື່ອພວກມັນຫຍັບເຂົ້າໃຫ້ກັນທີ່ສຸດ. ຈາກການສັງເກດປະກົດເຫຼົ່ານີ້ ສະຫຼຸບໄດ້ວ່າ: ຄວາມແຮງໄຟຟ້າຈະມີຂະໜາດໃຫຍ່ ຫຼື ນ້ອຍຂຶ້ນຢູ່ກັບໄລຍະຫ່າງລະຫວ່າງໄຟຟ້າບັນຈຸ.

ປະຕິບັດການທົດລອງກ່ຽວກັບແຮງດຶງດູດ - ຍູ່ຂອງໄຟຟ້າບັນຈຸ

1.1 ກົດເກນກູລົງ



ຄວາມດຶງດູດ ຫຼື ຄວາມແຮງຢູ່ຂອງສອງໄຟຟ້າບັນຈຸສະຖິດເປັນອັດຕາສ່ວນພົວພັນກັບຜົນຄູນຂອງຂະໜາດໄຟຟ້າບັນຈຸທັງສອງ ແລະ ເປັນອັດຕາສ່ວນປົ່ນກຳລັງຂອງໄລຍະຫ່າງລະຫວ່າງພວກມັນ. ຄວາມແຮງນີ້ມີຂະໜາດເທົ່າ:

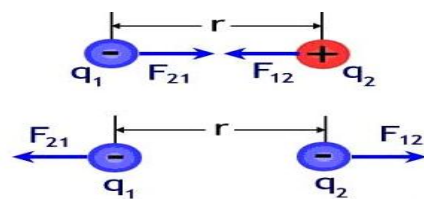
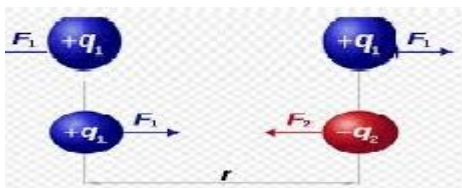
ຊຶ່ງ q_1 ແລະ q_2 ມີຂະໜາດຂອງໄຟຟ້າບັນຈຸ.

$$F_{12} = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1.1)$$

F_{12} ແມ່ນຄວາມແຮງກະທົບໃສ່ q_2 ຈາກ q_1

r ແມ່ນໄລຍະຫ່າງລະຫວ່າງ q_1 ແລະ q_2

k ແມ່ນສຳປະສິດ



□ ໄຟຟ້າບັນຈຸ, q , ເປັນອາຕອມ

- q ເປັນສັນຍາລັກມາດຖານໄຟຟ້າບັນຈຸ
- ໄຟຟ້າທີ່ພົບເປັນກຸ່ມປະລິມານທີ່ບໍ່ຕໍ່ເນື່ອງ
- $q = Ne$

□ N ແທນຕົວເລກຈຳນວນຈຳນວນເຕັມ

□ e ເປັນໜ່ວຍເຫຼັກມູນຂອງໄຟຟ້າບັນຈຸ

□ $|e| = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

□ Electron : $q_e = -e$

□ Proton : $q_p = +e$

□ $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

□ ດັ່ງນັ້ນ 1 Cປະກອນດ້ວຍ 6.24×10^{18} electrons ຫຼື protons

ຮູບ: 1. ສະແດງໃຫ້ເຫັນວ່າໄຟຟ້າບັນຈຸຊະນິດດຽວກັນຢູ່ກັນ, ໄຟຟ້າບັນຈຸຊະນິດຕ່າງກັນຈະດູດກັນ ແລະ ລວງຂອງຄວາມແຮງນອນຢູ່ເສັ້ນຊື່ຕໍ່ກັນລະຫວ່າງໄຟຟ້າບັນຈຸທັງສອງ. ສ່ວນຄວາມແຮງທີ່ກະທົບໃສ່ໄຟຟ້າບັນຈຸ q_1 (ບໍ່ໄດ້ສະແດງໄວ້) ກໍ່ມີຂະໜາດເທົ່າກັບແຮງທີ່ກະທົບໃສ່ q_2 ແຕ່ມີທິດກົງກັນຂ້າມ. ສຳປະສິດ k ໃນສົມຜົນ (1.1) ມີສ່ວນປະກອບໃນການກຳນົດທົ່ວໜ່ວຍຂອງໄຟຟ້າບັນຈຸເມື່ອວັດແທກຄວາມແຮງ F ໃນຫົວໜ່ວຍນິວເຕິນ (N) ເປັນແມັດ (m); q_1 ແລະ q_2 ຫົວໜ່ວຍເປັນກູລົງ (C) ຈະໄດ້ຄ່າ $K=9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ ເມື່ອໄຟຟ້າບັນຈຸທັງສອງຢູ່ໃນຫວ່າງເປົ່າ

$$k = \frac{1}{4\pi \epsilon_0}$$

ϵ_0 ແມ່ນຕົວຄົງຄ່າໄຟຟ້າ (permittivity) ຂອງຫວ່າງເປົ່າ ແລະ ມີຄ່າເທົ່າກັບ

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \quad (1.2)$$

ຂຽນສົມຜົນເວັກເຕີຂອງຄວາມແຮງໄຟຟ້າໄດ້:

$$F = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad (1.3)$$

ຂຽນສົມຜົນເວັກເຕີຂອງຄວາມແຮງໄຟຟ້າໄດ້:

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \hat{r}_{12} \quad (1.3)$$

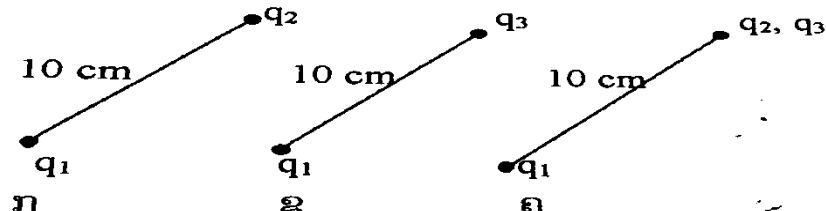
ໂດຍ $\vec{F}_{12}$ ເປັນເວັກເຕີຂອງຄວາມແຮງຈາກໄຟຟ້າບັນຈຸ q_1 ທີ່ກະທົບໃສ່ໄຟຟ້າບັນຈຸ q_2 ແລະ $\hat{r}_{12}$ ແມ່ນເວັກເຕີຫົວໜ່ວຍທີ່ຊີ້ຈາກ q_1 ໄປຫາ q_2 ຕໍ່ສາມາດຖອນໄດ້ກະທົບຊຶ່ງກັນ ແລະ ກັນລະຫວ່າງສອງເມັດໄຟຟ້າບັນຈຸໃນແວດລ້ອມບໍ່ຊັກນຳຂອງກົດເກນກູລົງດັ່ງນີ້:

$$F_{12} = F_{21} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

ນອກຈາກນີ້ກົດເກນຂອງກູລົງຍັງອະທິບາຍໄດ້ອີກວ່າ: ຄວາມແຮງໄຟຟ້າທີ່ເກີດຂຶ້ນກະທົບກັນເປັນຄູ່ໆເຖິງແມ່ນວ່າຈະມີໄຟຟ້າບັນຈຸອື່ນໆມາວາງຢູ່ໄກກໍ່ຕາມ.

ສົມມຸດວ່າ ມີໄຟຟ້າບັນຈຸ q_1 , q_2 ແລະ q_3 ຖ້າເຮົາວັດແທກຄວາມແຮງກະທົບ q_1 ໃສ່ q_3

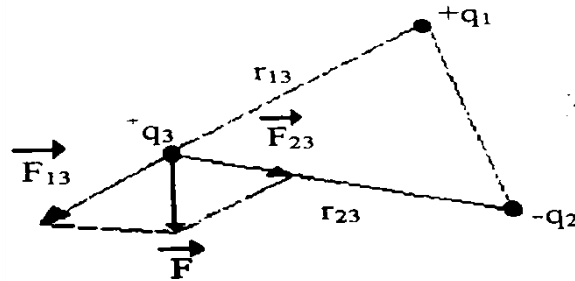
ເມື່ອຢູ່ຫ່າງກັນເຊັ່ນ: ໄລຍະ 10 cm ໂດຍເອົາ q_3 ໄປໄວ້ໄກສຸດຕັ້ງຮູບ 2.ກ ຈາກນັ້ນ q_2 ໄປໄວ້ໄກແລ້ວເອົາ q_3 ມາແທນບ່ອນວັດແທກຄວາມແຮງກະທົບ q_1 ໃສ່ອີກ 2.ຂ ສຸດທ້າຍເອົາທັງ q_2 ແລະ q_3 ມາວາງຫ່າງໄລຍະ 10 cm ດັ່ງຮູບ 2.ຄ.



ຮູບ:1.2

ເມື່ອວັດແທກຄວາມແຮງກະທົບຂອງ q_1 ໃສ່ q_2 ເຫັນວ່າເທົ່າກັບຜົນບວກຂອງຄວາມແຮງທີ່ວັດແທກໄດ້ໃນສອງກໍລະນີທຳອິດ.

ດັ່ງນັ້ນ: ເວົ້າໄດ້ວ່າລະບົບປະກອບດ້ວຍໄຟຟ້າບັນຈຸຈຳນວນເທົ່າໃດກໍ່ຕາມ, ກົດເກນກູລົງສາມາດໃຊ້ເພື່ອຄິດໄລ່ຄວາມແຮງກະທົບລະຫວ່າງໄຟຟ້າບັນຈຸທຸກໆຄູ່ໄດ້ຊຶ່ງໄຟຟ້າບັນຈຸ q_1 , q_2 ແລະ q_3 ວ່າງໄວ້ດັ່ງຮູບ 3 ຄວາມແຮງກະທົບໃສ່ q_3 ຈາກ q_1 ແລະ q_2 ຊອກຈາກຜົນບວກແບບເວັກເຕີລະຫວ່າງ $\vec{F}_{13}$ ແລະ $\vec{F}_{23}$



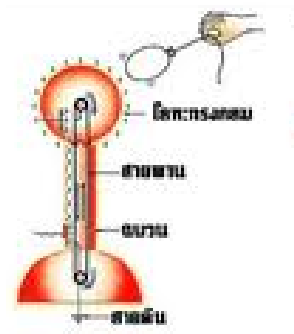
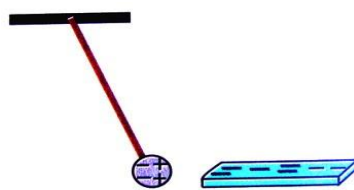
ຮູບ: 1.3 ຄວາມແຮງກະທົບໃສ່ q_3

$$\vec{F} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} \quad 1.4$$

ຊຶ່ງ
$$\vec{F}_{13} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{13}^2}$$

ແລະ
$$\vec{F}_{23} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_3}{r_{23}^2}$$

ໝາຍເຫດ: ການແຈກຢາຍໄຟຟ້າບັນຈຸເທິງໜ້ານອກຂອງວັດຖຸຊັກນຳ. ການແຈກຢາຍໄຟຟ້າບັນຈຸຂຶ້ນກັບຮູບຮ່າງສາຍຊັກນຳ ເພື່ອຄວາມກະຈ່າງແຈ້ງບັນຫານີ້ ເພິ່ນໃຊ້ໃນການທົດລອງຈອກໂລຫະທີ່ໄດ້ຕິດຕັ້ງໄຟຟ້າບັນຈຸແລ້ວ. ທຳ ອິດເອົາໜ່ວຍກົມໄປແຕະກັບດ້ານໃນຂອງຈອກນັ້ນແລ້ວເອົາໜ່ວຍກົມນັ້ນມາແຕະ ໃສ່ເຄື່ອງແທກໄຟຟ້າບັນຈຸເຫັນວ່າເຄື່ອງແທກ (Electroscope) ບໍ່ເໝາະສະແດງວ່າດ້ານໃນຂອງຈອກບໍ່ຖືກຕິດໄຟຟ້າບັນຈຸຮູບ 4. ຫຼັງຈາກນັ້ນ ເອົາໜ່ວຍກົມແຕະດ້ານນອກຂອງຈອກແລ້ວເອົາໄປແຕະເຄື່ອງວັດແທກເຫັນວ່າເຄື່ອງແທກດັ່ງກ່າວມີການໜຶງຕິງ.ສະແດງວ່າດ້ານນອກຂອງຈອກມີໄຟຟ້າບັນຈຸ



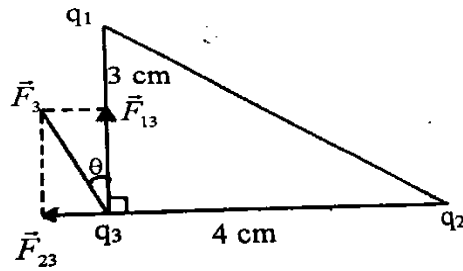
ຮູບ:1.4 ການແຈກຢາຍໄຟຟ້າບັນຈຸເທິງວັດຖຸຊັກນຳ.

ການແຈກຢາຍໄຟຟ້າບັນຈຸເທິງໜ້ານອກຂອງວັດຖຸຊັກນຳສັນຍາລັກດ້ວຍອັກສອນ σ ຊຶ່ງວ່າສຳປະສິດຄວາມໜາແໜ້ນເນື້ອທີ່ໄຟຟ້າບັນຈຸ ແລະ ຄິດໄລ່ດ້ວຍສູດ:

$$\sigma = \frac{|q|}{S} \quad (1.5)$$

ຊຶ່ງ $|q|$ ຄຸນຄ່າຂາດຕົວຂອງໄຟຟ້າບັນຈຸຢູ່ໃນວັດຖຸຊັກນຳ
S ເນື້ອທີ່ໜ້ານອກຂອງວັດຖຸຊັກນຳ

ຕົວຢ່າງ 1. ໄຟຟ້າບັນຈຸ $q_1 = 7 \cdot 10^{-5} \text{ C}$; $q_2 = -4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ ແລະ $q_3 = -5 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ ວາງຢູ່ຈອນຂອງຮູບສາມແຈ, ດັ່ງຮູບ 5 ມີລຳດັບດ້ານລະ 3cm ແລະ 4cm ຈຶ່ງຊອກຫາຂະໜາດແລະທິດຂອງຄວາມແຮງກະທົບໃສ່ໄຟຟ້າບັນຈຸ q_3 .



ຮູບ 5 ຄວາມແຮງກະທົບໃສ່ໄຟຟ້າບັນຈຸທີ່ວາງຢູ່ຈອນຂອງຮູບສາມແຈ.

ບົດແກ້: $\vec{F} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$

ການຊອກຫາຂະໜາດຂອງ F_{13} ເຮົາບໍ່ຈາເປັນຕ້ອງແທ່ນເຄື່ອງໝາຍໄຟຟ້າບັນຈຸໃສ່ສົມຜົນ. ສໍາລັບ F_{23} ກໍ່ເຊັ່ນກັນ.

$$F_{13} = K \frac{q_1 q_3}{r_{13}^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{7 \cdot 10^{-5} \times 4 \cdot 10^{-5}}{(3 \cdot 10^{-2})^2} = 35,10^3 \text{ N}$$

$$F_{23} = K \frac{q_2 q_3}{r_{23}^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-5} \times 5 \cdot 10^{-5}}{(4 \cdot 10^{-2})^2} = 11,2510^3 \text{ N}$$

ຈາກຮູບ 5 ຄວາມແຮງນີ້ກະທົບຕັ້ງສາກຊຶ່ງກັນແລະກັນ. ດັ່ງນັ້ນຂະໜາດຂອງຄວາມແຮງສັງລວມທີ່ກະໃສ່ q_3 ເທົ່າ.

$$F_3 = \sqrt{F_{13}^2 + F_{23}^2} = \sqrt{(35 \cdot 10^3)^2 + (11,25 \cdot 10^3)^2} = 3,7 \cdot 10^4 \text{ N}.$$

ແລະຕາມຮູບມູມ θ ຊອກໄດ້ຈາກ:

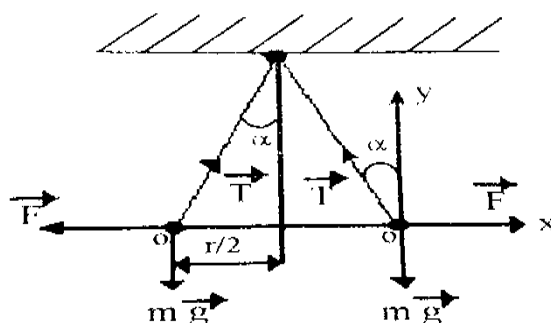
$$\theta = \text{tg}^{-1} \frac{11,25}{35} = 0,32$$

$$\theta = 18^\circ$$

ນັ້ນຄືຄວາມແຮງ F_3 ປະກອບກັບລວງຕັ້ງ 18°

ຕົວຢ່າງ 2. ໜ່ວຍກົມສອງໜ່ວຍມີມວນເທົ່າກັນແລະເທົ່າ $0,2 \text{ g}$ ແຕ່ລະໜ່ວຍຖືກມັດຫ້ອຍດ້ວຍເຊືອກເບົາຍາວ $0,6 \text{ cm}$ ແລະໃຫ້ພວກມັນແປະກັນ. ລັງຈາກນັ້ນພວກມັນຖືຕິດໄຟຟ້າຊະນິດດຽວກັນແລະພວກມັນແຍກຫ່າງອອກຈາກກັນໄລຍະ 5 cm , ຈຶ່ງຊອກຫາຂະໜາດຂອງໄຟຟ້າບັນຈຸແຕ່ລະໜ່ວຍກົມຊຶ່ງພວກມັນຢູ່ໃນແວດລ້ອມທີ່ມີ $\epsilon = 1$

ບົດແກ້:



ຮູບ 6.ຄວາມແຮງກະທົບຫວ່າງໜ່ວຍກົມ.

ແຕ່ລະໜ່ວຍກົມຖືກກະທົບຄວາມແຮງ: $m\vec{g}$ ຄວາມແຮງທ່ວງໜັກ $\vec{T}$ ຄວາມແຮງເຄັ່ງຂອງເຊືອກ $\vec{F}$ ຄວາມແຮງກະທົບໄຟຟ້າ.

ເຮົາຂຽນສົມຜົນຊັງຊາຂອງແຕ່ລະໜ່ວຍກົມຕາມຮູບແບບເວັກເຕີດັ່ງນີ້:

$$m\vec{g} + \vec{T} + \vec{F} = 0$$

ເມື່ອສາຍຕາມແກ້ນ ox ແລະ oy ຈະໄດ້ລະບົບສົມຜົນ:

$$\begin{cases} -T \sin \alpha + F = 0 \\ T \cos \alpha - mg = 0 \end{cases} = \begin{cases} F = T \sin \alpha \\ mg = T \cos \alpha \end{cases}$$

ຈະໄດ້ $F = mgtg\alpha$ ຊຶ່ງ α ມຸມນ້ອຍ, ເມື່ອນັ້ນ $tg\alpha \approx \sin \alpha = \frac{r}{2l}$

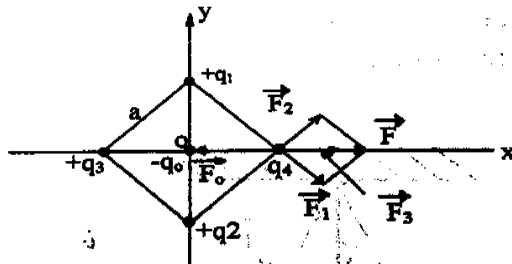
ຕາມກົດເກນກູລົງ $F = \frac{q^2}{(4\pi\epsilon_0\epsilon r^2)}$ ຈາກນັ້ນເຮົາໄດ້: $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} = \frac{mgr}{2l}$

ຖອນໄດ້: $|q| = \sqrt{\frac{2\pi\epsilon_0\epsilon r^3 mg}{l}}$ ແທນຕົວເລກໃສ່ຈະໄດ້:

$$|q| = \sqrt{\frac{2.314.8.85.10^{-12} \cdot (5.10^{-2})^3 \cdot 210^{-4} \cdot 9.8}{0.6}} = 5.2.10^{-9} C$$

ຕອບ: $|q| = 5.2.10^{-9} C$

ຕົວຢ່າງ :1.3. ໄຟຟ້າບັນຈຸ $+q$ ຈຳນວນ 4 ແມັດ ວາງຢູ່ 4 ຈອມຂອງຮູບຈັດຕຸລັດ ມີຂ້າງເທົ່າກັບ a ຖາມວ່າຕ້ອງວາງໄຟຟ້າ ບັນຈຸ $-q$ ມີຂະໜາດເທົ່າໃດວາງໄວ້ເຄິ່ງກາງຮູບຈັດຕຸລັດ ເພື່ອໃຫ້ລະບົບຢູ່ໃນພາວະຊັງຊາ.



ຮູບ 1,7 ຄວາມແຮງກະທົບຂອງລະບົບຢູ່ໃນພາວະຊັງຊາ.

ຄວາມແຮງທີ່ກະທົບໃສ່ q_4 ຫຼືໄຟຟ້າບັນຈຸອື່ນທີ່ມີຂະໜາດເທົ່າກັນເຊັ່ນ: q_4 ຖືກກະທົບຈາກ $\vec{F}_1; \vec{F}_2; \vec{F}_3$ ແລະ $\vec{F}_0$ ເພື່ອໃຫ້ລະບົບຢູ່ໃນພາວະຊັງຊາແມ່ນຜົນບວກເວັກເຕີຂອງຄວາມແຮງດັ່ງກ່າວຈະຕ້ອງເທົ່າສູນ

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_0 = 0 \text{ ລວມລະບົບຄວາມແຮງ } \vec{F}_1, \vec{F}_2 \text{ ແລະ } \vec{F}_3, \text{ ແຕ່ວ່າ } F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

ຕາມກົດເກນກູລົງ:

$$F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{a^2}; F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{a^2}; F_3 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{(\alpha\sqrt{2})^2} = \frac{1 \cdot q^2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon 2a^2}$$

$$F_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{\left(a\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2} = \frac{2qq_0}{4\pi\epsilon_0 \epsilon a^2}$$

$$\text{ນຳໃຊ້ } F_1 \text{ ແລະ } F_2 \text{ ໄດ້ } F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{a^2} \sqrt{2}$$

$$\text{ເຮົາມີ : } F + F_3 + F_0 = 0$$

$$\text{ແທນຄ່າໃສ່ໄດ້ : } \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{a^2} \sqrt{2} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{2a^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2qq_0}{a^2} = 0$$

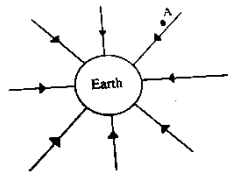
ຈາກນີ້ຊອກໄດ້ q_0 ທີ່ຕ້ອງວາງໄວ້ຢູ່ໃຈກາງຂອງຮູບຈັດຕຸລັດຄື :

$$|q_0| = \frac{q(1+2\sqrt{2})}{4}$$

2. ທົ່ງໄຟຟ້າ

ເພື່ອຄວາມສະດວກໃນການສຶກສາຄວາມແຮງໄຟຟ້າການສຶກສາທົ່ງໄຟຟ້າຄືກັບການສຶກສາທົ່ງດຶງດູດຂອງໜ່ວຍໂລກໃນວິຊາກົນລະສາດ.

ເມື່ອປ່ອຍກ້ອນຫີນໃຫ້ຕົກລົງດ້ວຍແຮມງດຶງດູດຂອງໂລກຄວາມແຮງນີ້ເຮັດໃຫ້ເກີດອັດເລັງ, ຖ້າເຮົາອອກໄປນອກໂລກແຮງດຶງດູດຂອງໜ່ວຍໂລກທີ່ມີຕໍ່ວັດຖຸຈະນ້ອຍລົງ, ເວົ້າໄດ້ວ່າທົ່ງດຶງດູດຂອງໂລກ (earth's gravitational field) ມີຄ່າໜ້ອຍຫຼາຍເມື່ອວັດຖຸຢູ່ໄກຈາກໂລກ, ທົ່ງດຶງດູດມີຢູ່ບໍລິເວນທີ່ມີແຮງດຶງດູດກະທົບຕໍ່ວັດຖຸ ຖ້າທົ່ງດຶງດູດມີຂະໜາດໃຫຍ່ ແຮງດຶງດູດທີ່ມີຕໍ່ວັດຖຸກໍ່ໃຫຍ່.



ຮູບ 1.8 ເສັ້ນຄວາມແຮງທົ່ງດຶງດູດຂອງໂລກ.

ຖ້າເຮົາວາງວັດໄວ້ຢູ່ຈຸດ A ຈະມີຄວາມແຮງກະທົບໃສ່ວັດຖຸທີ່ເຂົ້າຫາໃຈກາງຂອງໜ່ວຍໂລກ, ເສັ້ນຄວາມແຮງແຕ່ລະເສັ້ນສະແດງທີ່ທົດທົງດຶງດູດຂອງໜ່ວຍໂລກ, ນອກຈາກທົດຂອງຄວາມແຮງແລ້ວຍັງເຫັນຂະໜາດຄວາມແຮງ. ຈາກຮູບ 1.8 ຂະໜາດຂອງຄວາມແຮງບໍລິເວນໄກໜ້າໂລກ ຈະໄຫຍ່ກວ່າບໍລິເວນທີ່ໄກອອກໄປຄວາມໜາແໜ້ນເສັ້ນຄວາມແຮງຕໍ່ຫົວໜ່ວຍໜ້າທີ່ໃຫຍ່ກວ່າ.

ທົ່ງໄຟຟ້າຄ້າຍຄືທົ່ງດຶງດູດຂອງໂລກ ສົມມຸດວ່າມີລະບົບໄຟຟ້າບັນຈຸ $q_1, q_2, q_3, \dots$ ຊຶ່ງສະຖິດເມື່ອເອົາໄຟຟ້າບັນຈຸ q_0 (ໄຟຟ້າບັນຈຸທົດສອບ +1 ຫົວໜ່ວຍໄຟຟ້າບັນຈຸທົດສອບ ຊຶ່ງເປັນໄຟຟ້າບັນຈຸທີ່ເກີດຂຶ້ນມີລັກສະນະສະເພາະ ຄືບໍ່ມີແຮງກະທົບຕໍ່ໄຟຟ້າບັນຈຸ ຢູ່ໃກ້ຄຽງ) ເຂົ້າມາຄວາມແຮງກະທົບໃສ່ q_0 ຂຽນໄດ້ :

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n = \sum_{i=1}^n F_i \quad (1.6)$$

$$\text{ຫຼື} \quad \vec{F} = \sum_{i=1}^n \frac{q_0 q_i \vec{r}_i}{4\pi\epsilon_0 r_i^3} \quad (1.7)$$

r_0 ໂດຍໃຫ້ເປັນວັກເຕີລວງຍາວຊຶ່ງຊື່ຈາກ q_0 ໄປຫາ q_i ຄວາມແຮງພົວພັນໂດຍກົງກັບຂະໜາດຂອງ q_0 ເມື່ອຫານສົມຜົນ (1.7) ໃຫ້ q_0 ຈະໄດ້ເວັກເຕີຄວາມເຂັ້ມສັງລວມຂອງທົ່ງໄຟຟ້າຂຽນແທນດ້ວຍ $\vec{E}$ ເອີ້ນວ່າເວັກເຕີຄວາມເຂັ້ມສັງລວມຂອງທົ່ງໄຟຟ້າ (electric field intensity) ຊຶ່ງເກີດຈາກໄຟຟ້າບັນຈຸ $q_1, q_2, \dots$ ແລະ ເອີ້ນ $q_1, q_2, \dots, q$ ເປັນແຫ່ງກຳເນີດຂອງທົ່ງໄຟຟ້າ. ດັ່ງນັ້ນເວັກເຕີຄວາມເຂັ້ມຂອງທົ່ງໄຟຟ້າຂຽນເປັນ :

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i \vec{r}_i}{4\pi\epsilon_0 r_i^3} \quad (1.8)$$

ໂດຍ E ເປັນຫົວໜ່ວຍນິວເຕິນ (N) ຕໍ່ກຸລົງ (C) ແລະ r_i ເວັກເຕີລວງຍາວ ທິດຂອງທັງໄຟຟ້າຢູ່ຈຸດໃດ ຈຸດໜຶ່ງຄືກັບທິດຂອງຄວາມແຮງ ທີ່ກະທົບໃສ່ໄຟຟ້າບັນຈຸທິດສອບບວກທີ່ວາງຢູ່ຈຸດນັ້ນ.

ສົມມຸດວ່າ : ເຮົາວາງໄຟຟ້າບັນຈຸທິດສອບບວກຢູ່ຈຸດ A ໃນຮູບ 1.9ກ. ມັນຈະສົ່ງຄວາມແຮງດຶງອອກຈາກຈຸດ A ດັ່ງລູກສອນ. ຄວາມແຮງກະທົບໃສ່ໄຟຟ້າບັນຈຸທິດສອບບວກ ມີທິດພັ້ງເຂົ້າໃຈກາງບັນຈຸລົບເຮົາເວົ້າໄດ້ວ່າ : ທັງໄຟຟ້າມີທິດພັ້ງເຂົ້າ ດັ່ງນັ້ນທັງໄຟຟ້າຢູ່ບໍລິເວນໄຟຟ້າບັນຈຸລົບ ມີທິດພັ້ງເຂົ້າຕາມລັດສະໝີ ທັງໄຟຟ້າຢູ່ບໍລິເວນໄຟຟ້າບັນຈຸບວກທີ່ພັ້ງອອກ ດັ່ງຮູບ 1.9 ຂ. ໄຟຟ້າບັນຈຸທິດສອບຖືກຍູ້ອອກ.

ເນື່ອງຈາກວ່າ E ຄືຄວາມແຮງ 1N ຕໍ່ໜຶ່ງຫົວໜ່ວຍໄຟຟ້າບັນຈຸ ດັ່ງນັ້ນ ເວົ້າໄດ້ວ່າຄວາມເຂັ້ມທັງໄຟຟ້າ E ຢູ່ຈຸດໃດໜຶ່ງກໍ່ຄືຂະໜາດ ແລະ ທິດຂອງຄວາມແຮງທີ່ກະທົບໃສ່ໄຟຟ້າບັນຈຸ $+1C$ ທີ່ຈຸດນັ້ນ.

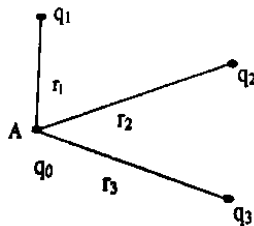


ຮູບ 1.9 ທັງໄຟຟ້າ ຈາກໄຟຟ້າບັນຈຸບວກ ແລະ ໄຟຟ້າບັນຈຸລົບ

ໃນຮູບ 1.10 ມີໄຟຟ້າບັນຈຸປະກອບດ້ວຍ q_1, q_2 ແລະ q_3 ເມື່ອເອົາ q_0 ມາໄວ້ຈຸດ A ແຮງກະທົບໃສ່ໄຟຟ້າບັນຈຸ q_0 ຄື :

$$F = F_1 + F_2 + F_3$$

$$F_1 = \frac{q_0 q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1^2}; F_2 = \frac{q_0 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2^2}; F_3 = \frac{q_0 q_3}{4\pi\epsilon_0 r_3^2}$$



ຮູບ 1.10 ລະບົບໄຟຟ້າບັນຈຸປະກອບດ້ວຍ q_1, q_2 ແລະ q_3

ຄວາມເຂັ້ມຂອງທັງໄຟຟ້າ E ຢູ່ຈຸດ A ຊຶ່ງເກີດຈາກ q_1, q_2 ແລະ q_3 ຄື :

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{q_0} [F_1 + F_2 + F_3]$$

E ທີ່ໄດ້ບໍ່ແມ່ນຄວາມແຮງທີ່ກະທົບໃສ່ໄຟຟ້າບັນຈຸ q_0 ແຕ່ເປັນຄວາມແຮງທີ່ໄຟຟ້າບັນຈຸ 1 ຫົວໜ່ວຍທີ່ຈຸດ A ຈາກສົມຜົນ (1.9) ເວົ້າໄດ້ວ່າເມື່ອມີໄຟຟ້າບັນຈຸຈຳນວນຫຼາຍ (ດັ່ງຮູບ 1.10) ຄວາມເຂັ້ມທັງໄຟຟ້າແມ່ນ ຜົນບວກເວັກເຕີຂອງຄວາມເຂັ້ມທັງໄຟຟ້າເກີດຈາກແຕ່ລະໄຟຟ້າບັນຈຸນັ້ນຄື :

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$

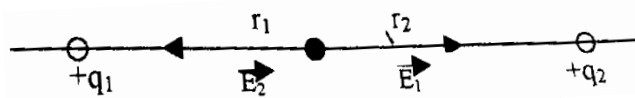
ຂໍ້ສັງເກດ : ຄວາມເຂັ້ມທັງໄຟຟ້າເປັນປະລິມານເວັກເຕີ ດັ່ງນັ້ນ ການແທນຄ່າໄຟຟ້າບັນຈຸ ໃນສົມຜົນ (1.10) ໃຫ້ທ້ອນສະເພາະຄຸນຄ່າຢ່າງດຽວ, ສ່ວນເຄື່ອງໝາຍມີໄວ້ກໍານົດທິດ.

ຂັ້ນຕອນການຊອກຫາຄວາມເຂັ້ມຂອງທັງໄຟຟ້າຈາກໄຟຟ້າບັນຈຸ :

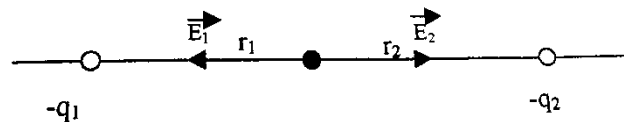
1. ແຕ້ມຮູບະແດງທີ່ຕັ້ງຂອງໄຟຟ້າບັນຈຸ.
2. ແຕ້ມທິດຂອງຄວາມແຮງທີ່ກົດໄຟຟ້າບັນຈຸ $+1C$
3. ຊອກຫາຂະໜາດຂອງສົມຜົນ (1.10) ແລ້ວບວກເວັກເຕີ
4. ໃນກໍລະນີໄຟຟ້າບັນຈຸແຈກຍາຍກັນຢ່າງຕໍ່ເນື່ອງ, ທັງໄຟຟ້າຢູ່ຈຸດໃດໜຶ່ງແມ່ນ :

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r^2} \quad (1.11)$$

5. ຊັງຊາກໄຟຟ້າບັນຈຸບວກເມື່ອ $|q_1| = |q_2|$

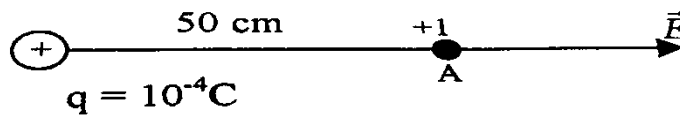


ຈຸດຊັງຊາກໄຟຟ້າບັນຈຸລົບເມື່ອ $|q_1| = |q_2|$



ຕົວຢ່າງ : 1.4 ຈົ່ງຊອກຫາຂະໜາດແລະທິດຂອງຄວາມເຂັ້ມທັງໄຟຟ້າໃນໄລຍະຫ່າງ 50 cm ຈາກໄຟຟ້າບັນຈຸ $10^{-4} C$

ບົດແກ້:



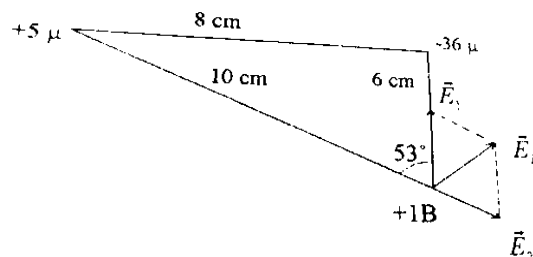
ເອົາໄຟຟ້າບັນຈຸ $+1$ ວາງໄວ້ຈຸ A ຈະໄດ້ E ມີທິດທາງໄປຂວາ.

$$\text{ຈາກ : } E = \frac{kq}{r^2}$$

$$\text{ແທນຄ່າ : } E = \frac{9 \cdot 10^9 \times 10^{-4}}{(0,5)^2} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

ຄວາມແຮງທັງໄຟຟ້າຢູ່ຈຸດຫ່າງ 50 cm ຈະມີຂະໜາດ $3,6 \cdot 10^6 \text{ N/C}$ ມີທິດອອກຈາກໄຟຟ້າບັນຈຸ

ຕົວຢ່າງ : 1.5 ຈົ່ງຊອກຫາຄວາມເຂັ້ມທັງໄຟຟ້າ ຢູ່ຈຸດ B ໃນຮູບ 1.11



ຮູບ 1.11

ບົດແກ້ : ຕ້ອງການຊອກຫາຄວາມເຂັ້ມທັງໄຟຟ້າຢູ່ຈຸດ B ໃຫ້ນຳເອົາໄຟຟ້າບັນຈຸ + 1C ວາງໄວ້ຢູ່ B

ຈາກ : $E = \frac{kq}{r^2}$

$$E_1 = \frac{9 \cdot 10^9 \times 3,6 \cdot 10^{-4}}{(6 \cdot 10^{-2})^2} = 9 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

$$E_2 = \frac{9 \cdot 10^9 \times 5 \cdot 10^{-4}}{(10 \cdot 10^{-2})^2} = 4,5 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_B = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

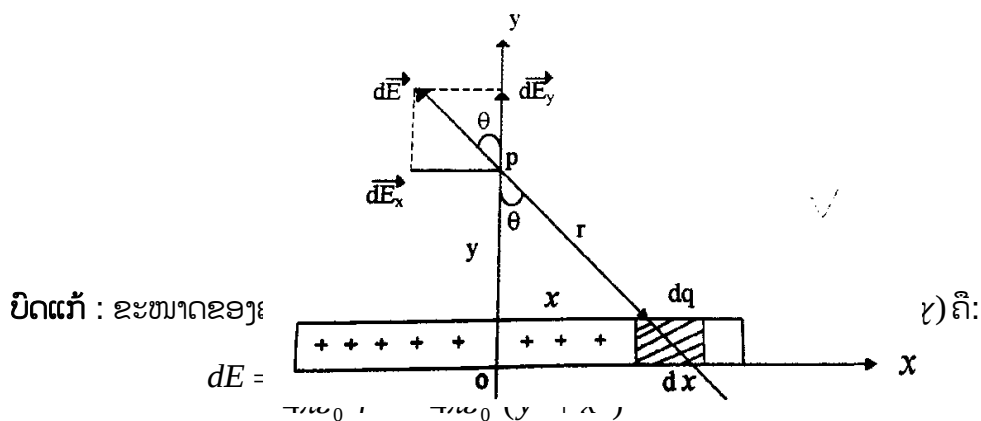
$$\vec{E}_B = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos(180^\circ - 53^\circ)}$$

$$= \sqrt{(9 \cdot 10^6)^2 + (4,5 \cdot 10^6)^2 - 2 \times 9 \cdot 10^6 \times 4,5 \cdot 10^6 \cos 53^\circ}$$

$$= 10^6 \sqrt{81 + 20,25 - 81 \frac{3}{8}} = 10^6 \sqrt{52,65} = 7,6 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

$$E_B = 7,26 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

ຕົວຢ່າງ 1.6 ຈົ່ງຊອກຫາຂະໜາດຄວາມເຂັ້ມທັງໄຟຟ້າ ຢູ່ຈຸດໜຶ່ງ ເຊິ່ງຫ່າງຈາກສາຍຊື່ຍາວ y ແມັດ, ສາຍຊື່ຍາວໄຟຟ້າບັນຈຸ ແຈກຍາຍດ້ວຍຄວາມໜາແໜ້ນຕາມລວງຍາວ $+\lambda(c/m)$



dE ຕາມຮູບ 1.12 ແຍກອອກເປັນທັງຍ່ອຍ ຕາມແກນ x ແລະ y ໄດ້ຄື :

$$\vec{T} ; dE_y = -dE \cos \theta$$

ເຄື່ອງໝາຍລົບດ້ານໜ້າຂອງ dE_x ສະແດງວ່າ dE_x ຊີ້ທິດຕາມ -x ທັງໄຟຟ້າຍ່ອຍຕາມແກນ ox ແລະ ທາງແກນ oy ຂອງ E ຢູ່ຈຸດ P ແມ່ນ :

$$E_x = \int dE_x = -\int_{x=-\infty}^{x=+\infty} \sin \theta dE$$

$$E_y = \int_{x=-\infty}^{x=+\infty} \cos \theta dE$$

E_x ເທົ່າສູນເພາະວ່າ E_x ເກີດມາຈາກໄຟຟ້າທາງເຄິ່ງຊ້າຍ ແລະ ທາງເຄິ່ງຂວາສອງສາຍຊື່ຍາວແມ່ນເທົ່າກັນ ແຕ່ທິດກົງກັນຂ້າມຈຶ່ງລົບລ້າງກັນໝົດ. E ທັງໝົດຈຶ່ງຊີ້ໄປຕາມ +y ຊຶ່ງແມ່ນ E_y ເກດຈາກໄຟຟ້າບັນຈຸທາງເຄິ່ງຊ້າຍ ແລະ ເຄິ່ງຂວາເທົ່າກັນ, ຈຶ່ງຂຽນໄດ້ວ່າ :

$$E = 2E_y = 2 \int_{x=0}^{x=+\infty} \cos \theta dE$$

ເມື່ອແທນຄ່າ dE ຈະໄດ້ :

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \int_{x=0}^{x=+\infty} \cos \theta \frac{dx}{(y^2 + x^2)}$$

ສົມຜົນຂ້າງເທິງມີຕົວປ່ຽນສອງຕົວປ່ຽນຄື θ ແລະ x ເຮົາເຮັດໃຫ້ເຫຼືອຕົວດຽວຄື θ ຕາມຮູບ 1.12

$$x = y \tan \theta; dx = y \sec^2 \theta d\theta = \frac{y d\theta}{\cos^2 \theta}$$

$$\frac{y^2}{x^2 + y^2} = \frac{y^2}{r^2} = \cos^2 \theta$$

ເມື່ອແທນໃສ່ສົມຜົນເທິງຈະໄດ້ :

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \cos \theta d\theta$$

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 y} \int_{\theta=0}^{\theta=\frac{\pi}{2}} \cos \theta d\theta = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 y} \sin \theta \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 y}$$

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 y} \text{ v/m}$$

ຕົວຢ່າງ 1.7 ໜ່ວຍກົມນ້ອຍມີນ້ຳໜັກ $5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$ ເອົາເຊືອກເສັ້ນແລບງຽບ 5 cm ເມື່ອໜ່ວຍກົມມີໄຟຟ້າບັນຈຸ $6 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ ຖືກກະທົບຈາກທົ່ງໄຟຟ້າຕາມທິດນອນເຮັດໃຫ້ໜ່ວຍກົມນ້ອຍປະກອບທິດຕັ້ງເປັນມຸມ 30° ຈົ່ງຊອກຫາທົ່ງໄຟຟ້ານັ້ນ

ບົດແກ້:

ໜ່ວຍກົມຢູ່ໃນພາວະຊັ່ງຊາ

$$T \sin 30^\circ = F = q \cdot E \quad (1)$$

$$T \cos 30^\circ = p = mg \quad (2)$$

$$\text{ເອົາສົມ } \frac{1}{2} \text{ ຈະໄດ້ } \tan 30^\circ = \frac{qE}{p} \text{ ດັ່ງນັ້ນຈະໄດ້}$$

$$E = \frac{p \tan 30^\circ}{q} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\sqrt{3}}}{6 \cdot 10^{-9}}$$

$$\Rightarrow E = 4,8 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

3 .ກົດເກນຂອງ ເກົາສ (Gauss's law)

ກົດເກນຂອງເກົາສ ເຊິ່ງໃຊ້ກັບໜ້າປິດເຊິ່ງເອີ້ນວ່າໜ້າເກົາຊຽນ (Gaussian surface) ແມ່ນເວົ້າເຖິງການພົວພັນລະຫວ່າງຄວາມໄຫຼໄຟຟ້າ Φ ສຳລັບໜ້າປິດແຈບຢູ່ໃນຫວ່າງເປົ່າກັບໄຟຟ້າບັນຈຸ q ທີ່ຄົງຕົວຢູ່ໃນໜ້າປິດນັ້ນ :

$$\epsilon_0 \Phi = q \quad (1.14)$$

ເມື່ອໃຊ້ສົມຜົນ (1.112) ຈະຂຽນໄດ້ວ່າ :

$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q \quad (1.15)$$

ໄຟຟ້າບັນຈຸ q ເປັນຜົນບວກພຶດຊະຄະນິດຂອງໄຟຟ້າບັນຈຸທັງໝົດທີ່ມີຢູ່ໃນໜ້າປິດແຈບ ຖ້າໃນໜ້າປິດແຈບນັ້ນມີໄຟຟ້າບັນຈຸຄູ່ໜຶ່ງເທົ່າກັນແຕ່ຕ່າງຊະນິດຄວາມໄຫຼກໍ່ເທົ່າກັບສູດ ແລະ ໄຟຟ້າບັນຈຸທີ່ຢູ່ນອກໜ້າຈະບໍ່ມີຜົນສະທ້ອນໄດ້ກັບ q

ໜ້າປິດແຈບທີ່ໃຊ້ກັບກົດເກນເກົາສ ບໍ່ຈຳເປັນໜ້າກົງຈະເປັນຮູບຮ່າງແນວໃດກໍ່ໄດ້

ຈາກກົດເກນຂອງເກົາສ ສາມາດຊ່ອຍຫາຄວາມເຂັ້ມທັງໄຟຟ້າຢູ່ຈຸດໃດໜຶ່ງ ເຊິ່ງຫ່າງຈາກ q ໃນໄລຍະ r ເຮົາສ້າງໜ້າເກົາຊຽນເປັນໜ່ວຍກົມ ລັດສະໝີ r ອ້ອມຮອບໄຟຟ້າບັນຈຸ q . $\vec{E}$ ຢູ່ໜ້າຂອງໜ່ວຍກົມຕັ້ງສາກກັບໜ້າເກົາຊຽນຮູບ 1.16 ແລະມີຂະໜາດເທົ່າກັນ

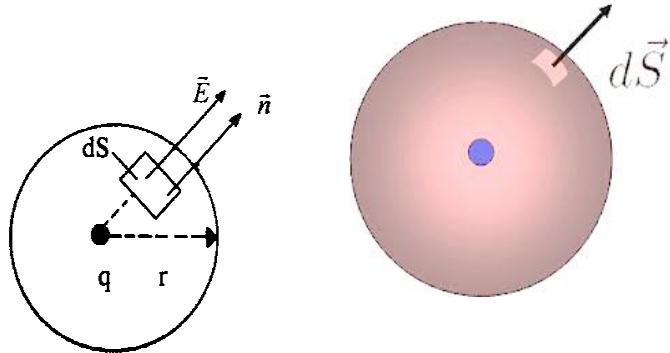
ເມື່ອມຸມລະຫວ່າງ $\vec{E}$ ແລະ $\vec{n}$ ເທົ່າກັບສູນຫຼື $\vec{E} \equiv \vec{n}$ ຈຶ່ງຂຽນໄດ້ :

$$\epsilon_0 E \oint ds = q$$

ແຕ່ວ່າ : $ds = 4\pi r^2$ ດັ່ງນັ້ນ :

$$\epsilon_0 E (4\pi r^2) = q$$

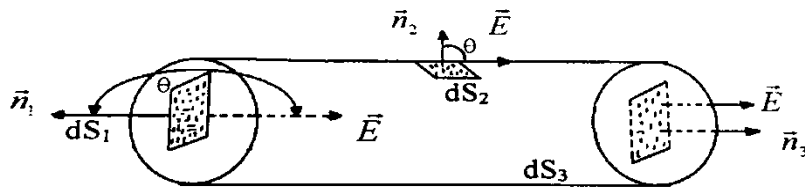
$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$



ຮູບ 1.16 ໜ້າເກົາຊຽນກົມລັດສະໝີ r ໃນຫວ່າງເປົ່າມີໄຟຟ້າບັນຈຸ q ຢູ່ຈຸດໃຈກາງ

ກົດຈຳປະຈຳບົດ

ຕົວຢ່າງ : 1.7 ໜ້າຮູບທໍ່ກົມ ລັດສະໝີ R ຖືກວາງຢູ່ໃນທັງໄຟຟ້າສະໜ້າສະເໝີ $\vec{E}$ ແກ່ນຂອງທໍ່ກົມຂະໜານກັບທິດຂອງ $\vec{E}$ ຈຶ່ງຊອກຫາ Φ ສຳລັບໜ້າບົດແຈບນີ້



ຮູບ 1.17 ໜ້າຮູບທໍ່ກົມຢູ່ໃນທັງໄຟຟ້າ E ເຊິ່ງມີທິດຂະໜານກັບທໍ່ກົມ

ບົດແກ້ : ຄວາມໄຫລ Φ ສາມາດຂຽນຕາມຜົນບວກຂອງ 3 ມິຕິຄື : ສັງຄະນິດຢູ່ສິ້ນດ້ານຊ້າຍ ດ້ານຂ້າງ ແລະ ດ້ານຂວາ :

$$\begin{aligned}\Phi &= \oint \vec{E} \cdot \vec{n} dS \\ &= \int \vec{E} \cdot \vec{n}_1 dS_1 + \int \vec{E} \cdot \vec{n}_2 dS_2 + \int \vec{E} \cdot \vec{n}_3 dS_3\end{aligned}$$

ສຳລັບສິ້ນດ້ານຊ້າຍ ມຸມ $\theta = 180^\circ$ $\vec{E}$ ຊະໜານກັບ $\vec{n}_1$ ແຕ່ທິດກົງກັນຂ້າມດັ່ງນັ້ນ :

$$\int \vec{E} \cdot \vec{n}_1 dS_1 = \int \vec{E} \cos 180^\circ dS = -E \int dS = -\pi R^2 E$$

ທ່ານອງດຽວກັນສຳລັບດ້ານຂວາ $\theta = 0$

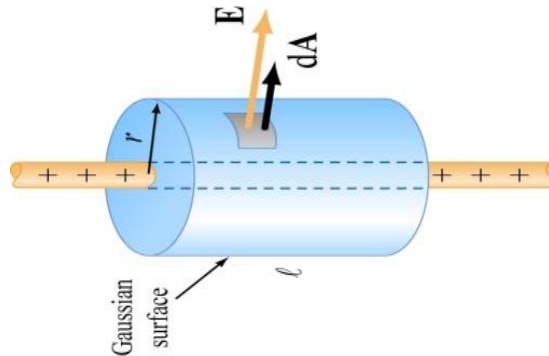
$$\int \vec{E} \cdot \vec{n}_3 dS_3 = +\pi R^2 E$$

ດ້ານຂ້າງ $\theta = 90^\circ$ ຈະໄດ້ : $\int \vec{E} \cdot \vec{n}_2 dS_2 = 0$

ດັ່ງນັ້ນ : $\Phi = -\pi R^2 E + 0 + \pi R^2 E = 0$

$$\Phi = 0$$

ຕົວຢ່າງ 1.8 ຮູບ 1.18 ສະແດງສ່ວນໜຶ່ງຂອງສາຍໂລຫະຍາວບໍ່ມີຂອບເຂດ, ມີໄຟຟ້າບັນຈຸແຈກຢາຍສະໝໍສະໝີ ຢູ່ເທິງສາຍໂລຫະເທົ່າກັບ λ ຕໍ່ຫົວໜ່ວຍລວງຍາວ. ຈົ່ງຊອກຫາຂະໜາດຄວາມເຂັ້ມທັງໄຟຟ້າຢູ່ຈຸດໜຶ່ງ ເຊິ່ງຫ່າງ ຈາກສາຍໂລຫະ r



ຮູບ 1.18 ສາຍໂລຫະບໍ່ມີຂອບເຂດ ແລະ ມີໄຟຟ້າບັນຈຸ λ ຕໍ່ຫົວໜ່ວຍລວງຍາວ

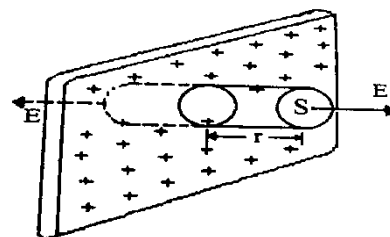
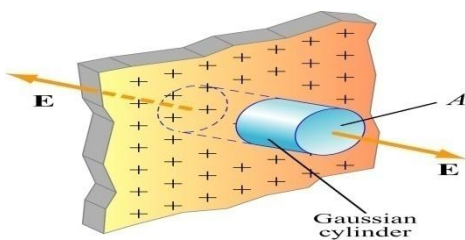
ບັນຈຸ λ ຕໍ່ຫົວໜ່ວຍລວງຍາວ.

ບົດແກ້ : ສ້າງໜ້າເກົາສຽນຂອງທໍ່ກົມທີ່ມີລວງຍາວ L ມີລັດສະໝີ r ອ້ອມຮອບສາຍໂລຫະໂດຍໃຫ້ມີ ສາຍໂລຫະເປັນແກ່ນຂອງຮູບທໍ່ກົມ, ຄວາມໄຫຼຂອງ $\vec{E}$ ສໍາລັບໜ້ານີ້ຄື: $E = (2\pi L)$, ຊຶ່ງ $2\pi L$. ແມ່ນເນື້ອມີ ອ້ອມຂ້າງຂອງທໍ່ກົມເນື້ອທີ່ໜ້າຕັດຂອງຮູບທໍ່ກົມບໍ່ມີຄວາມໄຫຼຜ່ານເພາະວ່າ $\vec{E}$ ຂະໜານກັບໜ້າຕັດ, ໄຟຟ້າບັນຈຸຢູ່ ໜ້າເກົາສຽນເທົ່າ λL ຈາກກົດເກນຂອງເກົາສ.

$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$$

ຖອນໄດ້ dE_x

ຕົວຢ່າງ 1.9 ຮູບ 1.19 ໄດ້ສະແດງສ່ວນໜຶ່ງຂອງແຜ່ນບາງກວ້າງບໍ່ມີຂອບເຂດຕິດໄຟຟ້າບັນຈຸ, ຄວາມໜາແໜ້ນ ໄຟຟ້າບັນຈຸຕໍ່ເນື້ອທີ່ເທົ່າ $\sigma (C/m^2)$ ແລະ ແຈກຢາຍສະໝໍສະໝີຢູ່ທົ່ວແຜ່ນ. ຈົ່ງຊອກຫາຂະໜາດຂອງ E ຢູ່ ໃນໄລຍະ r ຈາກທາງດ້ານໜ້າຂອງແຜ່ນບາງນີ້ :



ຮູບ 1.19 ແຜ່ນບາງກວ້າງບໍ່ມີຂອບເຂດຕິດໄຟຟ້າບັນຈຸ

ບົດແກ້ : ສ້າງໜ້າເກົາສຽນຮູບທໍ່ກົມຍາວ r ເນື້ອທີ່ໜ້າຕັດ S ຕາມຮູບ 1.19 ຄວາມໄຫຼຂອງ $\vec{E}$ ຜ່ານ ດ້ານຂ້າງທໍ່ກົມບໍ່ມີ, ຈະມີແຕ່ຜ່ານທັງສອງສິ້ນຄືດ້ານໜ້າ ແລະ ຫຼັງເທົ່າກັນ $ES + ES$ ໄຟຟ້າບັນຈຸຢູ່ທີ່ໜ້າ ເກົາສຽນເທົ່າ σS

ຕາມກົດເກນຂອງເກົາສ :

$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$$

$$\epsilon_0 (ES + ES) = \sigma S$$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

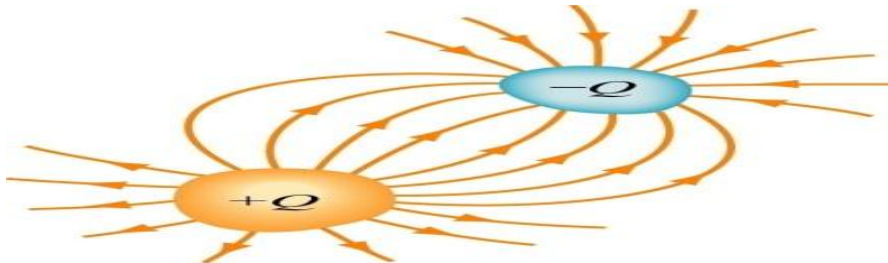
ຫຼື

ເຫັນວ່າ $\vec{E}$ ເທົ່າກັນໃນທຸກໆຈຸດໃນແຕ່ລະດ້ານ ຂອງແຜ່ນບາງບໍ່ຂຶ້ນກັບ r

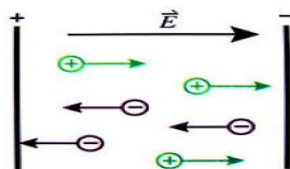
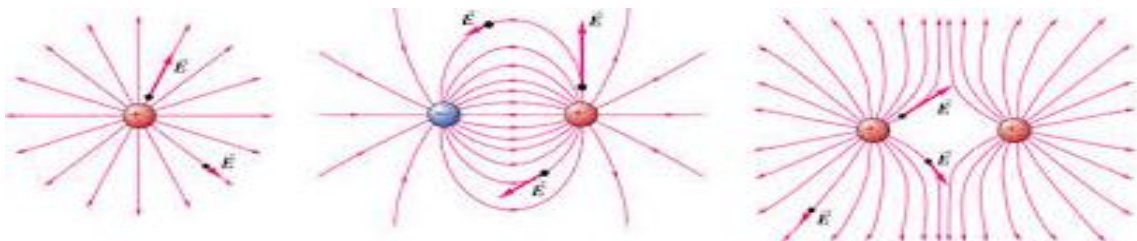
4. ເສັ້ນຄວາມແຮງ ແລະ ຄວາມໄຫຼໄຟຟ້າ

ກ. ເສັ້ນຄວາມແຮງຂອງທົ່ງ

ທົ່ງໄຟຟ້າເປັນທົ່ງເວັກເຕີ, ໝາຍຄວາມວ່າແຕ່ລະຈຸດໃນທົ່ງໄຟຟ້າຕ້ອງມີຂະໜາດທິດແລະລວງທີ່ແນ່ນອນ ລວງຂອງທົ່ງໄຟຟ້າຈຸດຕ່າງໆຕໍ່ກັນເປັນເສັ້ນຊື່ເອີ້ນວ່າເສັ້ນຄວາມແຮງໄຟຟ້າ (Electric line of force) ຖ້າແມ່ນ ເວັກເຕີທົ່ງໄຟຟ້າຈຸດໃດໜຶ່ງໃນກາງຫາວ ຮູບດັ່ງກ່າວຈະແຂ້ງຂຶ້ນຖ້າເຮົາແຕ້ມເສັ້ນຕໍ່ເນື່ອງຕິດກັນແຕ່ລະຈຸດ ແລະ ເຕັງກັບເວັກເຕີຄວາມເຂັ້ມທົ່ງໄຟຟ້າ ແລະ ເສັ້ນຄວາມແຮງນີ້ເປັນເສັ້ນສົມມຸດຂຶ້ນ, ໂດຍທີ່ເສັ້ນຈຳນວນຄວາມແຮງ



ຕໍ່ເນື່ອງທີ່ໜ້າຕັດຢູ່ທີ່ຕັ້ງໃດໜຶ່ງ ກໍ່ ຄືຄວາມໜາແໜ້ນຂອງທົ່ງໄຟຟ້າ E ຢູ່ຈຸດນັ້ນ. ຈາກການທົດລອງພົບວ່າ : ເສັ້ນຄວາມແຮງທົ່ງໄຟຟ້າບໍ່ອັດແຈບ ພວກມັນອອກຈາກໄຟຟ້າບັນຈຸບວກ ແລະ ພຸ່ງເຂົ້າຫາໄຟຟ້າບັນຈຸລົບ⁽¹⁾ ຕໍ່ ເນື່ອງ ແລະ ບໍ່ມີຕັດກັນ.



5ຮູບ 1.14 ບາງຮູບຮ່າງຂອງເສັ້ນຄວາມແຮງທົ່ງໄຟຟ້າ

- ກ. ເສັ້ນຄວາມແຮງທົ່ງໄຟຟ້າ ຂອງເມັດໄຟຟ້າບັນຈຸບວກ
- ຂ. ເສັ້ນຄວາມແຮງທົ່ງໄຟຟ້າ ຂອງສອງເມັດໄຟຟ້າບັນຈຸຊະນິດຕ່າງກັນ
- ຄ. ເສັ້ນຄວາມແຮງທົ່ງໄຟຟ້າ ຂອງສອງເມັດໄຟຟ້າບັນຈຸຊະນິດດຽວກັນ

ງ. ເສັ້ນຄວາມແຮງທົ່ງໄຟຟ້າ ສອງແຜ່ນຕິດໄຟຟ້າບັນຈຸຊະນິດຕ່າງກັນ

⁽¹⁾ ເສັ້ນຄວາມແຮງແຕ້ມໃນຮູບ 1.14 ກ. ສິ້ນສຸດຢູ່ໄຟຟ້າບັນຈຸລົບເຊິ່ງວາງຢູ່ໄກ

ຂ. ຄວາມໄຫຼທົ່ງໄຟຟ້າ.

ຖ້າສົມມຸດວ່າມີໜ້າເປີດຫຼືໜ້າປິດກໍ່ໄດ້ຢູ່ທົ່ງໄຟຟ້າຈຳນວນເສັ້ນຄວາມແຮງທີ່ຜ່ານໜ້າເສັ້ນນັ້ນຮຽກວ່າຄວາມໄຫຼໄຟຟ້າ (flux) ຂຽນແທນດ້ວຍສັນຍາລັກ Φ

ຖ້າສົມມຸດວ່າມີໜ້າເປີດຮູບຮ່າງຄົບອນລົບ (ຍົນທັງ) ຢູ່ໃນທົ່ງໄຟຟ້າ ແລະ ມີເສັ້ນຄວາມແຮງທົ່ງໄຟຟ້າຜ່ານດັ່ງຮູບ 1.15 ກ. ເມື່ອແບ່ງເນື້ອທີ່ໜ້າອອກເປັນຮູບນ້ອຍໆ ດັ່ງຮູບ 1.15 ຂ. ຖືໄດ້ວ່າເນື້ອທີ່ໜ້າຂອງແຕ່ລະສ່ວນພຽງ ແລະ ມີຄວາມເຂັ້ມທົ່ງໄຟຟ້າແຈກຍາຍສະໜ້າສະເໝີ ເນື້ອທີ່ສ່ວນນ້ອຍໆມີເວັກເຕີຕັ້ງສາກກັບເນື້ອທີ່ ແລະ ມີທິດຊື່ອກຮູບ 1.15 ຄ. ສົມມຸດວ່າ ΔS ແມ່ນເນື້ອທີ່ສ່ວນນ້ອຍ ແລະ E ຄວາມເຂັ້ມທົ່ງໄຟຟ້າໃນເນື້ອທີ່ນັ້ນ ຜົນຄູນບໍ່ມີທິດ $\vec{E} \cdot \vec{n} \Delta S$ ແມ່ນຄວາມໄຫຼທີ່ຜ່ານເນື້ອທີ່ ນ້ອຍໆ ΔS ຊຶ່ງ $\vec{n}$ ແມ່ນວັກເຕີຕັ້ງສາກກັບ ΔS ເມື່ອສັງລວມຄວາມໄຫຼຜ່ານເນື້ອທີ່ທຸກໆສ່ວນເຂົ້າກັນແລ້ວໄດ້ຄວາມໄຫຼທີ່ຜ່ານໜ້າປິດທັງໝົດນັ້ນ.

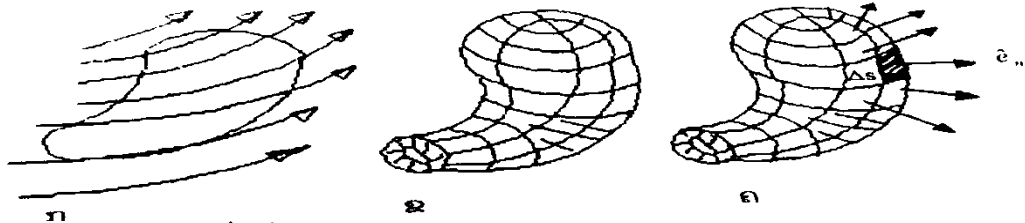
$$\Phi = \sum \vec{E} \cdot \vec{n} \Delta S \quad (1.12)$$

ຮູບຮ່າງສັງຄະນິດຂຽນໄດ້ :

$$\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad (1.13)$$

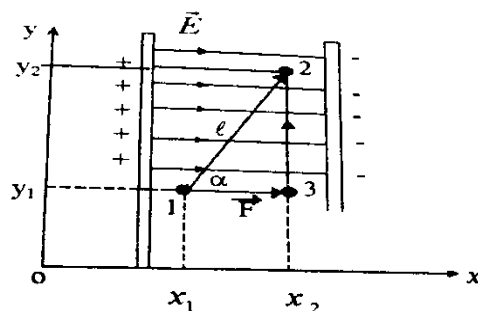
ເມື່ອ $\oint$ ເປັນສັງຄະນິດອັດແຈບໜ້າປິດທັງໝົດ

ຫົວໜ່ວຍຂອງ Φ ຕາມສົມຜົນ (1.13) ແມ່ນນິວເຕີນກຳລັງສອງຕໍ່ກຸລົງ ຫຼື ເວແບ [Weber (Wb)]



5. ແຮງງານ ຂອງລະບົບເມັດໄຟຟ້າບັນຈຸ

ໄຟຟ້າບັນຈຸ q_0 ຢູ່ທົ່ງໄຟຟ້າສະໜ້າສະເໝີ ມີຄວາມເຂັ້ມເທົ່າ E ຖືກກະທົບດ້ວຍຄວາມແຮງ $\vec{F} = q_0 \vec{E}$ ເມື່ອ ຕ້ອງການເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸນີ້ ຈາກຈຸກ 1 ຫາຈຸກ 2 ຮູບ 1.20 ຈະຕ້ອງໃຊ້ແຮງງານ.



ຮູບ 1.20 ການເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸ q_0 ໃນທົ່ງໄຟຟ້າ $\vec{E}$

ໄຟຟ້າບັນຈຸ q_0 ຢູ່ທົ່ງໄຟຟ້າສະໜ້າສະເໝີ ມີຄວາມເຂັ້ມເທົ່າ E ຖືກກະທົບດ້ວຍຄວາມແຮງ $\vec{F} = q_0 \vec{E}$ ເມື່ອຕ້ອງການເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸນີ້ ຈາກຈຸກ 1 ຫາຈຸກ 2 ຮູບ 1.20 ຈະຕ້ອງໃຊ້ແຮງງານ.

$$W = q_0 E(x_2 - x_1) \quad (1.18)$$

ຖ້າໄຟຟ້າບັນຈຸເຄື່ອນຍ້າຍຈາກຈຸດ 1 ໄປຫາຈຸດ 3 ແລ້ວຈຶ່ງເຄື່ອນຍ້າຍໄປຫາຈຸດ 2, ເມື່ອນັ້ນໜ່ວຍງານຕ້ອງໃຊ້ກໍລະນີນີ້ ແມ່ນຜົນບວກແຮງງານຕາມຕອນໄລຍະທາງ $x_2 - x_1$ ແລະ $y_2 - y_1$ ຈະໄດ້ :

$$W = W_x + W_y = F(x_2 - x_1) + F(y_2 - y_1) \cos 90^\circ \quad (1.18)$$

$$W = F(x_2 - x_1) = q_0 E(x_2 - x_1)$$

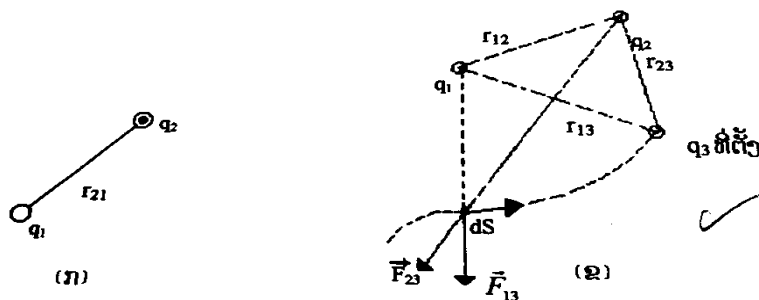
ແຮງງານຂອງຄວາມແຮງທົ່ງໄຟຟ້າສະໜ້າສະເໝີ ເມື່ອເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າລະຫວ່າງສອງຈຸດຕາມໃຈ ບໍ່ຂຶ້ນກັບຮູບຮ່າງເສັ້ນໂຄຈອນ, ແຕ່ຂຶ້ນກັບທີ່ຕັ້ງທຳອິດ ແລະ ທີ່ຕັ້ງສຸດທ້າຍ ແລະ ຍັງຂຶ້ນກັບຂະໜາດໄຟຟ້າບັນຈຸ ແລະ ຄວາມເຂັ້ມທົ່ງໄຟຟ້ານັ້ນ

ຖ້າມີໄຟຟ້າບັນຈຸຫຼາຍເມັດ, ແຮງງານທີ່ມີຄວາມແຮງພາຍນອກກະທົບ ເພື່ອເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸທັງໝົດເຂົ້າມາຢູ່ໄກ້ກັນເຊັ່ນ : ຕ້ອງການເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸ q_1, q_2 ແລະ q_3 ເຂົ້າມາໄກ້ກັນ, ດັ່ງຮູບ 1.21 ເບື້ອງຕົ້ນແຮງງານຕ້ອງການເຄື່ອນຍ້າຍ q_2 ຈາກອະສົງໄຂມາຫາ q_1 ເຊິ່ງໄກຫ່າງຈາກມັນເທົ່າ r_{21} ເທົ່າກັບ :

$$W_2 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_{21}} \quad (1.19)$$

ຕໍ່ມາເອົາ q_3 ຈາກອະສົງໄຂມາໄວ້ ທີ່ສະແດງໃນຮູບ 1.21 ຂ. ແຮງງານທີ່ໃຊ້ເທົ່າ :

$$W_3 = \int_{\infty}^{r_3} F_3 dr \quad (1.20)$$



ຮູບ 1.21 (ກ) ເມື່ອເອົາ q_2 ເຂົ້າໃກ້ q_1

(ຂ) ເມື່ອເອົາ q_3 ເຂົ້າມາໃກ້ q_1 ແລະ q_2

ເນື່ອງຈາກວ່າ $\vec{F}_3$ ເທົ່າກັບຜົນບວກຂອງ $\vec{F}_{31} + \vec{F}_{32}$

$$\int \vec{F}_3 dS = \int (\vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}) dr$$

ດັ່ງນັ້ນ

$$W = \int_0^{r_{13}} \vec{F}_{13} d\vec{r} + \int_{\infty}^{r_{23}} \vec{F}_{23} d\vec{r}$$

$$W_3 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_{13}} + \frac{q_1 q_3}{4\pi\epsilon_0 r_{23}}$$

ແຮງງານທັງໝົດທີ່ເຮັດໃຫ້ໄຟຟ້າບັນຈຸທັງສາມເຄື່ອນທີ່ເຂົ້າມາໃກ້ກັນເປັນລະບົບໄຟຟ້າບັນຈຸຕາມຮູບ 1.21 ຂ. ເຊິ່ງເອີ້ນວ່າພະລັງງານ E_p

$$W_p = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{4\pi\epsilon_0 r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{4\pi\epsilon_0 r_{23}} \quad (1.22)$$

ຖ້າເຄື່ອນຍ້າຍ q_3 ມາກ່ອນແລ້ວຈຶ່ງເຄື່ອນຍ້າຍ q_2 ແລະ q_1 ມາຕາມລຳດັບກໍ່ຕ້ອງເສຍແຮງງານເທົ່າກັນມັນ ບໍ່ຂຶ້ນກັບລະດັບຂອງການເຄື່ອນຍ້າຍແລະບໍ່ຂຶ້ນກັບເສັ້ນທາງເດີນ E_p ເປັນພະລັງງານທຳຕັ້ງຂອງລະບົບໄຟຟ້າບັນຈຸ (*Electric potential energy*)

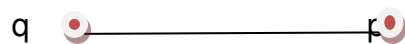
6. ລະດັບໄຟຟ້າ (electric potential)

ເມື່ອໄຟຟ້າບັນຈຸທົດສອບ q_0 ເຄື່ອນຍ້າຍເຂົ້າຫາຈຸດໃດໜຶ່ງໃນທົ່ງໄຟຟ້າຕ້ອງໃຊ້ແຮງງານຂອງຄວາມແຮງ ນອກເທົ່າກັບ W ລະດັບໄຟຟ້າຢູ່ຈຸດນັ້ນເທົ່າກັບ :

$$V = \frac{W}{q_0}$$

ຖ້າຈຸດ P ຫ່າງຈາກໄຟຟ້າບັນຈຸ q ໄລຍະ r (ດັ່ງຮູບ 1.22) ສົມຜົນ (1.19) ແຮງງານທີ່ໃຊ້ໃນການເຄື່ອນຍ້າຍ q_0 ມາຫາຈຸດ p ເທົ່າ :

$$V = \frac{1}{q_0} \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r} \quad \text{ຫຼື} \quad \Phi = \int \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad (1.24)$$



ຮູບ 1.22 ລະດັບໄຟຟ້າຂອງໄຟຟ້າບັນຈຸ q

ລະດັບໄຟຟ້າຂອງທົ່ງໄຟຟ້າສະຖິດ ຢູ່ຈຸດໄຫຼໜຶ່ງແມ່ນປະລິມານບໍ່ມີທິດ ເຊິ່ງຂະໜາດເທົ່າກັບອັດຕາສ່ວນ ພະລັງງານທຳຕັ້ງຂອງເມັດໄຟຟ້າບັນຈຸບວກທີ່ເຄື່ອນຍ້າຍເຂົ້າຫາຈຸດໃດໜຶ່ງໃນທົ່ງນີ້ຕໍ່ໄປໃນໄຟຟ້າບັນຈຸດັ່ງກ່າວ

ຫົວໜ່ວຍຂອງລະດັບໄຟຟ້າ ຢູນຕໍ່ກູລົງ (J/C) ເອີ້ນວ່າ ໂວນ (volt) ເພື່ອຕັ້ງເປັນກຽດແດ່ ອາເລສຊານ ໂດຣ ໂວນຕາ (Alessandro volta) ນັກວິທະຍາສາດ ອິຕາລີ ນອກນີ້ຍັງມີ ອຸປະຄຸນ ແລະ ທະວີຄຸນຄື :

$$\text{ອຸປະຄຸນ} \quad 1mV \text{ (ມິລິໂວນ) } = 10^{-3}V$$

$$1\mu V \text{ (ມິໂຄຣໂວນ) } = 10^{-6}V$$

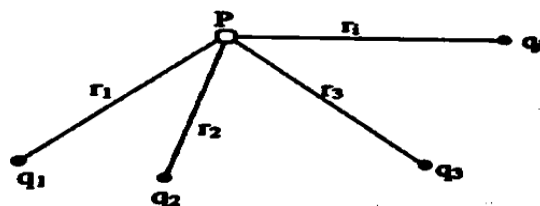
$$\text{ທະວີຄຸນ} \quad 1kV \text{ (ກິໂລໂວນ) } = 10^3V$$

$$1MV \text{ (ເມກາໂວນ) } = 10^6V$$

ໃນກໍລະນີທີ່ມີໄຟຟ້າບັນຈຸຫຼາຍເມັດ ຮູບ 1.23 ລະດັບໄຟຟ້າຈຸດໜຶ່ງເທົ່າກັບຜົນບວກຂອງລະດັບໄຟຟ້າທີ່ ສ້າງຂຶ້ນຈາກໄຟຟ້າບັນຈຸຕ່າງໆຢູ່ຈຸດດັ່ງກ່າວຊຶ່ງຂຽນໄດ້ດັ່ງນີ້ :

$$V = \sum_{i=1}^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i} \quad (1.25)$$

ຊຶ່ງ r_i ເປັນໄລຍະຫ່າງຈາກໄຟຟ້າບັນຈຸ q_i ຫາ P



ຮູບ 1.23 ລະດັບໄຟຟ້າຢູ່ຈຸດ P ທີ່ເກີດຈາກລະບົບເມັດໄຟຟ້າ

ຖ້າລະບົບເມັດໄຟຟ້າບັນຈຸຈະຈາຍກັນຢູ່ຢ່າງຕໍ່ເນື່ອງ ສົມຜົນ 1.25 ຂຽນໄດ້ດັ່ງນີ້ :

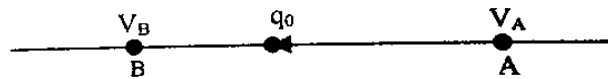
$$V = \int dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r}$$

ຊຶ່ງ dq ແມ່ນໄຟຟ້າບັນຈຸທີ່ຖືກແບ່ງໃຫ້ເປັນພາກສ່ວນ, r -ໄລຍະຫ່າງຈາກໄຟຟ້າບັນຈຸນີ້ເຖິງຈຸດ P ທີ່ຕ້ອງຫາລະດັບໄຟຟ້າ dV - ລະດັບໄຟຟ້າທີ່ເກີດຈາກ dq . ຜົນລົບລະດັບໄຟຟ້າ (potential difference)

ຖ້າສຶກສາການເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸຂອງທັງໄຟຟ້າຢູ່ຈຸດໃນທັງໄຟຟ້າຄື : ເຄື່ອນຍ້າຍ q_0 ຈາກ A ຫາ B ຕ້ອງໃຊ້ແຮງງານ W_{AB} ຜົນລົບລະດັບໄຟຟ້າລະຫວ່າງສອງຈຸດ AB ດັ່ງກ່າວນັ້ນ :

$$U_{AB} = V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} \quad (1.27)$$

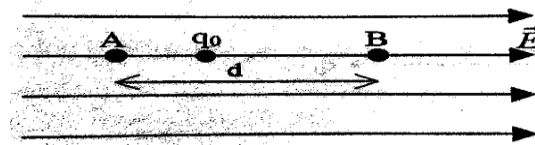
ຜົນລົບລະດັບໄຟຟ້າ ລະຫວ່າງສອງຈຸດຂອງທັງໄຟຟ້າແມ່ນປະລິມານບໍ່ມີທິດ ຊຶ່ງຂະໜາດເທົ່າກັບອັດຕາສ່ວນແຮງງານຂອງໄຟຟ້າ ເພື່ອເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸທິດສອບ q_0 ຈາກຈຸດເລີ່ມຕົ້ນຫາຈຸດສຸດທ້າຍຕໍ່ຂະໜາດຂອງໄຟຟ້າບັນຈຸນັ້ນເອງເບິ່ງຮູບ 1.24



ຮູບ 1.24 ຜົນລົບລະດັບໄຟຟ້າລະຫວ່າງສອງຈຸດ A ຫາ B

7.ການພົວພັນລະຫວ່າງລະດັບໄຟຟ້າ ແລະ ຄວາມເຂັ້ມທັງໄຟຟ້າ.

ເມື່ອເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸ q_0 ຈາກ A ໄປຫາ B ຊຶ່ງ A ແລະ B ຫ່າງກັນໄລຍະ d ໃນທັງໄຟຟ້າສະໜ້າສະເໝີ ທີ່ມີຈຸດ A ແລະ B ເບິ່ງຮູບ 1.25



ຮູບ 1.25

ສະນັ້ນແຮງງານທີ່ໃຊ້ເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸດັ່ງກ່າວແມ່ນ

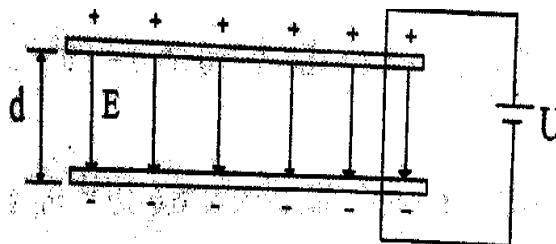
$$W_{A \rightarrow B} = q_0(V_A - V_B)$$

ແຕ່ວ່າ $W_{A \rightarrow B} = Eq_0d$ ຕາມສົມຜົນ (1.18)

$$\Rightarrow \frac{W_{A \rightarrow B}}{q_0} = Ed \quad \text{ຫຼື} \quad U_{AB} = Ed \quad (1.28)$$

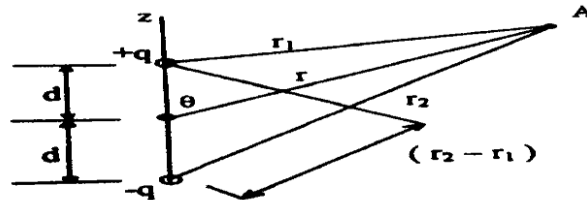
ອີກດ້ານໜຶ່ງ ຖ້າມີແຜ່ນໂລຫະຄູ່ຂະໜານຫ່າງກັນໄລຍະ d ເບິ່ງຮູບ 1.26 ທີ່ມີຜົນລົບລະດັບໄຟຟ້າ U ພາໃຫ້ເກີດມີທັງໄຟຟ້າ E ຈະໄດ້ການພົວພັນດັ່ງນີ້ :

$$E = \frac{V}{d}$$



8. ລະດັບໄຟຟ້າທີ່ເກີດຈາກຄູ່ຂວັນໄຟຟ້າ (dipole electric)

ຄູ່ຂວັນປະກອບດ້ວຍໄຟຟ້າບັນຈຸ 2 ເມັດຂະໜາດເທົ່າກັນ ແລະ ເທົ່າກັບ q ແຕ່ເຄື່ອງໝາຍກົງກັນຂ້າມ ຫ່າງກັນ $2d$ ໂມມັງຄູ່ຂວັນ (dipole moment) P ມີຂະໜາດ $2qd$ ມີທິດຊື່ອອກຈາກໄຟຟ້າບັນຈຸລົບໄປຫາໄຟຟ້າບັນຈຸບວກ ເພື່ອຊອກຫາລະດັບໄຟຟ້າຢູ່ຈຸດ A ທີ່ເກີດຈາກຄູ່ຂວັນນັ້ນ



ຮູບ 1.27 ລະດັບໄຟຟ້າທີ່ເກີດຈາກຄູ່ຂວັນ

ຕ້ອງກຳນົດຈຸດ A ໃນໄລຍະ r ແລະ ມຸມ θ ເບິ່ງຮູບ 1.27 ເມື່ອປິ່ນ A ໄປອ້ອມແກ່ນ z ໂດຍໃຫ້ໄລຍະ r ແລະ ມຸມ θ ບໍ່ປ່ຽນແປງ ດັ່ງນັ້ນ ລະດັບໄຟຟ້າ V ເປັນຕຳລາຕາມ r ແລະ θ ເມື່ອນັ້ນ $V(r, \theta)$ ແລະ ສົມຜົນ (1.26) ຂຽນໄດ້ :

$$V = \sum_{i=1}^n V_i = V_1 + V_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{r_1} - \frac{q}{r_2} \right) = \frac{q(r_2 - r_1)}{4\pi\epsilon_0 r_1 r_2}$$

ກໍລະນີ A ທີ່ຕັ້ງຢູ່ $r \gg 2d$ ອາດຂຽນ : $r_2 - r_1 = 2d \cos \theta$; $r_1 r_2 \approx r^2$

$$\text{ສະນັ້ນ } V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{2d \cos \theta}{r^2} \quad \text{ຫຼື} \quad V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p \cos \theta}{r^2} \quad (1.29)$$

ໂດຍ $P=2dq$ ແມ່ນໂມມັງຄູ່ຂວັນອະທິບາຍເມື່ອ $V = 0$ ຖ້າ $\theta = 90^\circ$, ເມື່ອ V ມີຄ່າໄຫຍ່ທີ່ສຸດທ $\theta = 0^\circ$, V ຈະມີຄ່າລົບເມື່ອ $\theta = 180^\circ$

ຕົວຢ່າງ : 1.10 ລັດສະໝີນິວເຄຍຂອງຄຳ ມີຄ່າເທົ່າກັບ $6,6 \cdot 10^{-15} m$, ເລກອາຕອມຂອງຄຳເທົ່າກັບ 79 ຖາມວ່າ ລະດັບໄຟຟ້າຢູ່ໜ້າຂອງນິວເຄຍຄຳມີເທົ່າໃດ?

ບົດແກ້ : ສົມມຸດວ່າ ນິວເຄຍເປັນຮູບວົງມົນ ແລະ ຖືວ່າໄຟຟ້າບັນຈຸນິວເຄຍຢູ່ຈຸດໃຈກາງດັ່ງນັ້ນການຄິດໄລ່ຈຶ່ງຖືເອົາໂປຣຕອນ ເປັນໄຟຟ້າບັນຈຸບວກ ແລະ ມີຄ່າເທົ່າກັບ $1,6 \cdot 10^{-19} C$

$$V = \frac{kq}{r} \text{ ໃນນີ້ } q = 79 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$$

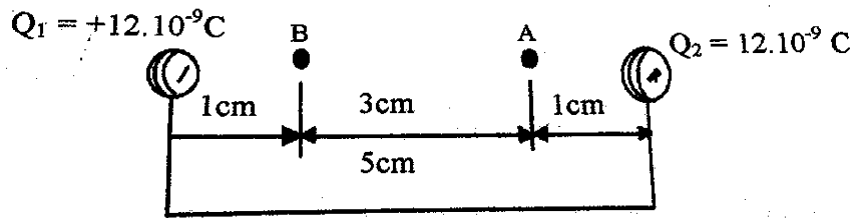
$$\text{ແລະ } V = \frac{9 \cdot 10^9 \times 1,6 \cdot 10^{-19}}{6,6 \cdot 10^{-15}} = 1,7 \cdot 10^7 V$$

$$V = 1,7 \cdot 10^7 V$$

ຕົວຢ່າງ : 1.11 ໄຟຟ້າບັນຈຸ 2 ເມັດມີຂະໜາດ $+2 \cdot 10^{-9} C$ ແລະ $-12 \cdot 10^{-9} C$ ຢູ່ຫ່າງກັນ 5 cm ມີອີເລັກຕຣອນ ໜຶ່ງເຄື່ອນທີ່ຢູ່ລະຫວ່າງ 2 ເມັດໄຟຟ້າບັນຈຸດັ່ງກ່າວ, ໂດຍເລີ່ມຈາກຈຸດທີ່ຫ່າງໄກຈາກໄຟຟ້າບັນຈຸລົບ 1 cm. ຈຶ່ງ

ຊອກຫາຄວາມໄວຂອງອີເລັກຕຣອນ ເມື່ອຢູ່ຫ່າງໄກຈາກໄຟຟ້າບັນຈຸບວກ 1 cm ໃຫ້ຮູ້ມວນສານອີເລັກຕຣອນ ເທົ່າ 9.10^{-31} kg

ບົດແກ້ : ອີງຕາມເງື່ອນໄຂຂອງບົດເລກ ແຕ້ມຮູບໄດ້ດັ່ງຮູບ 1.28



ຮູບ 1.28 ການເຄື່ອນທີ່ ອີເລັກຕຣອນ ໃນລະຫວ່າງ A ຫາ B

ໃຫ້ເລັກຕຣອນເຄື່ອນທີ່ຈາກ A ໄປຫາ B ໂດຍມີຄວາມໄວທຳອິດເທົ່າ 0 ດັ່ງນັ້ນອີງຕາມກົດເກນພະລັງງານໄດ້ດັ່ງນີ້ :

$$\Delta E_c = \Delta E_p$$

$$E_{c_B} - E_{c_A} = E_{p_A} - E_{p_B}$$

$$\frac{1}{2} m v_B^2 = q(V_A - V_B)$$

$$\text{ແຕ່ວ່າ : } V_A = V_{Q_1} + V_{Q_2} = \frac{9.10^9 \times (+2.10^9)}{4.10^{-2}} + \frac{9.10^9 (-12.10^9)}{1.10^{-2}}$$

$$= 450 - 10800 = -9350V$$

$$\text{ແລະ } V_B = V_{Q_1} + V_{Q_2} = \frac{9.10^9 \times (-12.10^9)}{1.10^{-2}} + \frac{9.10^9 (-12.10^9)}{4.10^{-2}}$$

$$= 1800 - 2700 = -900V$$

$$\text{ແທນໃສ່ສົມຜົນ (1) ເຮົາຈະໄດ້ : } \frac{1}{2} m v_B^2 = q(V_A - V_B)$$

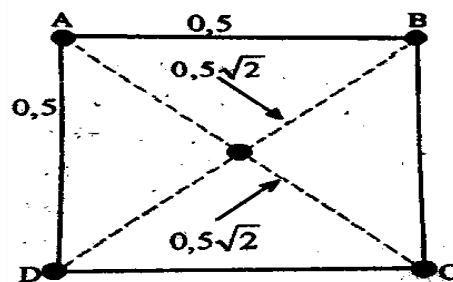
$$V_B = \sqrt{\frac{2q(V_A - V_B)}{m}}$$

$$V_B = \sqrt{\frac{2(-1.6.10^{-19})[-9350 + 900]}{9.1.10^{-31}}} = \sqrt{\frac{27040.10^{-19}}{9.1.10^{-31}}} = 10^6 \sqrt{2971.42} = 54.5.10^6 \text{ m/s}$$

$$V_B = 5.45.10^7 \text{ m/s}$$

ຕົວຢ່າງ 1.12 ເຮົາຕ້ອງເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸ $5 \mu C$ 4 ຕົວມາຈາກອະສົງໄຂມາວາງຢູ່ 4 ຈອມ ຊອງຮູບຈັດຕຸ້ລດທີ່ມີຂ້າງ 0,5 m ຈະຕ້ອງໄດ້ໃຊ້ຮຽງງານເທົ່າໃດ?

ບົດແກ້ : ຊອກຫາແຮງງານທີ່ຕ້ອງເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸ $+5 \mu C$ ມາຢູ່ A, B, C ແລະ D ເທື່ອລະຕົວຕາມລຳດັບ ເບິ່ງຮູບ 1.29



ຮູບ 1.29 ຮູບຈັດຕຸລັດມີຂ້າງດ້ານລະ 0,5 cm

ຊອກຫາແຮງງານເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸ $+5\mu C$ ຈາກ $\infty \rightarrow A$ ຈະໄດ້ :

$$W_{\infty \rightarrow A} = q(V_{\infty} - V_A) = +5.10^{-6}(0 - 0) = 0$$

ແຮງງານເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸ $+5\mu C$ ຈາກ $\infty \rightarrow B$ ຈະໄດ້ :

$$\begin{aligned} W_{\infty \rightarrow B} &= q(V_{\infty} - V_B) = +5.10^{-6} \left[0 - \frac{k(5.10^{-6})}{0,5} \right] \\ &= \frac{-5.10^{-6} \times 9.10^9 \times 5.10^{-6}}{0,5} = -0,45J \end{aligned}$$

ແຮງງານເພື່ອນເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸ $+5\mu C$ ຈາກ $\infty \rightarrow C$ ຈະໄດ້ :

$$\begin{aligned} W_{\infty \rightarrow C} &= q(V_{\infty} - V_C) = +5.10^{-6} \left[0 - \frac{k(5.10^{-6})}{0,5\sqrt{2}} - \frac{k(5.10^{-6})}{0,5} \right] \\ W_{\infty \rightarrow C} &= -5.10^{-6} \times 9.10^9 \times 5.10^{-6} \left(\frac{1}{0,5\sqrt{2}} + \frac{1}{0,5} \right) = 225.10^3(3,41) \\ &= -0,768J \end{aligned}$$

ແຮງງານເພື່ອນເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸ $+5\mu C$ ຈາກ $\infty \rightarrow D$ ຈະໄດ້ :

$$\begin{aligned} W_{\infty \rightarrow D} &= q(V_{\infty} - V_D) = +5.10^{-6}(0 - V_D) \\ &= +5.10^{-6} \left[\frac{k(+5.10^{-6})}{0,5} + \frac{k(+5.10^{-6})}{0,5\sqrt{2}} + \frac{k(+5.10^{-6})}{0,5} \right] \\ W_{\infty \rightarrow D} &= -5.10^{-6} \times 9.10^9 \times 5.10^{-6} \left(\frac{1}{0,5} + \frac{1}{0,5\sqrt{2}} + \frac{1}{0,5} \right) = -225.10^3(5,41) = -1,217J \end{aligned}$$

ແຮງງານຈາກຄວ

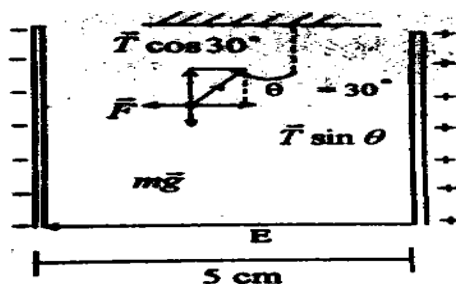
າມແຮງທຸກໄຟຟ້າໃນການເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸທັງສີ່ມາໄວ້ຈອມຂອງຮູບຈັດຕຸລັດເທົ່າ :

$$\begin{aligned} W &= W_{\infty \rightarrow A} + W_{\infty \rightarrow B} + W_{\infty \rightarrow C} + W_{\infty \rightarrow D} \\ &= 0 + (0,45) + (-0,768) + (-1,217) = -2,435J \end{aligned}$$

ຕ້ອງໃຊ້ແຮງງານໃນການເຄື່ອນຍ້າຍໄຟຟ້າບັນຈຸທັງສີ່ $W = -2,435J$

ເຄື່ອງໝາຍ (-) ສະແດງເຖິງແຮງງານໃນການເຄື່ອນຍ້າຍຕ້ອງຊະນະແຮງງານຕ້ານ

ຕົວຢ່າງ 1.13 ໜ່ວຍກົມມີມວນສານ 0,2g ມີໄຟຟ້າບັນຈຸ $6.10^{-9} C$ ຖືກແຂວນດ້ວຍເຊືອກຢູ່ລະຫວ່າງກາງສອງແຜ່ນໂລຫະຂະໜານກັນ ເຊິ່ງໄລຍະຫ່າງ 5m, ຈຶ່ງຄິດໄລ່ຜົນລົບລະດັບໄຟຟ້າລະຫວ່າງສອງແຜ່ນໂລຫະທີ່ສາມາດເຮັດໃຫ້ເຊືອກຢູ່ເປັນມຸມ 30° ກັບລວງຕັ້ງ. ເບິ່ງຮູບ 1.30.



ຮູບ 1.30 ໜ່ວຍກົມມີມວນສານ m ຢູ່ລະຫວ່າງ 2 ແຜ່ນໂລຫະຂະໜານກັນ

ບົດແກ້ : ອີງຕາມເງື່ອນໄຂບົດເລກຈະໄດ້ :

$$P = mg = 0,2 \cdot 10^{-3} \times 10 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

$$d = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{ແລະ } F = Ed = \frac{U}{d} q = \frac{U \times 6 \cdot 10^{-9}}{5 \cdot 10^{-2}} = 1,2 \cdot 10^{-7} \cdot U$$

ເມື່ອສັງເກດຕາມແຜນ xoy ຜົນບວກຄວາມແຮງຕາມແກ່ນດັ່ງກ່າວຈະໄດ້ :

$$\sum F_y = 0; T \cos 30^\circ = mg \Rightarrow T \frac{\sqrt{3}}{2} = 2 \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

$$\sum F_x = 0; T \sin 30^\circ = F \Rightarrow \frac{T}{2} = U \times 1,2 \cdot 10^{-7} \quad (2)$$

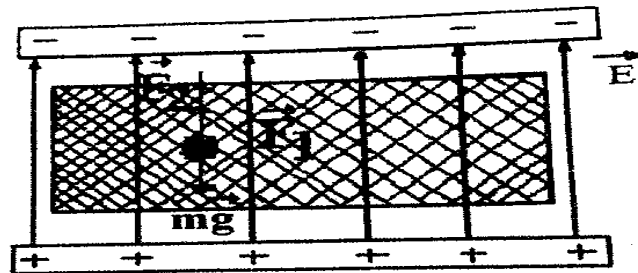
ເອົາ (1) ຫານໃຫ້ (2) ເຮົາໄດ້ :

$$\frac{1}{\sqrt{3}} = U \times 0,6 \cdot 10^{-4}$$

$$U = \frac{10^4}{0,6\sqrt{3}} = 9622,78 \text{ V}$$

$$U = 9622,78 \text{ V}$$

ຕົວຢ່າງ 1.14 ໜ່ວຍກົມທອງມີເສັ້ນຜ່ານກາງ $0,01 \text{ m}$ ວາງຢູ່ໃນນໍ້າທີ່ມີທັງໄຟຟ້າເທົ່າ 3600 V/m ທິດຂອງທັງໄຟຟ້າຂຶ້ນເທິງ. ເບິ່ງຮູບ 1.31. ຈົ່ງຊອກຫາໄຟຟ້າບັນຈຸຂອງເຂັ້ມທັງໄຟຟ້າໃນໜ່ວຍກົມທອງເພື່ອໃຫ້ໜ່ວຍກົມດັ່ງກ່າວຢຸດນຶ່ງຢູ່ລະຫວ່າງກາງຂອງນໍ້າມັນ (ຖືວ່າທັງໄຟຟ້າໃນນໍ້າມັນບໍ່ສະໜໍາສະເໝີ) ຮູ້ວ່າ ຄວາມໜາແໜ້ນຂອງມວນສານຂອງທອງ $p_1 = 8600 \text{ kg/m}^3$ ແລະ ຄວາມໜາແໜ້ນຂອງມວນສານນໍ້າມັນ $p = 800 \text{ kg/m}^3$



ຮູບ 1.31

ບົດແກ້ : ໜ່ວຍກົມຢູ່ໃນນໍ້າມັນ ມັນຈະຖືກຄວາມແຮງກະທົບ : ນໍ້າໜັກ mg ຄວາມແຮງໄຟຟ້າສະຖິດ $\vec{F}_1$, ຄວາມແຮງຍູ້ອາກຊີແມັດ $\vec{F}_2$, ເພື່ອໃຫ້ໜ່ວຍກົມຢຸດນຶ່ງຢູ່ໄດ້ ຜົນບວກແຮງງານທີ່ກະທົບໃສ່ໜ່ວຍກົມຕ້ອງເທົ່າສູນ. ໝາຍຄວາມວ່າ:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + m\vec{g} = 0$$

$$F_1 + F_2 - mg = 0$$

$$\text{ຊຶ່ງວ່າ : } m = \frac{4}{3} p_1 \pi r^3; F_1 = qE \quad \text{ແລະ} \quad F_2 = \frac{4}{3} p_2 \pi r^3 g$$

ເມື່ອແທນໃສ່ສົມຜົນ (1) ໃສ່ຈະໄດ້ :

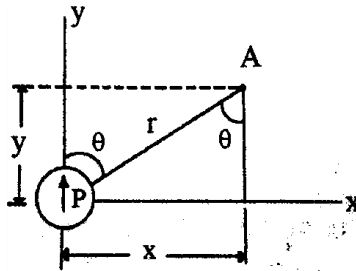
$$qE + \frac{4}{3} p_2 \pi^3 g = 0$$

$$\text{ຖອນໄດ້ : } q = \frac{4\pi^2 g(p_1 - p_2)}{3E}$$

$$q = \frac{4 \times 3,14 \times 5^3 10^{-9} \times 9,8(8600 = 800)}{3 \times 3600} = 1,110^{-5} C$$

$$q = 1,1 \cdot 10^{-5} C \quad \text{ຫຼື} \quad q = 11 \mu C$$

ຕົວຢ່າງ : 1.15 ຮູບ 1.32 ຊຶ່ງຈຸດ A ຢູ່ໃນທົ່ງໄຟຟ້າຂອງຄູ່ຂວັນ, ຄູ່ຂວັນຢູ່ຈຸດເຄົ້າຂອງລະບົບແກນ xoy ຈຶ່ງຊອກຫາ E_x ແລະ E_y ຢູ່ຈຸດ A



ຮູບ 1.32 ສະແດງຈຸດ p ໃນທົ່ງໄຟຟ້າຄູ່ຂວັນ

ບົດແກ້ : ຕາມສົມຜົນ $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p \cos \theta}{r^2} E$ ຢູ່ຈຸດ p ແຍກອອກເປັນສອງພາກສ່ວນ ປະກອບຕາມ

ແກນ ox ແລະ oy ຄື : E_x ແລະ E_y ເວລານັ້ນ :

$$r = (x^2 + y^2)^{1/2} \quad ; \cos \theta = \frac{y}{(x^2 + y^2)^{1/2}}$$

$$\text{ດັ່ງນັ້ນ} \quad V = \frac{p}{4\pi\epsilon_0} \frac{y}{(x^2 + y^2)^{3/2}}$$

$$\text{ຊອກຫາ } E_y \text{ ຈາກສົມຜົນ } E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}$$

$$\text{ໄດ້ : } E_y = -\frac{p}{4\pi\epsilon_0} \frac{(x^2 + y^2)^{3/2} - y \cdot \frac{3}{2}(x^2 + y^2)^{1/2} \cdot 2y}{(x^2 + y^2)^3} =$$

$$E_y = -\frac{p}{4\pi\epsilon_0} \frac{x^2 - 2y^2}{(x^2 + y^2)^{5/2}} \quad \text{ເມື່ອຈຸດ A ຢູ່ເທິງແກນຂອງຄູ່ຂວັນ}$$

$$(x=0); E_y \text{ ຈະກາຍເປັນ } E_y = \frac{2p}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{y^3}$$

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial X} = -\frac{py}{4\pi\epsilon_0} \left(-\frac{3}{2} \right) (x^2 + y^2)^{5/2} (2x)$$

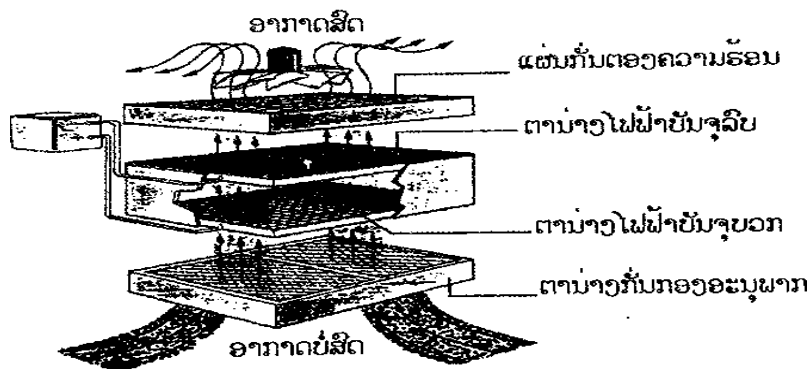
$$E_x = \frac{3p}{4\pi\epsilon_0} \frac{x \cdot y}{(x^2 + y^2)^{5/2}}$$

ເຫັນວ່າ : $E_x = 0$ ເມື່ອຢູ່ເທິງແກນຂອງຄູ່ຂວັນ ($x=0$) ແລະ ໃຫ້ໜ້າພຽງ ($y=0$)

9. ການນຳໃຊ້ໄຟຟ້າສະຖິດ

1. ເຄື່ອງກັ່ນກອງອາກາດໄຟຟ້າສະຖິດ.

ເຄື່ອງກັ່ນກອງໄຟຟ້າສະຖິດເປັນເຄື່ອງທີ່ຜະລິດອາກາດສິດໂດຍໃຊ້ຫຼັກການໄຟຟ້າສະຖິດດັ່ງສະແດງໃນຮູບ 1.33 ສະແດງເຖິງການປະກອບສ້າງແລະຫຼັກການເຮັດວຽກຂອງເຄື່ອງກັ່ນກອງອາກາດເຄື່ອງນີ້ສາມາດກັ່ນກອງອາກາດທີ່ກະຈາຍໃນບັນຍາກາດໃຫ້ເຫັນອາກາດສິດເຖິງ 95 % ພັດລົມຂອງເຄື່ອງເປັນເປື້ອນຜ່ານເຄື່ອງແລະອາກາດອອກຈາກເຄື່ອງເປັນອາກາດທີ່ສິດອາກາດເປັນເປື້ອນຈະຜ່ານຕາໜ່າງເພື່ອກັ່ນກອງອະນຸພາກທີ່ມີຂະໜາດໄຫຍ່ແລ້ວອາກາດນີ້ຈະຜ່ານຕາໜ່າງໂລຫະທີ່ຮັ່ງມີໄຟຟ້າບັນຈຸບວກ, ເຮັດໃຫ້ອາກາດເປັນເປື້ອນຕິດໄຟຟ້າບັນຈຸບວກ. ອະນຸພາກທີ່ມີໄຟຟ້າບັນຈຸບວກຈະເຄື່ອນທີ່ໄປຜ່ານຕາໜ່າງທີ່ມີໄຟຟ້າບັນຈຸລົບແລ້ວຈະຖືກດູດຕິດຕາໜ່າງແລະອາກາດທີ່ຜ່ານຕາໜ່າງນີ້ຈະເປັນອາກາດສິດແລ້ວມັນຈະເຄື່ອນທີ່ໄປຜ່ານຕາໜ່າງທີ່ມີຄວາມຮ້ອນເພື່ອເຮັດໃຫ້ອາກາດສິດກະຈາຍອອກໄປ.



2. ເຄື່ອງຖ່າຍເອກກະສານ

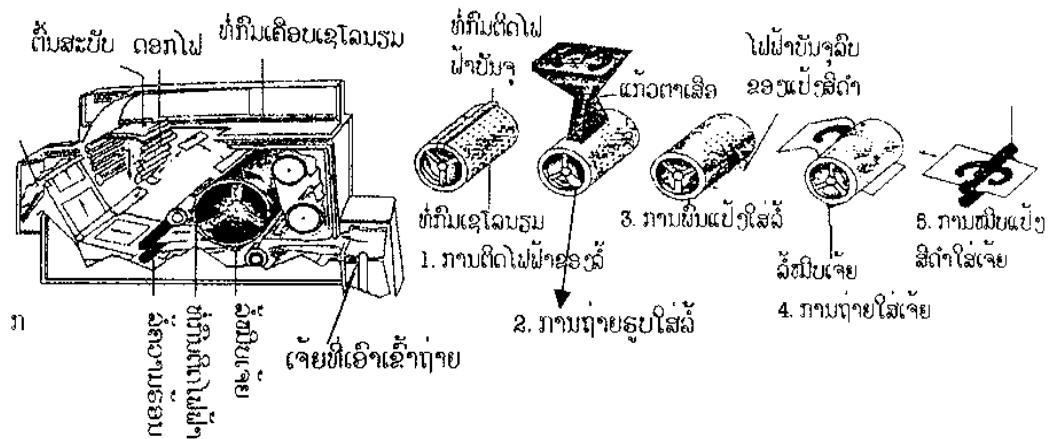
XEROGRAPHY ເປັນວິທີການຖ່າຍເອກກະສານ ຄຳນີ້ມາຈາກພາສາກຣີກ ຄື :XEROS ແລະ GRAPHOS ມີຄວາມໝາຍວ່າການຂຽນແທ້ໆ.

ສ່ວນປະກອບພື້ນຖານແມ່ນ xerographic drum ເປັນຮູບທໍ່ກົມ ຜະລິດຈາກອະລູມິນຽມ ແລະ ເຄືອບດ້ວຍທາດຊີເລນນຽມ ດັ່ງຮູບ 1.34ກ. ອາລູມິນຽມເປັນໂລຫະທີ່ຊັກນຳໄຟຟ້າໄດ້ດີ ສ່ວນຊີເລນນຽມເປັນທາດຊັກນຳເມື່ອໄດ້ຮັບແສງສະຫວ່າງ ແລະ ຈະເປັນທາດກັ່ນ (ບໍ່ຊັກນຳ) ເມື່ອບໍ່ມີແສງ.

ຄຸນລັກສະນະການກາຍເປັນທາດຊັກນຳຂອງຊີເລນນຽມ ມີຂະບວນການວິວັດດັ່ງນີ້ : (ເບິ່ງຮູບ 1.34ຂ)

- 1) ແຫ່ງຜະລິດໄຟຟ້າບວກເອີ້ນວ່າ : ຈະເປັນໜ້າທີ່ບັນຈຸບວກ ໃຫ້ແກ່ຊີເລນນຽມຢູ່ບ່ອນມືດ.
- 2) ແວ່ນ ແລະ ແກ້ວຕາເສື້ອຈະປັບໃຫ້ເກີດຢູ່ຮູບທໍ່ກົມ (drum) ເຮັດໃຫ້ເກີດມີເຂດມືດ ແລະ ເຂດແຈ້ງຢູ່ເທິງໜ້າຂອງທໍ່ກົມເຊິ່ງເຂດມືດເປັນທາດກັ່ນ ຈຶ່ງຮັກສາໄຟຟ້າບັນຈຸຢູ່, ສ່ວນເຂດແຈ້ງຈະເປັນຜູ້ຊັກນຳອີເລັກຕຣອນອາລູມິນຽມມາຮ່ວມກັບໄຟຟ້າບັນຈຸຈົນກາຍເປັນບ່ອນຈາວໄຟຟ້າ
- 3) ແບັງສີດຳເອີ້ນວ່າ (toner) ເຮັດໃຫ້ໄຟຟ້າບັນຈຸລົບ ແລະ ພົ່ນໄປທໍ່ກົມເຮັດໃຫ້ມັນຕິດບ່ອນທີ່ມີໄຟຟ້າບັນຈຸລົບ.
- 4) ເຈ້ຍຖືກດູດຜ່ານບ່ອນທີ່ຜະລິດໄຟຟ້າບັນຈຸບວກເອີ້ນວ່າ (corotron) ເຮັດໃຫ້ເຈ້ຍມີໄຟຟ້າບັນຈຸບວກຫຼາຍກວ່າໄຟຟ້າບັນຈຸບວກທີ່ຢູ່ໃນຊີເລນນຽມ, ເວລານັ້ນເຈ້ຍຈະດູດແບັງສີດຳ ເຮັດໃຫ້ໄດ້ຮູບຄືກັນກັບຕົ້ນແບບທີ່ຕ້ອງການຖ່າຍ.

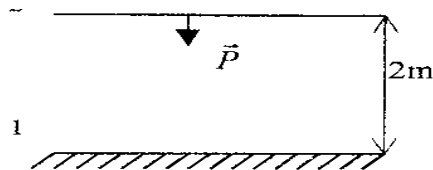
5) ເຂັຍທີ່ມີແບ່ງສີດຳຕິດຈະເຄື່ອນທີ່ຜ່ານລັຄວາມຮ້ອນ, ລັຄວາມຮ້ອນຈະເນັໜແບ່ງໃຫ້ຕຕິດໃຈ້



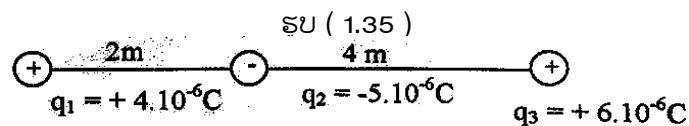
ຮູບ 1.34 ສະແດງການເຮັດວຽກຂອງເຄື່ອງຖ່າຍເອກກະສານ

ບົດເຝິກຫັດ 1

- ໄຟຟ້າບັນຈຸ $+3.10^{-6} C$ ວາງຫ່າງໄຟຟ້າບັນຈຸ $=1.5.10^{-6} C$ ໄລຍະຫ່າງ 12 cm ຈົ່ງຊອກຫາຂະໜາດແລະທິດຂອງຄວາມແຮງກະທົບໃສ່ແຕ່ລະໄຟຟ້າບັນຈຸ.
- ເມັດໂປຣຕອນຢູ່ຫ່າງກັນເທົ່າໃດຈຶ່ງເຮັດໃຫ້ຄວາມແຮງຍູ້ແຕ່ລະໂປຣຕອນເທົ່າກັບນ້ຳໜັກຂອງມັນພໍດີ
- ປ່ຽງມົນສອງອັນເຮັດດ້ວຍທອງມີມວນສານ $3g$ ປະກອບດ້ວຍອາຕອມຂອງທອງເທົ່າ 3.10^{22} ອາຕອມຖ້າວາງສອງປ່ຽງຂະໜານຫ່າງກັນໄລຍະ $2m$ ແລະມີໄຟຟ້າບັນຈຸ q ເທົ່າກັນ. ຖາມວ່າ q ມີຄ່າເທົ່າໃດ? ຖ້າວ່າ ຄວາມແຮງຍູ້ລະຫວ່າງສອງປ່ຽງນັ້ນເທົ່າ ເທົ່າກັບນ້ຳໜັກຂອງປ່ຽງໜຶ່ງດັ່ງຮູບ 1.35

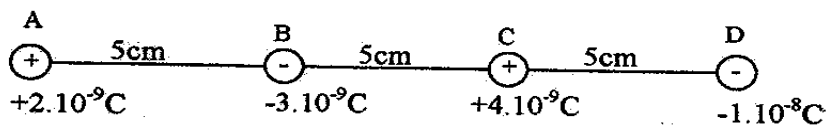


- ໄຟຟ້າບັນຈຸ $q_1 = +4.10^{-6} C$, $q_2 = -5.10^{-6} C$ ແລະ $q_3 = +6.10^{-6} C$ ວາງໄວ້ດັ່ງຮູບ 1.36 ຈົ່ງຊອກຫາຄວາມແຮງທີ່ເກີດຂຶ້ນກັບ q_2 ເມື່ອຖືກ q_1 ແລະ q_3 ກະທົບໃສ່ມັນ.



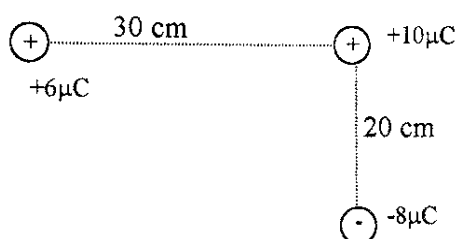
ຮູບ (1.36)

- ໄຟຟ້າບັນຈຸ $+2.10^{-9} C$, $-3.10^{-9} C$; $+4.10^{-9} C$ ແລະ $-1.10^{-8} C$ ວາງຢູ່ຈຸດ A, B, C ແລະ D ຕາມລຳດັບ, ດັ່ງຮູບ 1.37 ຈົ່ງຊອກຫາຄວາມແຮງກະທົບໃສ່ໄຟຟ້າບັນຈຸ ຢູ່ຈຸດ B

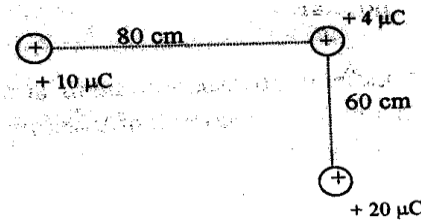


ຮູບ 1.37

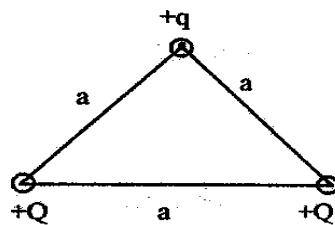
- ໜ່ວຍກົມ A ມີໄຟຟ້າບັນຈຸ $+3.10^{-7} C$ ຢູ່ຫ່າງຈາກໜ່ວຍກົມ B ໄລຍະ 2 m ຊຶ່ງໜ່ວຍກົມ B ຕິດກັບໜ່ວຍກົມ C ທີ່ຈາວໄຟຟ້າ, ເມື່ອແຍກ C ອອກຈາກ B ໄລຍະ 2 cm ປະກົດວ່າເກີດມີຄວາມແຮງກະທົບໃສ່ B ເທົ່າກັບ $0,45\text{ N}$ ຈົ່ງຊອກຫາໄຟຟ້າບັນຈຸສະທ້ອນຢູ່ໜ່ວຍກົມ B ແລະ ໜ່ວຍກົມ C.
- ໄຟຟ້າບັນຈຸ 3 ເມັດຂະໜາດ $+6\mu C$; $+10\mu C$ ແລະ $-8\mu C$ ວາງຢູ່ທີ່ຕັ້ງດັ່ງຮູບ 1.38 ຈົ່ງຊອກຫາຄວາມແຮງສັງລວມທີ່ກະທົບໃສ່ໄຟຟ້າບັນຈຸ $+10\mu C$



8. ໄຟຟ້າບັນຈຸ $+10\mu\text{C}$; $+20\mu\text{C}$ ແລະ $+4\mu\text{C}$ ວາງດ້ວຮູບ 1.39 ຈົ່ງຊອກຫາຄວາມແຮງລວມທີ່ກະທົບໃສ່ ໄຟຟ້າບັນຈຸ $+20\mu\text{C}$

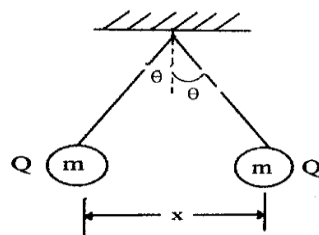


9. ໄຟຟ້າບັນຈຸ 3 ອັນຖືກຈັດວາງດັ່ງຮູບແຕ້ມ 1.40 ຈົ່ງຊອກຫາຂະໜາດແລະທິດຂອງຄວາມແຮງທີ່ກະທົບໃສ່ ໄຟຟ້າບັນຈຸ $+q$



ຮູບ 1.40

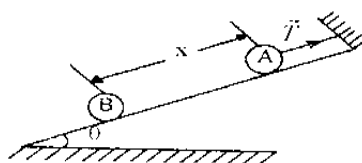
10. ຫນ່ວຍກົມຄືກັນທຸກຢ່າງມີມວນສານຫນ່ວຍລະ m ຖືກແຂວນດ້ວຍເຊືອກເປົາບໍ່ຍືດ ຍາວ ℓ ແຕ່ລະຫນ່ວຍ ໄຟຟ້າບັນຈຸ Q ຄືກັນ, ດັ່ງຮູບ 1.40 ສົມມຸດວ່າມຸມ θ ມີຂະໜາດນ້ອຍ ($\ell \gg \frac{x}{2}$) ແລະ x ຄືໄລຍະຫ່າງລະຫວ່າງສອງຫນ່ວຍກົມ ຈົ່ງຊອກຫາຄ່າຂອງ x



ຮູບ 1.41

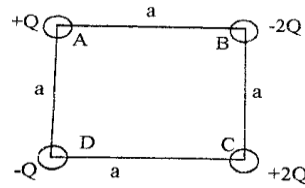
11. ຫນ່ວຍກົມ A ແລະ B ຂະໜາດເທົ່າກັນ, ແຕ່ລະຫນ່ວຍມີມວນສານ m ວາງຢູ່ເທິງພື້ນງ່ຽງ ຊຶ່ງປະກອບເປັນມຸມ θ ກັບທາງນອນ ໂດຍທີ່ວ່າຫນ່ວຍຢູ່ຖືກມັດໄວ້. ທັງສອງຫນ່ວຍຖືກໄຟຟ້າບັນຈຸ Q ເທົ່າກັນແຕ່ລະຊະນິດ ຕ່າງກັນເຮັດໃຫ້ ຫນ່ວຍຢູ່ລຸ່ມນີ້ຢູ່ໄດ້ ເບິ່ງຮູບ 1.42 ຈົ່ງຊອກຫາ :

1. ໄລຍະຫ່າງລະຫວ່າງສອງຫນ່ວຍກົມ.
2. ຄວາມແຮງເຄັ່ງຂອງເຊືອກ



12. ຈົ່ງຊອກຫາຂະໜາດ ແລະ ທິດຂອງຄວາມແຮງລວມທີ່ກະທົບໃສ່ ຫນ່ວຍກົມ A ອງຮູບຈັດຕຸລັດດັ່ງຮູບ 1.43 ໃຫ້ຮູ້

$Q = 10^{-8} C$ ແລະ $a = 5cm$



ຮູບ 1.43

13. ອີເລັກຕຣອນເຄື່ອນທີ່ດ້ວຍຄວາມໄວ $4.10^7 m/s$ ຂະໜານກັບທົ່ງໄຟຟ້າ ທີ່ມີຄວາມເຂັ້ມເທົ່າ $9.10^2 N/C$ ໃນທິດທີ່ພາໃຫ້ຄວາມໄວ ຂອງອີເລັກຕຣອນຫຼຸດລົງ. (ໃຫ້ຮູ້ມວນສານ ຂອງອີເລັກຕຣອນ $9.10^{-31} kg$ ມີໄຟຟ້າບັນຈຸ $1.6.10^{-19} C$ ຈົ່ງຊອກຫາ :

ກ. ອີເລັກຕຣອນຈະເຄື່ອນທີ່ທີ່ໄປໄດ້ໄລຍະຫ່າງເທົ່າໃດ ຈຶ່ງຈະມີຄວາມໄວເທົ່າສູນ

ຂ. ຈະຕ້ອງໃຊ້ເວລາເທົ່າໃດ?

14. ໜ່ວຍກົມ A ລັດສະໝີ $4cm$ ຂຸ້ນຢູ່ໃນໜ່ວຍກົມ B ລັດສະໝີ $8 cm$ ມີຈຸດໃຈກາງຮ່ວມກັນຄືຈຸດ O, ໜ່ວຍກົມ A ມີໄຟຟ້າບັນຈຸ $+4.10^{-8} C$ ໜ່ວຍກົມ B ມີໄຟຟ້າບັນຈຸ $+1.2.10^{-7} C$ ຈົ່ງຊອກຫາ :

ກ. ລະດັບໄຟຟ້າບັນຈຸຫ່າງ ໄລຍະ $2, 4, 6, 8$ ແລະ $10 cm$ ຕາມລຳດັບ.

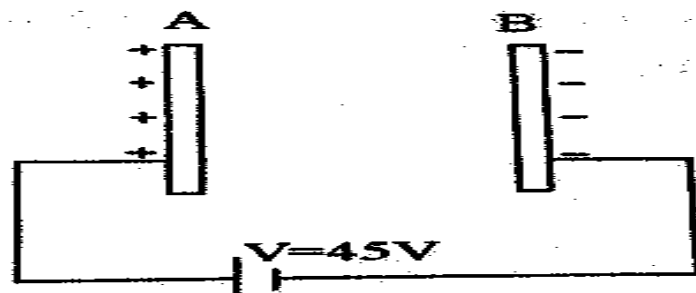
ຂ. ຖ້າເອົາໜ່ວຍກົມ A ຕິດດ້ານໃນໜ່ວຍກົມ B ລະດັບໄຟຟ້າຢູ່ຈຸດທີ່ກ່າວມາຂ້າງເທິງມີເທົ່າໃດ?

15. ໃຫ້ຮູ້ມວນສານຂອງອີເລັກຕຣອນ $m = 9.10^{-31} kg$ ໄຟຟ້າບັນຈຸ $1.6.10^{-19} C$ (ເບິ່ງຮູບແຕ້ມ 1.44) :

ກ. ຖ້າອີເລັກຕຣອນເຄື່ອນທີ່ຈາກ B ໄປຫາ A ມີຄວາມໄວເລີ່ມຕົ້ນເທົ່າສູນ, ອີເລັກຕຣອນມາເຖິງ A ມີຄວາມໄວເທົ່າໃດ ?

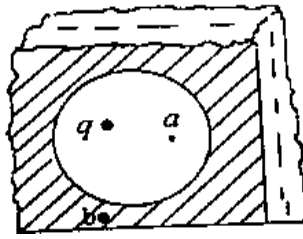
ຂ. ຖ້າອີເລັກຕຣອນເຄື່ອນທີ່ຈາກ B ດ້ວຍພະລັງງານທີ່ເຄື່ອນທີ່ $2.16.10^{-19} J$ ຖ້າອີເລັກຕຣອນຮອດ A ດ້ວຍຄວາມໄວມີເທົ່າໃດ ?

ຄ. ຖ້າອີເລັກຕຣອນເຄື່ອນທີ່ຈາກ A ໄປຫາ B ດ້ວຍພະລັງງານເດີນເຄື່ອນເທົ່າ $8.10^{-18} J$ ເມື່ອມາຮອດ B ຈະມີຄວາມໄວເທົ່າໃດ ?



ຮູບ 1.44

16. ໄຟຟ້າບັນຈຸຈະໜາດ $1.10^{-7} C$ ວາງຢູ່ໃຈກາງຂອງໜ່ວຍກົມ ທີ່ມີລັດສະໝີ $3 cm$ ດັ່ງສະແດງໃນຮູບ 1.45 ຈົ່ງໃຊ້ກົດເກນຂອງ ເກົາສ ເພື່ອຊອກຫາຄຸນຄ່າຂອງທົ່ງໄຟຟ້າ ຢູ່ຈຸດ a ອ້ຽ່ງເຄິ່ງກາງລະຫວ່າງຂອບ ແລະ ໃຈກາງໜ່ວຍກົມພ້ອມຊອກຫາຄຸນຄ່າຂອງທົ່ງໄຟຟ້າຢູ່ຈຸດ b.

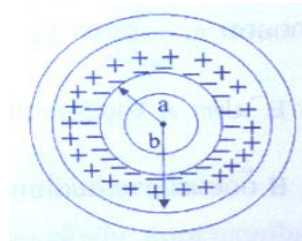


17. ອີເລັກຕຣອນຊຶ່ງມີພະລັງງານ 100 ອີເລັກຕຣອນໂວນ (eV) ຖືກຍິງເຂົ້າຫາແກ່ນຂະໜາດໄຫຍ່ຊຶ່ງໜ້ານອກມີຄວາມໜາແໜ້ນບັນຈຸເທົ່າ $-2.10^{-6} C/M$ ອີເລັກຕຣອນຕ້ອງຍິງຈາກແຜ່ນໂລຫະເທົ່າໃດຈຶ່ງພໍດີບໍ່ຕາແຜ່ນໂລຫະ.

18. ຮູບ 1.46 ສະແດງໜ້າຕັດຂອງທໍ່ກົມຮ່ວມໃຈກາງດຽວກັນສອງທໍ່ຊ່ຽງຍາວບໍ່ມີຂອບເຂດ ແລະ ມີລັດສະໝີ a ແລະ b ທໍ່ກົມທັງສອງມີໄຟຟ້າບັນຈຸຊະນິດຕ່າງກັນ ແຕ່ມີໄຟຟ້າບັນຈຸຕໍ່ຫົວໜ່ວຍລວງຍາວ λ ເທົ່າກັນ ຈົ່ງຊອກຫາ :

ກ. E ຢູ່ຈຸດ $r > b$ ແລະ ຢູ່ຈຸດ $r < a$

ຂ. E ລະຫວ່າງກາງຂອງ 2 ທໍ່



ຮູບ 1,46

20. ໄຟຟ້າບັນຈຸ q ແຈກຍາຍສະໜ້າສະເໝີໃນວົງແຫວນທີ່ມີລັດສະໝີ a ຈົ່ງຊອກຫາລະດັບໄຟຟ້າ ແລະ ຄວາມເຂັ້ມຂອງທົ່ງໄຟຟ້າທີ່ຢູ່ຈຸດ ຊຶ່ງຫ່າງຈາກໃຈກາງ O ຂອງວົງແຫວນໄລຍະ x ໂດຍຈຸດນີ້ຢູ່ເທິງແຜນທີ່ຜ່ານ O ແລະ ຕັ້ງສາກກັບໜ້າພຽງຂອງວົງແຫວນ

ເອກະສານອ້າງອີງ

1. ແບບຮຽນຟືຊິກສາດມັດທະຍົມສຶກສາປີທີ 5 ກະຊວງສຶກສາທິການ ແລະ ກິລາ ສະຖາບັນຄົ້ນຄ້ວາ
ວິທະຍາສາດກ່ຮສຶກສາ ປີ 2015
2. ວິຊາຟືຊິກສາດ ດຣ ຄຳພຸດ ພົມມະສອນ ນະຄອນຫຼວງວຽງຈັນ ປີ 2006
3. ຟືຊິກສາດ 3 ສາຍສ້າງຄູມັດທະຍົມຕົ້ນ
4. ແບບຮຽນຟືຊິກສາດພື້ນຖານ 1 ກະຊວງສຶກສາທິການ ສູນພັດທະນາຄູ ປີ 1998
5. ແບບຮຽນຟືຊິກສາດພື້ນຖານ 2 ກະຊວງສຶກສາທິການ ສູນພັດທະນາຄູ ປີ 1998
6. ແບບຮຽນວິທະຍາສາດມະຊາດຊັ້ນມັດທະຍົມສຶກສາປີທີ 4 ກະຊວງສຶກສາທິການ ແລະ ກິລາ ສະຖາ
ບັນຄົ້ນຄ້ວາວິທະຍາສາດກ່ຮສຶກສາ ປີ 2015
7. ຟືຊິກສາດ 1 220 PH 111 ປີ 1 ວິທະຍາໄລວິທະຍາສາດພື້ນຖານ 2002
8. ຟືຊິກສາດ 1 220 PH 111 ປີ 3 ວິທະຍາໄລວິທະຍາສາດພື້ນຖານ 2002
9. ຟືຊິກສາດ 1 220 PH 111 ປີ 4 ວິທະຍາໄລວິທະຍາສາດພື້ນຖານ 2002



ສາທາລະນະລັດ ປະຊາທິປະໄຕ ປະຊາຊົນລາວ

ສັນຕິພາບ ເອກະລາດ ປະຊາທິປະໄຕ ເອກະພາບ ວັດທະນະຖາວອນ

*****000*****



ວິທະຍາໄລຄູ ສາລະວັນ

ສະພາວິທະຍາສາດ

ເລກທີ. 276.....ສພວສ

ເອກະສານຮັບຮອງ

ການອະນຸມັດຜ່ານ ຮັບຮອງຄືນຄຳວາ, ຮຽບຮຽງປຶ້ມ

- ອີງຕາມ: ຂໍ້ຕົກລົງວ່າດ້ວຍການແຕ່ງຕັ້ງຄະນະຮັບຜິດຊອບການເຄື່ອນໄຫວກິດຈະກຳສະພາວິທະຍາສາດຂອງວິທະຍາໄລຄູສາລະວັນປະຈຳສິກປີ 2022
- ຈາກຜົນການກວດກາ, ກວດສອບດ້ານເນື້ອໃນ, ຫຼັກການບັນດາອະນຸກຳມະການເຫັນວ່າການຄືນຄຳວາ, ຮຽບຮຽງປຶ້ມມີຄວາມຖືກຕ້ອງຕາມເນື້ອໃນຫົວຂໍ້ກຳນົດຂອງສະພາວິທະຍາສາດ ແລະ ສະພາວິທະຍາສາດໄດ້ຮັບຮອງເອົາປຶ້ມເຫຼັ້ມນີ້ເປັນສ່ວນໜຶ່ງນຳເຂົ້າໃນຂະບວນການຮຽນ-ການສອນໃນວິທະຍາໄລຄູສາລະວັນ

ຄະນະກຳມະການກວດສອບ	ລາຍເຊັນ
1. ທ່ານ ປທ ລາຫຸນ ເພັດສິມພອນ	
2. ທ່ານ ອຈ ປອ ນາງ ສຸລິພອນ ສິວິໄຊ	
3. ທ່ານ ປທ ອຸດຕະມະ ແສງອາລຸນ	

ທີ່ສາລະວັນ, ວັນທີ. 28 DEC 2022

ປະທານສະພາວິທະຍາສາດ

ອຈ. ນ. ສົມປອງ ແສນທະວິສາ
Sompong SENTHIA



ສາທາລະນະລັດ ປະຊາທິປະໄຕ ປະຊາຊົນລາວ

ສັນຕິພາບ ເອກະລາດ ປະຊາທິປະໄຕ ເອກະພາບ ວັດທະນະຖາວອນ

*****000*****



ວິທະຍາໄລຄູ ສາລະວັນ
ພາກວິຊາເຄມີ

ເລກທີ...໐໒... ພມ

ເອກະສານຮັບຮອງການຮຽບຮຽງປຶ້ມ

ລ/ດ	ຊື່ຫົວຂໍ້	ພາກວິຊາ	ຜູ້ຄົ້ນຄວ້າ, ຮຽບຮຽງປຶ້ມ	ຊື່ຜູ້ກວດແກ້
1	ຮຽບຮຽງປຶ້ມແບບຮຽນ ພິຊິກສາດທົ່ວໄປ	ເຄມີ	1. ທ່ານ ຊອ ປທ ວິລະດາ ຄຸດພະຈັນ 2. ທ່ານ ຊອ ປັນຍາ ຈັນທະລັງສີ	1. ທ່ານ ປອ ສຸພັນ ເທບພະວົງສາ 2. ທ່ານ ປທ ສຸກສະຫວັນ ອຸປະຊິດ

ຄະນະກຳມະການກວດແກ້	ລາຍເຊັນ
1. ທ່ານ ປອ ສຸພັນ ເທບພະວົງສາ	
2. ທ່ານ ປທ ສຸກສະຫວັນ ອຸປະຊິດ	

ທີ່ສາລະວັນ, ວັນທີ... 17 MAY 2022

ຫົວໜ້າພາກວິຊາເຄມີ

ລາທຸນ ເພັດສົມພອນ
Lahoun PHETSOMPHONE



ສາທາລະນະລັດ ປະຊາທິປະໄຕ ປະຊາຊົນລາວ

ສັນຕິພາບ ເອກະລາດ ປະຊາທິປະໄຕ ເອກະພາບ ວັດທະນະຖາວອນ

*****000*****



ວິທະຍາໄລຄູ ສາລະວັນ

ສະພາວິທະຍາສາດ

ເລກທີ. 276.....ສພວສ

ເອກະສານຮັບຮອງ

ການອະນຸມັດຜ່ານ ຮັບຮອງຄືນຄຳວາ, ຮຽບຮຽງປຶ້ມ

- ອີງຕາມ: ຂໍ້ຕົກລົງວ່າດ້ວຍການແຕ່ງຕັ້ງຄະນະຮັບຜິດຊອບການເຄື່ອນໄຫວກິດຈະກຳສະພາວິທະຍາສາດຂອງວິທະຍາໄລຄູສາລະວັນປະຈຳສິກປີ 2022
- ຈາກຜົນການກວດກາ, ກວດສອບດ້ານເນື້ອໃນ, ຫຼັກການບັນດາອະນຸກຳມະການເຫັນວ່າການຄືນຄຳວາ, ຮຽບຮຽງປຶ້ມມີຄວາມຖືກຕ້ອງຕາມເນື້ອໃນຫົວຂໍ້ກຳນົດຂອງສະພາວິທະຍາສາດ ແລະ ສະພາວິທະຍາສາດໄດ້ຮັບຮອງເອົາປຶ້ມເຫຼັ້ມນີ້ເປັນສ່ວນໜຶ່ງນຳເຂົ້າໃນຂະບວນການຮຽນ-ການສອນໃນວິທະຍາໄລຄູສາລະວັນ

ຄະນະກຳມະການກວດສອບ	ລາຍເຊັນ
1. ທ່ານ ປທ ລາຫຸນ ເພັດສິມພອນ	
2. ທ່ານ ອຈ ປອ ນາງ ສຸລິພອນ ສິວິໄຊ	
3. ທ່ານ ປທ ອຸດຕະມະ ແສງອາລຸນ	

ທີ່ສາລະວັນ, ວັນທີ. 28 DEC 2022

ປະທານສະພາວິທະຍາສາດ

ອຈ. ນ. ສົມປອງ ແສນທະວິສາ
Sompong SENTHIA