

APPOLO STUDY CENTRE

PHYSICS
TEST - 6

11 th physics	அலகு- 3	இயக்க விதிகள்
	அலகு- 4	வேலை, ஆற்றல் மற்றும் திறன் -F

APPOLO
STUDY CENTRE

பொருளடக்கம்

இயற்பியல்

அலகு 3 இயக்க விதிகள்

அறிமுகம்:

பிரபஞ்சத்தில் உள்ள ஒவ்வொரு பொருளும், மற்ற பொருட்களுடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளன. குளிர்ந்த தென்றல் மரத்துடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளது, மரம் மண்ணுடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளது. சுருங்கக்கூறின் அனைத்து உயிரினங்களும் இயற்கையுடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளன. மற்ற உயிரினங்கள் இயற்கையுடன் கொண்டுள்ள தொடர்பைவிட, மனித இனம் இயற்கையுடன் கொண்டுள்ள தொடர்பு கொஞ்சம் வேறுபட்டதாகும். ஏனெனில் மனித இனம் இயற்கை நிகழ்வுகளை புரிந்து கொண்டு அவற்றை அறிவியல் முறையில் விளக்க முற்படுகிறது.

மனித இன வரலாற்றில் மனிதனால் மிகுந்த ஆர்வமுடன் கேட்கப்பட்ட அறிவியல் கேள்விகள் இயங்கும் பொருட்களைப் பற்றியது ஆகும். அவை “பொருட்கள் எவ்வாறு இயங்குகின்றன?” “பொருட்கள் ஏன் இயங்குகின்றன?” என்பன போன்றவை.

ஆச்சரியம் என்னவென்றால் இந்த எளிய கேள்விகள்தான் மினத இனத்தை பண்டைய நாகரீக காலத்திலிருந்து 21 ஆம் நூற்றாண்டின் தொழில்நுட்ப காலகட்டத்திற்கு வருவதற்கு பாதை அமைத்துக் கொடுத்தது.

ஒரு பொருள் நகரக் காரணம் ஒன்று அதை இழுக்கிறது அல்லது தள்ளுகிறது. உதாரணமாக, புத்தகம் ஒன்று ஓய்வு நிலையில் உள்ளது. வெளிப்புற விசை அதன் மீது செயல்படாதவரை அது நகராது. சுருங்கக்கூறின் பொருட்களை நகர வைக்க கட்டாயம் அனத் மீது ஒரு விசை செயல்பட வேண்டும். 2500 ஆண்டுகளுக்கு முன்னர் புகழ் பெற்ற தத்துவஞானி அரிஸ்டாட்டில் (Aristotle) விசை இயக்கத்தை ஏற்படுத்துகிறது என்று கூறினார். ஆவரின் கூற்று பொதுப்புரிதலின் (Common sense) அடிப்படையில் அமைந்திருந்தது. ஆனால் அறிவியல் கூற்றுகள் என்பது பொதுப்புரிதலின் அடிப்படையில் மட்டும் அமைந்திருக்க முடியாது. மாறாக அறிவியல் சோதனையின் அடிப்படையில் அனைவராலும் ஒப்புக்கொள்ளப்பட வேண்டும். 15 ஆம் நூற்றாண்டில், கலிலீயோ தொடர்ச்சியாக மேற்கொண்ட சோதனைகளின் அடிப்படையில் இயக்கம் பற்றிய அரிஸ்டாட்டிலின் கூற்றினை மறுத்தார். ஒரு பொருள் தொடர்ந்து இயங்குவதற்கு விசை அவசியமில்லை என்று கலிலீயோ ஒரு புதிய கருத்தினை முன்மொழிந்தார்.

கலிலீயோ இயக்கம் பற்றிய தன்னுடை கருத்தை, ஒரு எளிய சோதனைமூலம் விளக்கினார். அச்சோதனையின்படி, படம் 3.1 (a) வில் காட்டியுள்ளபடி பந்து ஒன்று குறிப்பிட்ட கோணமுடைய சாய்தளம் ஒன்றின் மேற்புறத்திலிருந்து உருண்டு கீழே வருகிறது. ஆதன் தரையை அடைந்து சிறிது தூரம் உருண்டு சென்று எதிரே உள்ள அதே கோணமுடைய மற்றொரு சாய்தளத்தின் வழியே உருண்டு மேலே ஏறுகிறது. சாய்தறங்களை நன்கு வழுவழுப்பாகிய பின்னர் இச்சோதனையை மீண்டும் நிகழ்த்தும் போது பந்து முதல் சாய்தளத்தில் எவ்வளவு உயரத்திலிருந்து (L1) உருண்டு கீழே வந்ததோ அதே உயரத்திற்கு இரண்டாவது சாய்தளம் வழியாக மேலே உருண்டு கலிலீயோவின் சாய்தளம் மற்றும் பந்து சோதனை (a) இரண்டு சாய்தளங்களும் ஒரே சாய்கோணத்தில் உள்ளபோது (b) சாய்தளப்பரப்பின் வழுவழுப்புத்தன்மையை அதிகரித்த பின்னர் (c) இரண்டாவது சாய்தளத்தின் சாய்கோணத்தைக் குறைத்த பின்பர் (d) இரண்டாவது சாய்தளத்தின் சாய்கோணத்தை சுழியாக்கிய பின்னர் செல்கிறது (L2). (படம் 3.1) (b)) இரண்டாவது சாய்தளத்தின் கோணத்தைக் குறைத்து (படம் 3.1 (உ)) அதே வழுவழுப்புடன் இச்சோதனையை மீண்டும் நிகழ்த்தும் போது, பந்து இரண்டாவது சாய்தளத்தில் சற்றே அதிக தூரம் உருண்டு சென்று எவ்வளவு உயரத்திலிருந்து வந்ததோ அதே உயரத்தை சென்றடைகிறது.

சாய்கோணத்தை சுழியாக்கும் போது பந்து கிடைத்தளத் திசையில் என்றென்றும் தொடர்ந்து சென்று கொண்டே இருக்கும் (படம் 3.1 (d)).

ஒரு வேளை அரிஸ்டாட்டிலின் இயக்கம் பற்றிய கருத்து உண்மையாக இருப்பின், எவ்வளவு வழுவழுப்பான சாய்தளமாக இருந்தாலும் அந்தப் பந்து கிடைத்தளத் திசையில் உருண்டு சென்றிருக்காது. ஏனெனில், கிடைத்தளத்திசையில் எவ்விதமான விசையும் செயல்படவில்லை.

இந்த எளிய சோதனை மூலம் கலிலீயோ இயக்கம் தொடர்ந்து நடைபெற விசை அவசியமில்லை என்று நிரூபித்துக் காட்டினார். ஏனவே, விசையெல்படாத நிலையிலும் பொருளினால் தொடர்ந்து இயங்க முடியும்.

சுருங்கக் கூறின், அரிஸ்டாட்டில் இயக்கத்தோடு விசையினை இணைத்தார் ஆனால் கலிலீயோ, இயக்கத்தினை விசையிலிருந்து தனியே பிரித்தார்.

நியூட்டனின் விதிகள்:

கலிலீயோ, கெப்ளர் மற்றும் கோபர்நிக்கஸ் போன்ற அறிவியல் அறிஞர்களின் இயக்கம் பற்றிய கருத்துக்களை பகுத்து ஆராய்ந்து, இயக்கம் பற்றிய ஆழமான புரிதலை நியூட்டன் தனது மூன்று விதிகளின் வடிவில் ஏற்படுத்தினார்.

நியூட்டனின் முதல்விதி:

ஒரு பொருளின்மீது வெளிப்புற விசை ஒன்று செயல்படாதவரை அது, தனது ஓய்வு நிலையிலோ அல்லது மாறாத்திசைவேகத்திலுள்ள சீரான இயக்க நிலையிலோ தொடர்ந்து இருக்கும். பொருளொன்றின் தானே இயங்க முடியாதத் தன்மை அல்லது தனது இயக்க நிலையைத் தானே மாற்றிக்கொள்ள இயலாதத்தன்மைக்கு நிலைமம் என்று பெயர். நிலைமம் என்றாலே பொருள் தனது நிலையை மாற்றுவதை எதிர்க்கும் தன்மை என்று அழைக்கலாம். இயக்கச் சூழலுக்கு ஏற்ப நிலைமத்தினை மூன்று வகைகளாகப் பிரிக்கலாம்.

(1) ஓய்வின் நிலைமம்:

ஓய்வு நிலையிலுள்ள பேருந்து ஒன்று இயங்கத்தொடங்கும் போது அப்பேருந்தில் உள்ள பயணிகள் நிலைமத்தின் காரணமாக திடீரென்று பின்னோக்கித் தள்ளப்படுகின்றனர். ஏனெனில் பயணியின் உடல் நிலைமப்பண்பின் காரணமாக தொடர்ந்து ஓய்வு நிலையிலேயே இருக்க முயல்கிறது. ஆனால் பேருந்து இயங்கத் தொடங்குகிறது. இதன் காரணமாகவே பயணிகளின் உடல் பின்னோக்கித் தள்ளப்படுகிறது.

ஓய்வின் நிலைமப்பண்பின் காரணமாக பயணிகள் பின்னோக்கித் தள்ளப்படுதல்

தனது ஓய்வு நிலையைத் தானே மாற்றிக்கொள்ள இயலாத பொருளின் தன்மை, ஓய்வின் நிலைமம் எனப்படும்.

(2) இயக்கத்தில் நிலைமம்:

இயக்கத்திலுள்ள ஒரு பேருந்தன் தடையை (Brake) திடீரென்று அழுத்தும்போது, பேருந்தில் உள்ள பயணிகள் நிலைமத்தின் காரணமாக முன்னோக்கித் தள்ளப்படுகின்றனர். ஏனெனில், பயணியின் உடல் நிலைமப்பண்பின் காரணமாக தொடர்ந்து இயக்க நிலையிலேயே இருக்க முயல்கிறது. ஆனால் பேருந்து ஓய்வுநிலைக்கு வரத் தொடங்குகிறது.

மாறாத்திசை வேகத்திலுள்ள ஒரு பொருள் தனது இயக்க நிலையைத் தானே மாற்றிக்கொள்ள இயலாததன்மை, இயக்கத்தில் நிலைமம் எனப்படும்.

இயக்கத்தில் நிலைமப்பண்பின் காரணமாக பயணிகள் முன்னோக்கித் தள்ளப்படுதல்

(3) இயக்கத் திசையில் நிலைமம்:

ஒருமுனையில் கல் கட்டப்பட்ட, சுழற்சி இயக்கத்திலுள்ள கல்லின் கயிறு திடீரென்று அறுபட்டால், கல் தொடர்ந்து வட்டப்பாதையில் சுற்ற முடியாது. அக்கல் இல் காட்டியுள்ளவாறு வட்டத்தின் தொடுகோட்டுப்பாதையில் செல்லும். ஏனெனில் வெளிப்புறவிசை செயல்படாதவரை பொருளினால் தானே தன்றுடைய இயக்கத்திசையை மாற்றிக்கொள்ள இயலாது.

சுழற்சி இயக்கத்தில் இருந்த, கயிற்றிலிருந்து அறுபட்ட கல் நிலைமப்பண்பின் காரணமாக தொடுகோட்டுப்பாதையில் செல்லுதல்.

தனது இயக்கத்திசையினைத் தானே மாற்றிக்கொள்ள இயலாத பொருளின் தன்மை, இயக்கத்திசையில் நிலைமம் எனப்படும்.

பொருளொன்றின் ஓய்வுநிலை அல்லது மாறா திசைவேகத்திலுள்ள இயக்க நிலையை குறிப்பாயம் இன்றி கூறினால் அது பொருளற்றதாகிவிடும். எனவே, இயற்பியலில் அனைத்து இயக்கங்களும் குறிப்பாயத்தை பொருத்தே வரையறுக்க வேண்டும். நிலைமக்குறிப்பாயம் என்ற ஒரு சிறப்புக் குறிப்பாயத்திற்கு மட்டுமே நியூட்டனின் முதல்விதியை பயன்படுத்த முடியும். உண்மையில் நியூட்டனின் முதல்விதி நிலைமக் குறிப்பாயத்தைத்தான் வரையறுக்கிறது

நிலைமக் குறிப்பாயங்கள் (Inertial frames)

நிலைமக் குறிப்பாயத்திலிருந்து பார்க்கும்போது எவ்வித விசையும் செயல்படாத ஒரு பொருளானது ஓய்வு நிலையிலோ அல்லது மாறாதிசை வேகம் கொண்ட சீரான இயக்க நிலையிலோ காணப்படும். எனவே நிலைமக்குறிப்பாயம் என்ற ஒரு சிறப்புக் குறிப்பாயத்தில் உள்ள பொருள் எவ்வித விசையும் அதன்மீது செயல்படாத நிலையில் மாறாதிசைவேகம் கொண்ட இயக்க நிலையிலோ அல்லது ஓய்வு நிலையிலோ காணப்படும். ஆனால் ஒரு பொருள் விசையை உணர்கிறதா இல்லையா என்பதை நாம் எவ்வாறு அறிவது? புவியிலுள்ள அனைத்துப் பொருட்களும் புவியீர்ப்பு விசையினை உணரும். இலட்சிய நிலையில் ஒரு பொருள் புவி மற்றும் பிற பொருட்களை விட்டு வெகுதொலைவில் உள்ளபோது மட்டுமே விசைகளற்ற நிலையை (Free body) அடையும். அப்பொருளுக்கு நியூட்டனின் முதல்விதி முழுமையாகப் பொருந்தும். வெகுதொலைவில் உள்ள அப்பகுதியை நிலைமக் குறிப்பாயமாகக் கருதலாம். ஆனால் நடைமுறையில் இது போன்ற நிலைமக் குறிப்பாயம் சாத்தியமற்றது. நடைமுறையில் புவியினை நாம் ஒரு நிலைமக்குறிப்பாயமாகக் கருதலாம். ஏனெனில் ஆய்வத்தில் மேசை மீது வைக்கப்பட்ட புத்தகம் எப்போதும் ஓய்வு நிலையிலேயே உள்ளதாக கருதப்படுகிறது. அப்பொருள் எப்போதும் கிடைத்தளத்திசையில் முடுக்கமடைவதில்லை. ஏனெனில் கிடைத்தளத்திசையில் அதன்மீது எவ்விதமான விசையும் செயல்படுவதில்லை. எனவே, அனைத்து இயற்பியல் ஆய்வுகள் மற்றும் கணக்கீடுகளுக்கு ஆய்வகத்தினை ஒரு நிலைமக்குறிப்பாயமாகக் கருதலாம்.

நாம் இந்த முடிவை எடுக்க பொருளின் கிடைத்தள இயக்கத்தினை மட்டும் கணக்கில் எடுத்துக்கொண்டோம். ஏனென்றால் பொருளின்மீது கிடைத்தளத் திசையில் எந்த விசையும் செயல்படவில்லை. ஆனால் இதே முடிவை எடுக்க நாம் செங்குத்துத் திசையில் பொருளின் இயக்கத்தை பகுத்தாராயக் கூடாது. ஏனெனில் கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசையும் மேல்நோக்கிச் செயல்படும் செங்குத்து விசையும் ஒன்றை ஒன்று சமன்செய்து பொருளை ஓய்வுநிலையில் வைக்கின்றன.

எனவே, நியூட்டனின் முதல்விதி விசைகளற்ற பொருளின் இயக்கத்தை ஆராய்கிறதே தவிர செல்படும் விசைகளின் தொகுபயன் மதிப்பு சுழியாக உள்ள பொருட்களின் இயக்கத்தை ஆராய்வதில்லை.

நிலைமக் குறிப்பாயத்தைப் பொருத்து மாறாத் திசைவேகத்துடன் செல்லும் இரயில் வண்டி ஒன்றைக்கருதுக. இரயில்வண்டிக்கு வெளியே நிலைமக்குறிப்பாயத்தைப் பொருத்து ஓய்வுநிலையிலுள்ள பொருள், இரயில் வண்டிக்கு உள்ளே அமர்ந்திருக்கும் பயணிக்கு, இரயில் வண்டியைப் பொருத்து மாறாதிசை வேகத்துடன் இயக்க நிலையில் இருப்பதுபோன்று தெரியும். ஏனெனில் இங்கு இரயில் வண்டி நிலைமக் குறிப்பாயமாகக் கருதப்படுகிறது.

அனைத்து நிலைமக் குறிப்பாயங்களும் ஒன்றைப் பொருத்து மற்றொன்று மாறாதிசைவேகத்துடன் இயங்குகிறது.

ஒரு நிலைமக் குறிப்பாயத்தில் ஓய்வு நிலையில் உள்ளது போன்று தோன்றும் ஒரு பொருள், மற்றொரு நிலைமக் குறிப்பாயத்தைப் பொருத்து மாறாத் திசை வேகத்துடன் இயக்க நிலையில் இருப்பது போன்று தோன்றும். தரையில் நின்று கொண்டிருக்கும் ஒரு நபரைப் பொருத்து, V என்ற மாறாத் திசை வேகத்தின் வாகனம் ஒன்று சென்று கொண்டிருக்கிறது. தரையில் நின்று கொண்டிருக்கும் மனிதனும், அவனைப் பொறுத்து மாறாத் திசைவேகத்தில் சென்று கொண்டிருக்கும் வாகனம் இரண்டுமே நிலைமக் குறிப்பாயங்கள் ஆகும்.

மனிதன் மற்றும் வாகனம் இரண்டும் நிலைமக்குறிப்பாயங்கள்

மாறா திசைவேகத்தில் சென்று கொண்டுள்ள இரயில் வண்டியின் உள்ளே வழுவழுப்பான மேசை மீது வைக்கப்பட்டுள்ள பொருள் ஒன்றைக் கருதுக. இரயில் வண்டி திடீரென்று முடுக்கமடையும்போது எவ்விதமான விசையும் செயல்படாத நிலையில் மேசை மீதுள்ள பொருள் எதிர்த்திசையில் முடுக்கமடைவது போன்று தோன்றும். இது நியூட்டனின் முதல் விதிக்கு முற்றிலும் எதிராக உள்ளது. ஏனெனில், எவ்வித விசையும் செயல்படாத நிலையில் பொருள் முடுக்கமடைகிறது.

இதிலிருந்து நாம் புரிந்து கொள்ளவேண்டிய உண்மை என்னவெனில், இரயில்வண்டி முடுக்கமடையும்போது அது ஒரு நிலைமக் குறிப்பாயம் அல்ல. எடுத்துக்காட்டாக, படம் 3.6 இல் காட்டப்பட்டுள்ள தரையைப் பொருத்து a முடுக்கத்துடன் செல்லும் இரண்டாவது வாகனம் நிலைமக்குறிப்பாயம் அல்ல. மாறாக அது நிலைமமற்றக் குறிப்பாயம் (Non-inertial frame) ஆகும்.

நிலைமமற்றக் குறிப்பாயம் (a முடுக்கத்துடன் செல்லும் வாகனம் 2)

இவ்வகையான நிலைமமற்ற குறிப்பாயங்களுக்கு முடுக்கப்பட்ட குறிப்பாயங்கள் (accelerated frames of references) என்ற பெயர். சுழலும் குறிப்பாயங்களும் முடுக்கப்பட்ட குறிப்பாயங்களே, ஏனெனில், சுழற்சி இயக்கத்திற்கு முடுக்கம் அவசியமாகும். இக்கருத்தின்படி, புவி உண்மையில் ஒரு நிலைமக் குறிப்பாயம் அல்ல. ஏனெனில் புவியின் சுழற்சி மற்றும் நீள்வட்டச் சுழற்சி என்ற இரு இயக்கங்கள் உள்ளன

நடைமுறையில் காணப்படும் சில பொதுவான இயக்கங்களுக்கு புவியின் சுழற்சியினால் ஏற்படும் விறைவுகளைப் புறக்கணிக்கலாம். உதாரணமாக எறிபொருளின் இயக்கம், ஆய்வகம் ஒன்றில் கணக்கிடப்படும் தனி ஊசலின் அலைவு நேரம் போன்றவற்றில் புவியின் தற்சுழற்சி விளைவுகளின் தாக்கம் புறக்கணிக்கத்தக்க அளவிலேயே காணப்படும். எனவே, இத்தகைய நேர்வுகளில் கருதலாம். ஆனால் அதே நேரத்தில் செயற்கைக்கோள் ஒன்றின் இயக்கம் மற்றும் புவியின் காற்று மேலடுக்குச் சுழற்சி போன்ற நிகழ்வுகளில் புவியினை ஒரு நிலைமக் குறிப்பாயமாகக் கருத இயலாது. ஏனெனில் புவியின் தற்சுழற்சி இவற்றின் மீது வலிமையான தாக்கத்தை ஏற்படுத்துகிறது.

நியூட்டனின் இரண்டாம் விதி:

ஒரு பொருளின் மீது செயல்படும் விசையானது அந்தப் பொருளின் உந்த மாறுபாட்டு வீத்திற்கு சமமாகும்.

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

சுருங்கக் கூறின், எப்பொழுதெல்லாம் ஒரு பொருளின் உந்தத்தில் மாற்றம் ஏற்படுகிறதோ, அப்பொழுதெல்லாம் அப்பொருளின்மீது விசை செயல்படுகிறது. பொருள் ஒன்றின் உந்தம் என $\vec{p} = m\vec{v}$ வரையறுக்கப்படுகிறது. பொருட்கள் இயங்கும்போது பெரும்பாலான நேரங்களில் அதன் நிறை மாறாமல் ஒரு மாறிலியாகவே இருக்கிறது.

அத்தகைய நிகழ்வுகளில் மேற்கண்ட சமன்பாடு பின்வரும் எளிய வடிவினைப் பெறுகிறது.

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

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

பொருள் எப்பொழுதொல்லாம் முடுக்கமடைகிறதோ, அப்பொழுதெல்லாம் அதன்மீது ஒரு விசை செயல்படுகிறது என்ற உண்மையை மேற்கண்ட சமன்பாடு நமக்கு உணர்த்துகிறது. விசை \vec{F} மற்றும் முடுக்கம் \vec{a} இரண்டும் எப்பொழுதும் ஒரேதிசையில் செயல்படும்.

நியூட்டனின் இரண்டாம் விதி என்பது அரிஸ்டாட்டிலின் இயக்கம் பற்றிய கருத்திலிருந்து அடிப்படையிலேயே வேறுபட்டதாகும். நியூட்டனைப் பொறுத்தவரை இயக்கத்தினை ஏற்படுத்த விசை அவசியமில்லை. மாறாக இயக்கத்தில் ஒரு மாற்றத்தை ஏற்படுத்தத்தான் விசை தேவைப்படுகிறது. நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியை நாம் நிலைமக் குறிப்பாயங்களில் மட்டுமே பயன்படுத்த வேண்டும் என்பதை நினைவில் கொள்ள வேண்டும்.

முடுக்கப்பட்ட குறிப்பாயங்களுக்கு நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியை இதேவடிவில் பயன்படுத்த முடியாது, சில மாற்றங்கள் தேவைப்படும்.

SI அலகு முறையில் விசையின் அலகு நியூட்டன். இதன் குறியீடு N ஆகும்.

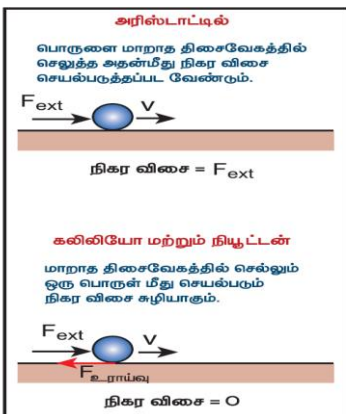
1 kg நிறையுடைய பொருளின்மீது ஒரு விசை செயல்பட்டு, அந்த விசையின் திசையே 1 m s⁻² முடுக்கத்தை ஏற்படுத்தினால் அவ்விசையின் அளவே ஒரு நியூட்டன் எனப்படும்.

சறுக்கிச் செல்லும் பொருட்கள் பற்றிய அரிஸ்டாட்டில் மற்றும் நியூட்டனின் கருத்து:

பிரிவு 3.1 இல் விவாதிக்கப்பட்ட சாய்தளம் மற்றும் பந்து சோதனைக்கான சரியான விறக்கத்தினை நியூட்டனின் இரண்டாம் விதி வழங்குகிறது. அந்த சோதனையில் உராய்வினைக் கணக்கில் எடுத்துக்கொள்ளும்போது பந்து சாய்தளத்தின் அடிப்பரப்பை அடைந்தவுடன் சிறிது தூரம் உருண்டு பின்பு ஓய்வு நிலையை அடைகிறது.

இதற்குக் காரணம் பந்தின் திசைவேகத்திற்கு எதிரான திசையில் ஒரு உராய்வு விசை செயல்பட்டு பந்தினை ஓய்வு நிலைக்குக் கொண்டுவருகிறது. இவ்வராய்வு விசைதான் திசைவேகத்தைப் படிப்படியாகக் குறைத்து அதனை சுழியாக்கி பொருளின் இயக்கத்தை நிறுத்துகிறது. ஆனால் அரிஸ்டாட்டிலின் கருத்துப்படி, பொருள் சாய்தளத்தின் அடிப்பரப்பை அடைந்த உடன் சிறிது தூரம் உருண்டு சென்று பின்னர் ஓய்வு நிலைக்கு வரும். ஏனெனில் அப்பொருளின் மீது எவ்விதமான விசையும் செயல்படவில்லை.

அடிப்படையில் அரிஸ்டாட்டில் பொருளின் மீதுசெயல்படும் உராய்வு விசையை முற்றிலுமாகப் புறக்கணித்து விட்டார்.



பொருட்களின் இயக்கம் பற்றிய அரிஸ்டாட்டில், கலிலியோ மற்றும் நியூட்டனின் கருத்துக்கள்

நியூட்டனின் மூன்றாம் விதி:

a வைக் கருதுக. எப்பொழுதெல்லாம் ஒரு பொருள் (1) இன்னொரு பொருளின் (2) மீது ஒரு விசையைச் செலுத்துகிறதோ (\vec{F}_{21}), அப்பொழுதெல்லாம் அந்த இரண்டாவது பொருளும் (2) அவ்விசைக்குச் சமமான, எதிர்திசையில் செயல்படும் ஒரு விசையை (\vec{F}_{12}) முதல் பொருளின் மீது செலுத்தும். இவ்விரண்டு விசைகளும் இரு பொருட்களையும் இணைக்கும் கோட்டின் வழியே செயல்படும்.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

விசைகள் சமமாகவும், எதிர்சோடிகளாகவும் (opposite pair) தோன்றும் என்பதை நியூட்டனின் மூன்றாம் விதி உறுதிப்படுத்துகிறது. தனித்த விசை அல்லது ஒரேயொரு விசை என்பது இயற்கையில் தோன்றுவதில்லை. நியூட்டனின் மூன்றாம் விதிப்படி, எந்தவொரு செயல் விசைக்கும் (action force) சமமான எதிர் செயல்விசை (reaction force) உண்டு. மாறாக, வெவ்வேறு பொருட்களின் மீது செயல்படுகின்றன. ஏதேனும் ஒரு விசையை செயல்விசை என்று அழைத்தால் மற்றொன்றை எதிர்ச்செயல்விசை என்று அழைக்க வேண்டும். நியூட்டனின் மூன்றாம் விதி நிலைமம் மற்றும் முடுக்குவிக்கப்பட்ட இவ்விரண்டு குறிப்பாயங்களுக்கும் பொருந்தும்.

இச்செயல் - எதிர்ச்செயல் விசைகள் காரணம் மற்றும் விளைவு (cause and effect) வகைகள் அல்ல. எவ்வாறெனில், முதல்பொருள் இரண்டாவது பொருளின் மீது ஒரு விசையினைச் செலுத்தும் அதே கணத்தில் இரண்டாவது பொருள் முதல் பொருளின் மீது சமமான எதிர்விசையைச் செலுத்தும்.

நியூட்டனின் மூன்றாம் விதிக்கான செயல்விளக்கம்

- (a) சுத்தியால் மற்றும் ஆணி
- (b) சுவற்றில் பட்டு பின்னோக்கி வரும் பந்து
- (c) உராய்வுடன் தரையில் நடத்தல்

நியூட்டன் விதிகள் பற்றிய ஒரு உரையாடல்:

1. நியூட்டன் விதிகள் வெக்டர் விதிகளாகும். $\vec{F} = m\vec{a}$ என்பது ஒரு வெக்டர் சமன்பாடு ஆகும். அடிப்படையில் இச்சமன்பாடு மூன்று ஸ்கேலர் சமன்பாடுகளுக்கு இணையானதாகும். கார்டிசியன் ஆயக்கூறுகளின் அடிப்படையில் இதனை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$F_x \hat{i} + F_y \hat{j} + F_z \hat{k} = ma_x \hat{i} + ma_y \hat{j} + ma_z \hat{k}$$

இருபுறமும் வெக்டர் கூறுகளை ஒப்பிடும்போது நமக்குக் கிடைக்கும் ஸ்கேலர் சமன்பாடுகள் பின்வருமாறு

$F_x = ma_x$. இங்கு x அச்சத்திசையில் ஏற்படும் முடுக்கம் (a_x), விசையின் x அச்சக்கூறினை (F_x) மட்டுமே சார்ந்ததாகும்.

$F_y = ma_y$. இங்கு y அச்சத்திசையில் ஏற்படும் முடுக்கம் (a_y), விசையின் y அச்சக் கூறினை (F_y) மட்டுமே சார்ந்ததாகும்.

$F_z = ma_z$. இங்கு z அச்சத்திசையில் ஏற்படும் முடுக்கம் (a_z), விசையின் z அச்சக் கூறினை (F_z) மட்டுமே சார்ந்ததாகும்.

மேற்கண்ட சமன்பாடுகளிலிருந்து நாம் அறிய வேண்டியது என்னவெனில், y திசையில் செயல்படும்விசை, x திசையில் ஏற்படும் முடுக்கத்தை எவ்விதிலும் பாதிக்காது. அதேபோன்று F_z

ஆனது a_y மற்றும் a_x ஐ எவ்விதிலும் பாதிக்காது. இந்தப்புரிதல் கணக்குகளைத் தீர்வு காண்பதில் முக்கிய பங்காற்றுகிறது.

2. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் (t), பொருள் அடையும் முடுக்கம், அதே நேரத்தில் அப்பொருளின் மீது செயல்படும் விசையினை மட்டுமே சார்ந்தது. அந்நேரத்திற்கு (t) முன்னர் செயல்பட்ட விசைனைப் பொருத்ததல்ல. இதனை பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\vec{F}(t) = m\vec{a}(t)$$

பொருளின் முடுக்கம், கடந்தகால விசையைச் சார்ந்ததல்ல. எடுத்துக்காட்டாக கிரிக்கெட் வியையாட்டில் சுழற்பந்து அல்லது வெகப்பந்து வீச்சாளரால் வீசப்பட்ட பந்து அவரின் கரத்தை விட்டு விடுபட்ட பின்பு புவியீர்ப்பு விசை மற்றும் காற்றின் உராய்வு விசை இவைகளை மட்டுமே உணரும். இந்நிலையில் பந்தின் முடுக்கம் அது எவ்வாறு (எவ்வளவு வேகமாக அல்லது மெதுவாக) வீசப்பட்டது என்பதைப் பொருத்ததல்ல.

3. பொதுவாக பொருளின் இயக்கம் விசையின் திசையிலிருந்து மாறுபட்டு அமையலாம். சில நேரங்களில் விசையின் திசையிலேயே பொருள் இயங்கினாலும், பொதுவாக இது உண்மையல்ல. அதற்கான சில உதாரணங்களை கீழே காணலாம்.

நேர்வு (1): விசையும் இயக்கமும் ஒரே திசையில்:

ஆப்பிள், புவியினை நோக்கி விழும்போது ஆப்பிளின் இயக்கத் திசையும் (திசை வேகமும்), ஆப்பிளின் மீது செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசையும் ஒரே கீழ்நோக்கிய திசையில் அமைந்துள்ளது. இது (a) இல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

(a) விசை மற்றும் இயக்கம் ஒரே திசையில்

நேர்வு (2) விசையும் இயக்கமும் வெவ்வேறு திசைகளில்:

நிலா புவியினை நோக்கி ஒரு விசையை உணர்கிறது ஆனால், நிலா புவியை ஒரு நீள்வட்டப்பாதையில் சுற்றி வருகிறது. இந்நிகழ்வில் இயக்கத்தின் திசை விசையின் திசையிலிருந்து மாறுபட்டு உள்ளதை (b) யிலிருந்து அறியலாம்.

(b) விசை மற்றும் இயக்கம் வெவ்வேறு திசைகளில் (புவியை நீள்வட்டப்பாதையில் சுற்றிவரும் நிலா)

நேர்வு (3) விசையும் இயக்கமும் எதிரெதிர் திசையில்:

பொருள் ஒன்றை செங்குத்தாக மேல் நோக்கி எறியும்போது இயக்க திசை மேல் நோக்கியும், பொருளின் மீது செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசையின் திசை கீழ்நோக்கியும் செயல்படும். இது (c) இல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

(c) விசையும், இயக்கமும் எதிரெதிராக

நேர்வு (4) சுழி நிகர விசையும் பொருளின் இயக்கம்:

மேகத்திலிருந்து விடுபட்ட மழைத்துளி ஒன்று கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை மற்றும் மேல் நோக்கிச் செயல்படும் காற்றின் இழுவிசை இவ்விரண்டு விசைகளையும் உணர்கிறது. மழைத்துளி கீழ் நோக்கி வரும் போது காற்றின் இழுவிசை (பாகியல் விசை) அதிகரித்துக் கொண்டே சென்று ஒரு நிலையில் கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசையை சமன்செய்துவிடும். ஆக்கணத்திலிருந்து மழைத்துளி தரையில் விழும்பவரை மாறாத்திசை வேகத்துடன் வருகிறது. எனவே

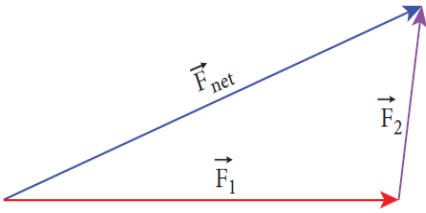
மழைத்துளி சுழி நிகர விசையுடனும் ஆனால் சமீயற்ற முற்றுத்திசை வேகத்துடனும் (terminal velocity) தரையை அடைகிறது. இது (d) இல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

(d) சுழிநிகரவிசை மற்றும் சமீயற்ற முற்றுத்திசை வேகத்துடன் தரையை அடையும் மழைத்துளி

4. பல்வேறு விசைகள்

1) $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n$ விசைகள் ஒரு பொருளின் மீது செயல்படும் போது, அப்பொருளின் மீது செல்படும் நிகரவிசை (\vec{F}_{net}) தனித்தனி விகைளின் வெக்டர் கூடுதலுக்குச் சமமாகும். அந்த நிகர விசை (\vec{F}_{net}) பொருளின் மீது முடுக்கத்தை ஏற்படுத்தும்.

$$\vec{F}_{net} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n$$



$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_{net}$$

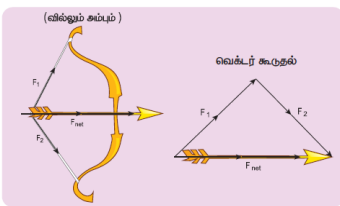
இரண்டு விசைகளின் வெக்டர் கூடுதல்

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a}$$

இத்தகைய நேர்வகையில் நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்

முடுக்கத்தின் திசை, நிகர (net) விசையின் திசையில் இருக்கும்

எடுத்துக்காட்டு: வில்லும் அம்பும்



வில் மற்றும் அம்பு-நிகர விசை அம்பின் மீது உள்ளது.

2) நியூட்டன் இரண்டாம் விதியை பின்வரும் வடிவிலும் எழுதலாம் ஏனெனில் முடுக்கமென்பது பொருளின் இப்பெயர்ச்சி வெக்டரின் இரண்டாம்படி வகைகெழு ஆகும். $\left(\vec{a} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} \right)$, எனவே பொருளின் மீது செயல்படும் விசை பின்வருமாறு எழுதப்படுகிறது.

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

இச்சமன்பாட்டிலிருந்து நாம் அறிந்துகொள்வது நியூட்டன் இரண்டாம் விதியானது அடிப்படையில் ஒரு இரண்டாம்படி வகைக்கெழுச் சமன்பாடாகும். எப்பொழுதெல்லாம் இடப்பெயர்ச்சி வெக்டரின் இரண்டாம்

வகைக்கெழு சுழியல்லாத மதிப்பினை பெறுகிறதோ அப்பொழுதெல்லாம் பொருளின் மீது விசை செயல்படுகிறது. பொருளின் மீது எவ்விதமான விசையும் செயல்படாத நிலையில் நியூட்டனின்

இரண்டாம் விதி, $m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = 0$ அதாவது பொருள் மாறாதத்திசை வேகத்துடன் ($v = \text{மாறிலி}$)

இயங்குகின்றது என்று நமக்கு உணர்த்துகிறது. இதிலிருந்து நியூட்டனின் இரண்டாம் விதி, முதல்விதியோடு இயல்பாகப் பொருந்துவதை நாம் உணரலாம். ஆனாலும் ஒரே பொருளின் மீது எந்த விசையும் செயல்படாத போது நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியானது முதல் விதியாக மாறுகிறது என்று நாம் கருதக்கூடாது. நியூட்டனின் முதல் விதி மற்றும் இரண்டாம் விதி இவிவிரண்டும் ஒன்றையொன்று சாராத விதிகளாகும். அவை இயல்பாக ஒன்றுடன் ஒன்று பொருந்துகின்றன. ஆனால் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றை தருவிக்க இயலாது (cannot derived from each other).

7. நியூட்டனின் இரண்டாம் விதி காரணம் மற்றும் விளைவு வகையைச் சார்ந்தது. விசை ஒரு காரணம் எனில் முடுக்கம் அதற்கான விளைவு ஆகும். மரபுப்படி சமன்பாட்டின் இடதுகை பக்கம், விளைவையும் எழுத வேண்டும். எனவே நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியின் சரியான வடிவம் $m\vec{a} = \vec{F}$ அல்லது $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$

நியூட்டன் விதிகளின் பயன்பாடு:

தனித்த பொருளின் விசைப்படம் (Free Body Diagram)

தனித்த பொருளின் விசைப்படம் என்பது நியூட்டன் விதிகளைப் பயன்படுத்தி பொருளின் இயக்கத்தினை பகுத்தறியப் பயன்படும் ஒரு எளிய முறையாகும். தனித்த பொருளின் விசைப்படத்தை உருவாக்கும் போது கீழ்க்கண்ட நெறிமுறைகளை வரிசைப்படி பின்பற்ற வேண்டும். அவை

1. பொருளின் மீது செயல்படும் விசைகளைக் கண்டறிய வேண்டும்.
2. பொருளை ஒரு புள்ளியாகக் குறிப்பிட வேண்டும்.
3. பொருள் மீது செயல்படும் விசைகளைக் குறிப்பிடும் வெக்டர்களை வரைய வேண்டும். தனித்த விசைப்படம் வரையும்போது பொருட்கள் ஏற்படுத்தும் விசைகளை படத்தில் குறிப்பிட்டுக் காட்டக்கூடாது என்பதைக் கவனத்தில் கொள்ளவும்.

எடுத்துக்காட்டு.

m நிறையுள்ள புத்தகம் ஒன்று மேசை ஒன்றின் மீது ஓய்வு நிலையில் உள்ளது.

1. புத்தகத்தின் மீது செயல்படும் விசைகள் யாவை?
2. புத்தகம் செலுத்தும் விசைகள் யாவை?
3. புத்தகத்தின் விசைப்படத்தை வரைக.

தீர்வு

1) புத்தகத்தின் மீது இரண்டு விசைகள் செயல்படுகின்றன. அவை

- i. கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை (mg).
- ii. புத்தகத்தின் மீது மேசையின் பரப்பு ஏற்படுத்தும் செங்குத்து விசை (N). இது மேல் நோக்கியத்திசையில் செயல்படும்.

2) நியூட்டனின் மூன்றாம் விதிப்படி, புத்தகம் இரண்டு எதிர்விசைகளைத் தருகிறது.

i. புவியீர்ப்பு விசை (mg) க்கு எதிராக புத்தகம் புவியின்மீது செலுத்தும் விசை. இது மேல்நோக்கிச் செயல்படும்.

ii. மேசையின் பரப்புமீது, செங்குத்து விசை (N) க்கு எதிராக புத்தகம் செலுத்தும் விசை. இவ்விசை கீழ்நோக்கி செயல்படும்.

3. புத்தகத்தின் தனித்த பொருள் விசைப்படம் மேலே உள்ள படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது.

எடுத்துக்காட்டு:

2.5 kg மற்றும் 100 kg நிறையுடைய இரண்டு பொருள்களின் மீதும் 5 N விசை செயல்படுகிறது. ஒவ்வொரு பொருளின் முடுக்கத்தைக் காண்க.

தீர்வு

நியூட்டனின் இரண்டாம் விதிப்படி (எண்மதிப்பு அளவில்) $F=ma$
2.5 kg நிறையுடைய பொருள் பெறும் முடுக்கம்

$$a = \frac{F}{m} = \frac{5}{2.5} = 2ms^{-2}$$

100 kg நிறையுடைய பொருள் பெறும் முடுக்கம்

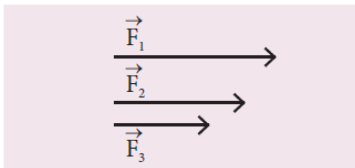
$$a = \frac{F}{m} = \frac{5}{100} = 0.05ms^{-2}$$

ஆப்பிள், மரத்திலிருந்து கீழே விழும் போது அது புவி ஈர்ப்பு விசையை உணரும். நியூட்டனின் மூன்றாவது விதிப்படி ஆப்பிளும் இதற்குச் சமமான எதிர்விசையை புவியின் மீது செலுத்தும். இவ்விரண்டு விசைகளும் ஒன்றுக்கொன்று சமமாக இருப்பினும் அவைகள் பெரும் முடுக்கம் வெவ்வேறானவை.

புவியின் நிறை, ஆப்பிளின் நிறையுடன் ஒப்பிடும்போது மிகவும் அதிகம். நிறையுடன் ஒப்பிடும்போது மிகவும் அதிகம். எனவே, ஆப்பிள் மிக அதிக முடுக்கத்தைப் பெறுகிறது. ஆனால் புவி மிகவும் குறைவான புறக்கணிக்கத்தக்க முடுக்கத்தையே பெறுகிறது. எனவேதான் ஆப்பிள் கீழே விழும் போது புவி ஓய்வு நிலையில் உள்ளது போன்று தோன்றுகிறது.

எடுத்துக்காட்டு.

படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள \vec{F}_1 , \vec{F}_2 , \vec{F}_3 மூன்று விசைகளில் பெரும் விசை எது?



தீர்வு

விசை ஒரு வெக்டர். ஒரு வெக்டரின் எண் மதிப்பு அதன் நீளத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. எனவே கொடுக்கப்பட்ட வெக்டர்களில் \vec{F}_1 ன் நீளம் அதிகம் எனவே \vec{F}_1 வெக்டர் பெரும் விசையாகும்.

எடுத்துக்காட்டு.

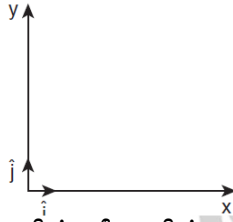
400 g நிறை கொண்ட மாங்காய் ஒன்று மரத்தில் தொங்கிக் கொண்டிருக்கிறது. நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்தி மாங்காயைத் தாங்கியுள்ள காம்பின் இழுவிசையைக் காண்க.

தீர்வு

குறிப்பு: நியூட்டன் விதிகளைப் பயன்படுத்தும் போது பின்வரும் கருத்துக்களை கவனமுடன் பின்பற்ற வேண்டும்.

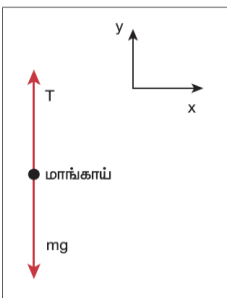
1. பொருத்தமான நிலைமக்குறிப்பாயம் ஒன்றைக் கருத வேண்டும் பொதுவாக புவியினை ஒரு நிலைமக்குறிப்பாயமாகக் கருதலாம்.
2. நியூட்டன் விதிகளைப் பயன்படுத்தத் தேவையான அமைப்பைக் கண்டறிய வேண்டும். அவ்வமைப்பானது ஒரு பொருள் அமைப்பாகவோ அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட பொருள்கள் சேர்ந்த அமைப்பாகவோ இருக்கலாம்.
3. பொருளின் மீது செயல்படும் செயல்படும் விசைகளைக் கண்டறிந்து அவற்றைக் கொண்டு விசைப்படம் வரைய வேண்டும். பின்னர் நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியை பயன்படுத்த வேண்டும். இடப்பக்கம் பொருளினி மீது செயல்படும் விசைகளை வெக்டர் வடிவில் குறிப்பிட வேண்டும். வலப்பக்கம் பொருளின் நிறை மற்றும் அப்பொருள் முடுக்கம் இவற்றின் பெருக்கல்பலனை வெக்டர் வடிவில் குறிப்பிட வேண்டும். ஏனெனில் முடுக்கம் ஒரு வெக்டர் அளவாகும்.
4. முடுக்கம் கொடுக்கப்பட்டிருப்பின் விசையைக் கண்டறியலாம். அதே போல் விசை கொடுக்கப்பட்டிருப்பின் பொருளின் முடுக்கத்தைக் காணலாம்.

மேலே கொடுக்கப்பட்டுள்ள கருத்துக்களின்படி படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு தரையில் ஒரு நிலைமக் குறிப்பாயத்தைக் கருத வேண்டும்.



மாங்காயின் மீது பின்வரும் இரண்டு விசைகள் செயல்படுகின்றன.

- i. மாங்காயின் மீது எதிர்க்குறி y அச்சத்திசையில் கீழ் நோக்கி செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை, நேர்க்குறி y அச்சத்திசையில் செயல்படும் மாங்காயைத் தாங்கியுள்ள காம்பு, மாங்காயின் மீது செலுத்தும் மேல் நோக்கிய இழுவிசை. மாங்காயின் விசைப்படம் கீழே காட்டப்பட்டுள்ளது.



$$\vec{F}_g = mg(-\hat{j}) = mg\hat{j}$$

இங்கு mg என்பது புவியீர்ப்பு விசையின் எண்மதிப்பு மற்றும் $(-\hat{j})$ என்பது எதிர் குறி y அச்சத்திசையைக் குறிக்கும் ஓரலகுவெக்டர்.

$$\vec{T} = T\hat{j}$$

இங்கு \hat{j} என்பது மாங்காயின் மீது செயல்படும் இழுவிசை மற்றும் $(-\hat{j})$ என்பது நேர்குறி y அச்சத்திசையைக் குறிக்கும் ஓரலகு வெக்டர்

$$\vec{F}_{net} = \vec{F}_g + \vec{T} = -mg\hat{j} + T\hat{j} = (T - mg)\hat{j}$$

நியூட்டன் இரண்டாம் விதிப்படி, $\vec{F}_{net} = m\vec{a}$ நம்மைப்பொருத்து (நிலைமக்குறிப்பாயத்தை பொருத்து) மாங்காய் ஓய்வு நிலையில் உள்ளது எனவே அதன் முடுக்கம் சுழி ($\vec{a}=0$) எனவே, $\vec{F}_{net} = m\vec{a}=0$

$$(T - mg)\hat{j} = 0$$

மேலே உள்ள சமன்பாட்டின் இரண்டுபக்கங்களின் வெக்டர் கூறுகளை ஒப்பிடும்போது $T - mg = 0$ எனக்கிடைக்கும்

எனவே, மாங்காய்க் காம்பின் இழுவிசை $T = mg$ மாங்காயின் நிறை $m = 400$ ப மேலும் $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$

எனவே மாங்காயின் மீது செயல்படும் இழுவிசை
 $T = 0.4 \times 9.8 = 3.92 \text{ N}$

எடுத்துக்காட்டு.

இருசக்கர வாகனங்களில் தனித்தனியே பயணம் செய்யும் இருவரில், தரையைப் பொருத்து மாறா திசைவேகத்தில் பயணம் செய்கிறார். மற்றொருவர் தரையை பொதுத்து \vec{a} என்ற முடுக்கத்துடன் பயணம் செய்கிறார். இவ்விரண்டு பயணிகளில் எந்தப் பயணி நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்தலாம்?

தீர்வு:

தரையைப் பொருத்து \vec{a} என்ற முடுக்கத்துடன் பயணம் செய்யும் நபர் நியூட்டன் இரண்டாம் விதியை பயன்படுத்த முடியாது. ஏனெனில் அவர் நிலைமக்குறிப்பாயத்தில் இல்லை. நிலைமக்குறிப்பாயத்தில் இல்லை. நிலைமக்குறிப்பாயத்தில் உள்ள பொருள் தானாக முடுக்கமடையாது. தரையைப் பொருத்து \vec{v} என்ற மாறாத்திசை வேகத்துடன் பயணம் செய்யும் நபர் நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்தலாம் ஏனெனில் அவர் தரையைப் பொறுத்து நிலைமக் குறிப்பாயத்தில் பயணிக்கிறார்.

எடுத்துக்காட்டு.

துகளொன்றின் நிலை வெக்டர் $\vec{r} = 3t\hat{i} + 5t^2\hat{j} + 7\hat{k}$. எந்த திசையில் இந்த துகள் நிகர விசையை உணர்கிறது?

தீர்வு

துகளின் திசைவேகம் =

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(3t)\hat{i} + \frac{d}{dt}(5t^2)\hat{j} + \frac{d}{dt}(7)\hat{k}$$

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = 3\hat{i} + 10t\hat{j}$$

துகளின் முடுக்கம்

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = 10\hat{j}$$

இங்கு, நேர்குறி y அச்சத்திசையில் மட்டுமே துகள் முடுக்கமடையும். நியூட்டன் இரண்டாம் விதிப்படி நிகர விசையின் திசையும் நேர்குறி y அச்சின் திசையிலேயே அமையும். மேலும் இத்துகள் நேர்குறி x அச்சத்திசையில் மாறாத் திசைவேகத்தைப் பெற்றுள்ளது. ஆனால் z அச்சத்திசையில் எவ்வித திசைவேகத்தையும் பெறவில்லை. எனவே, x அல்லது z திசையில் எந்த நிகர விசையும் செயல்படவில்லை.

எடுத்துக்காட்டு.

நீட்சித்தன்மையற்ற மெல்லிய கயிறு ஒன்றில் கட்டி தொங்கவிடப்பட்ட ஊசல்குண்டு ஒன்றைக் கருதுக அதன் அலைவுகள் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது.

a) ஊசல் குண்டின் மீது செயல்படும் விசைகள் யாவை?

b) ஊசல் குண்டின் முடுக்கத்தினைக் காண்க

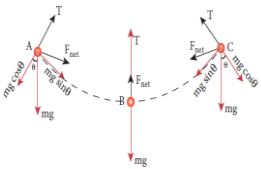
தீர்வு:

ஊசல் குண்டின் மீது பின்வரும் இரண்டு விசைகள் செயல்படுகின்றன அவை

i. கீழ் நோக்கிச் செயல்படும் புவி ஈர்ப்பு விசை (mg)

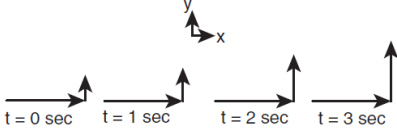
ii. குண்டின் மீது நூல் செலுத்தும் இழுவிசை (T). இந்த இழுவிசையின் திசையை ஊசல்குண்டின் நிலை (Position) தீர்மானிக்கிறது. அது பின்வரும் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது.

படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு ஊசல்குண்டு ஒரு வட்டவில் பாதையில் இயங்குகிறது. எனவே இது ஒரு மைய நோக்கு முடுக்கத்தைப் பெறும். ஊசல் குண்டு A மற்றும் C புள்ளிகளில் கண நேர ஓய்வில் இருந்து, பின்னர் B புள்ளியை நோக்கிச் செல்லும்போது அதன் திசைவேகம் அதிகரிக்கும். எனவே, ஊசல்குண்டு வட்டவில்பாதையில் ஒரு தொடு கோட்டு முடுக்கத்தைப் பெறும். கீழே உள்ள படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு புவியீர்ப்பு விசையை ($mg \cos \theta, mg \sin \theta$) என இருகூறுகளாகப் பிரிக்கலாம்.



எடுத்துக்காட்டு.

தளம் ஒன்றில் இயங்கும் துகளின் திசைவேகம் பின்வரும் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. துகள் மீது செயல்படும் விசையின் திசையைக் காண்க.



தீர்வு:

துகளின் திசைவேகம் $\vec{v} = v_x \hat{i} + v_y \hat{j} + v_z \hat{k}$. படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்று துகள் xy தளத்தில் இயங்குகிறது. z அச்சில் எவ்வித இயக்கமும் இல்லை. எனவே $v_z = 0$

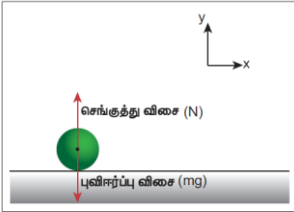
திசைவேகத்தின் x கூறு v_x மற்றும் y கூறு v_y என்க. $t=0$ வினாடியிலிருந்து $t=3$ வினாடிவரை உள்ள நேர இடைவெளியில் y அச்சத்திசையில் வெக்டரின் நீளம் அதிகரிப்பதைக் காணலாம். எனவே y அச்சத்திசையில் திசைவேகத்தின் கூறு (v_y) நேரத்தைப் பொருத்து அதிகரிக்கிறது. நியூட்டனின் இரண்டாம் விதிப்படி y அச்சத்திசையில் துகள் ஒரு முடுக்கத்தினைப் பெறும். எனவே y அச்சத்திசையில் துகளின் மீது ஒரு விசை செயல்படும். x அச்சத்திசையில் வெக்டரின் நீளம் மாறாமதிப்பினைப் பெற்றுள்ளது. இதன்மூலம் துகள் x அச்சில்மாறாத்திசைவேகத்துடன் இயங்குவதைக் காட்டுகிறது. எனவே x அச்சில் நிகர விசை சுழியாகும்.

எடுத்துக்காட்டுக:

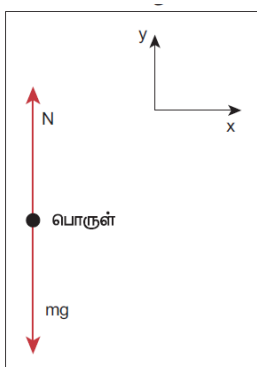
புவிப்பரப்பில் ஓய்வு நிலையிலுள்ள பொருள் ஒன்றுக்கு நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியினைப் பயன்படுத்தி அதன் மூலம் பெறப்படும் முடிவுகளை ஆராய்க.

தீர்வு:

நிலைமக்குறிப்பாயமாகக் கருதப்படும் புவியைப் பொருத்து பொருளொன்று ஓய்வு நிலையில் உள்ளது என்க. அப்பொருளின் மீது பின்வரும் இரண்டு விசைகள் செயல்படுகின்றன அவை,



- எதிர்க்குறி y அச்சத்திசையில் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை (mg)
- நேர்க்குறி y அச்சத்திசையில் செயல்படும் புவிப்பரப்பு பொருளின் மீது செலுத்தும் மேல் நோக்கிய செங்குத்துவிசை (N). பொருளின் விசைப்படம் பின்வருமாறு.



$$\vec{F}_g = -mg\hat{j}$$

$$\vec{N} = N\hat{j}$$

தொகுபயன் விசை $\vec{F}_{net} = -mg\hat{j} + N\hat{j}$ பின்னால்தான், பொருள் எவ்வித முடுக்கத்தையும் பெறவில்லை எனவே $\vec{a} = 0$.

நியூட்டன் இரண்டாம் விதிப்படி

$$(\vec{F}_{net} = m\vec{a})$$

இருபுறமும் சமன்பாட்டின் கூறுகளை ஒப்பிடும்போது

$$(-mg + N)\hat{j} = 0$$

$$-mg + N = 0$$

$$N = mg$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து நாம் அறிவது என்னவெனில், பொருள் ஓய்வு விசையின் எண்மதிப்பும் புவியீர்ப்பு விசையின் எண்மதிப்பும் ஒன்றுக்கொன்று சமமாகும்.

எடுத்துக்காட்டு.

2kg நிறையுடைய பொருளின்மீது பின்வரும் இரண்டு விசைகள் செயல்படுகின்றன. $\vec{F}_1 = 5\hat{i} + 8\hat{j} + 7\hat{k}$ மற்றும் $\vec{F}_2 = 3\hat{i} - 4\hat{j} + 3\hat{k}$. பொருளின் முடுக்கத்தைக் காண்க.

தீர்ப்பு:

நியூட்டனின் இரண்டாவது விதிப்படி, $\vec{F}_{net} = m\vec{a}$

இங்கு $\vec{F}_{net} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$.

மேற்கண்ட சமன்பாடுகளின் படி $\vec{a} = \frac{\vec{F}_{net}}{m}$

$$\vec{F}_{net} = (5+3)\hat{i} + (8-4)\hat{j} + (7+3)\hat{k}$$

$$\vec{F}_{net} = 8\hat{i} + 4\hat{j} + 10\hat{k}$$

$$\vec{a} = \left(\frac{8}{2}\right)\hat{i} + \left(\frac{4}{2}\right)\hat{j} + \left(\frac{10}{2}\right)\hat{k}$$

$$\vec{a} = 4\hat{i} + 2\hat{j} + 5\hat{k}$$

எடுத்துக்காட்டு:

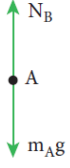
படத்தில் காட்டியுள்ள A, B மற்றும் C என்ற கனச் செவ்வகத்துண்டுகளின் மீது செயல்படும் விசைகளை காண்க.

கனச்செவ்வகத்துண்டு A யின் மீது செயல்படும் விசைகள்:

i. புவி ஏற்படுத்தும் கீழ்நோக்கிய ஈர்ப்பு விசை ($m_A g$)

ii. பொருள் B ஏற்படுத்தும் மேல் நோக்கிய செங்குத்து எதிர்விசை (N_B)
A யின் “தனித்த பொருளின் விசைப் படம் கீழே காட்டப்பட்டுள்ளது.

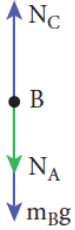
A ன் மீது செயல்படும் விசை



பொருள் B மீதான விசைகள்:

- i) கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை ($m_B g$)
- ii) கனச்செவ்வகத் துண்டு A ஏற்படுத்தும் கீழ்நோக்கிய விசை (N_A)
- iii) கனச்செவ்வகத் துண்டு C ஏற்படுத்தும் மேல்நோக்கிய விசை (N_C)

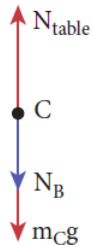
B ன் மீது செயல்படும் விசை



கனச்செவ்வகத் துண்டு C இன் மீது செயல்படும் விசை:

- i) கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை ($m_C g$)
- ii. கனச்செவ்வகத் துண்டு B ஏற்படுத்தும் கீழ்நோக்கிய விசை (N_B)
- iii. மேசை ஏற்படுத்தும் மேல்நோக்கிய செங்குத்து விசை (N_{table})

C ன் மீது செயல்படும் விசை



எடுத்துக்காட்டு:

வண்டியில் கட்டப்பட்ட குதிரை ஒன்றைக் கருதுக. தோடக்கத்தில் அக்குதிரை ஓய்வு நிலையில் உள்ளது. குதிரை முன் நோக்கி நடக்கத் தொடங்கும்போது, வண்டி முன்னோக்கி ஒரு முடுக்கத்தைப்பெறும். F_h என்ற விசையுடன் குதிரை, வண்டியை முன்னோக்கி இழுக்கும். அதேநேரத்தில் நியூட்டனின் மூன்றாம் விதிப்படி வண்டியும், அதற்கு சமமான எதிர்விசையில்

செயல்படும் ($F_c = F_h$) என்ற விசையுடன் குதிரையைப் பின்னோக்கி இழுக்கும். எனவே குதிரை மற்றும் வண்டி என்ற தொகுப்பின் விசை சுழியாக இருப்பினும் ஏன் குதிரை மற்றும் வண்டி முடுக்கமடைந்து முன்னோக்கி செல்கின்றன?

தீர்வு:

இம்முரண் கூற்றுக்குக் காரணம் நியூட்டனின் இரண்டாம் மற்றும் மூன்றாம் விதிகளை தவறாக பயன்படுத்துவதற்கு முன் அமைப்பின் (System) தீர்மானிக்க வேண்டும்.

இவ்வாறு அமைப்பினைக் கண்டறிந்த பின்னர் அவ்வமைப்பின் மீது செயல்படும் அனைத்து விசைகளையும் எளிதாகக் கண்டறியலாம். இங்கு அமைப்பு ஏற்படுத்தும் விசைகளைக் கருதக் கூடாது என்பதை நினைவில் கொள்ளவும். அமைப்பின் மீது ஏதேனும் சமன் செய்யப்படாத விசைகள் செயல்பட்டால், அமைப்பு தொகுபயன் விசையின் திசையில் முடுக்கமடையும். பின்வரும் கருத்துக்களை வரிசைப்படி பின்பற்றி குதிரை மற்றும் வண்டியின் இயக்கத்தைப் பகுப்பாய்வு செய்யலாம்.

குதிரை மற்றும் வண்டி இவை இரண்டையும் ஒன்றாக ஒரு அமைப்பு (எலளவநஅ) என்று கருதினால் குதிரை, வண்டியின் மீது செலுத்தும் எதிர்விசையையும் கருதக் கூடாது. மாறாக இந்த இரு விசைகளையும் அகவிசைகளாகக் கருத வேண்டும். மேலும் நியூட்டனின் மூன்றாம் விதிப்படி அகவிசைகளின் தொகுப்பயன் சுழி. ஆவை அமைப்பினை முடுக்கமடையச் செய்யாது. மீது ஏற்படும் முடுக்கம் புறவிசையால் மட்டுமே ஏற்படும். நாம் கருதும் இந்நிகழ்வில், சாலையானது அமைப்பின் மீது செலுத்தும் விசை புறவிசையாகும். ஆமைப்பின் மீது செயல்படும் அனைத்து விசைகளையும் கருதாமல் குதிரை மற்றும் வண்டியின் தொகுபயன் விசை சுழி என்று கருதுவது தவறாகும். சாலையானது, வண்டி – குதிரை அமைப்பை முன்னோக்கித் தள்ளுகிறது. வெளிப்புற விசை ஒன்று அமைப்பின் மீது செயல்படும் போது நியூட்டனின் மூன்றாம் விதியைப் பயன்படுத்தாமல் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்த வேண்டும். பின்வரும் படம் இதனை விளக்குகிறது.

குதிரையை அமைப்பு என்று கருதினால், அதன்மீது பின்வரும் மூன்று விசைகள் செயல்படுகின்றன.

- i) கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை ($m_n g$)
- ii) சாலை, குதிரையின் மீது செலுத்தும் விசை (F_r)
- iii) வண்டி, குதிரையின் மீது செலுத்தும் பின்னோக்கிய விசை (F_c)

இவை பின்வரும் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. குதிரையின் மீது செயல்படும் விசைகள்

இயக்க விதிகள் (Lawa of motion)

F_r – சாலை குதிரையின் மீது செலுத்தும் விசை

F_c – வண்டி குதிரையின் மீது செலுத்தும் விசை

F_r^\perp - விசை F_r இன் செங்குத்துக் கூறு = N

F_r^\parallel - விசை F_r இன் கிடைத்தளக் கூறு. (இதுவே முன்னோக்கிய இயக்கத்திற்கும் காரணம்)

சாலை, குதிரையின் மீது செலுத்தும் விசையை, கிடைத்தளக்கூறு மற்றும் செங்குத்துக் கூறு என இரண்டாகப்பிரிக்கலாம். செங்குத்துக்கூறு கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசையை சமன் செய்கிறது. முன்னோக்கிய திசையில் செயல்படும் கிடைத்தளக் கூறு பின்னோக்கிய விசை (F_c) ஐ விட அதிகம். எனவே முன்னோக்கியத் திசையில் ஒரு தொகுபயன் விசை செயல்பட்டு குதிரையை முன்னோக்கி இயக்குகிறது.

வண்டியை அமைப்பாகக் கருதினால், அதன்மீது பின்வரும் மூன்று விசைகள் செயல்படுகின்றன.

- i) கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை ($m_c g$)
- ii) சாலை, வண்டியின் மீது செலுத்தும் விசை (F_r)
- iii) குதிரை, வண்டியின் மீது செலுத்தும் விசை (F_h)

இது பின்வரும் படத்தில் குறிப்பிட்ட காட்டப்பட்டுள்ளது.

சாலை வண்டியின் மீது செலுத்தும் விசையை (\vec{F}_r) இரண்டு கூறுகளாகப் பிரிக்கலாம். செங்குத்துக் கூறு, கீழ்நோக்கியீர்பு விசையை ($m_c g$) சமன் செய்யும். கிடைத்தளக்கூறு பின்னோக்கிச் செயல்படும். மேலும் குதிரை, வண்டியின் மீது செலுத்தும் விசை (\vec{F}_r) முன்னோக்கிச் செயல்படும்.

இது பின்னோக்கிச் செயல்படும் கிடைத்தளக் கூறைவிட அதிகம். எனவே, முன்னோக்கியத் திசையில் ஒரு தொகுபயன் விசை கிடைக்கும். இதன் காரணமாக வண்டி முடுக்கமடையும்.

குதிரை மற்றும் வண்டி இரண்டையும் ஒரு அமைப்பாகக் கருதினால், இவ்வமைப்பின் மீது இரண்டு விசைகள் செயல்படும். அவை பின்வருமாறு

i. கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை ($m_h + m_c$)g

ii. சாலை, அமைப்பின் மீது செலுத்தும் விசை (F_r)

இவை, பின்வரும் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன.

iii. இந்நிகழ்வில், சாலை அமைப்பின் மீது ஏற்படுத்தும் விசையை (F_r) இரு கூறுகளாகப்பிரிக்கலாம்.

iv. சாலை, அமைப்பின் மீது செலுத்தும் விசையின் சமன் செய்யப்படாத கிடைத்தளக்கூறு, குதிரை மற்றும் வண்டி அமைப்பு முன்னோக்கிச் செல்வதற்கு காரணமாக அமைகிறது.

செங்குத்துக்கூறு புவியீர்ப்பு விசை ($m_h + m_c$)g யை சமன் செய்யும் எடுத்துக்காட்டு:

$y = ut - \frac{1}{2}gt$ என்ற சமன்பாடு துகள் ஒன்றின் நிலையைக் குறிக்கிறது.

a. அத்துகளின் மீது செயல்படும் விசை மற்றும்

b. அத்துகளின் உந்தத்தைக் காண்க

தீர்வு

துகளின் மீது செயல்படும் விசையைக் காண அத்துகள் அடையும் முடுக்கத்தைக் கணக்கிட வேண்டும்.

எனவே முடுக்கம் $a = \frac{d^2y}{dt^2}$ (அல்லது) $a = \frac{dv}{dt}$

இங்கு

v என்பது y-அச்சில் துகளின் திசைவேகம்

$$v = \frac{dy}{dt} = u - gt$$

துகளின் உந்தம் = $mv = m(u - gt)$

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

$$F = ma = -mg$$

விசை, எதிர்குறி y அச்சத்திசையில் செயல்படுவதை எதிர்குறி காட்டுகிறது. மேலும் இதே விசைதான் எறிபொருள் ஒன்றின் மீது செயல்படும் விசையாகும்.

சாய்தளத்தில் இயங்கும் பொருளின் இயக்கம்:

m நிறையுடைய பொருள் ஒன்று, சாய் கோணம் கொண்ட உராய்வற்ற சாய்தளம் ஒன்றில் காட்டியுள்ளவாறு சறுக்கிச் செல்கிறது என்க. அப்பொருளின் மீது செயல்படும் விசைகள் பின்வருவனவற்றைத் தீர்மானிக்கின்றன.

a. பொருளின் முடுக்கம்

b. பொருள் தரையை அடையும்போது அதன் வேகம்

பொருளின் மீது செயல்படும் விசைகள்

i. கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை (mg)

ii. சாய்தளத்திற்குச் செங்குத்தாகப் பொருளின்மீது செயல்படும் செங்குத்து விசை (N)

சாய்தளத்தில் இயங்கும் பொருள்

பொருளின் தனிப் பொருள் விசைப்படம் வரைய, அப்பொருள் ஒரு புள்ளிநிறையாகக் கருத வேண்டும்.

படம் a இல் காட்டியுள்ளபடி இயக்கம் சாய்தளத்தில் நடைபெறுவதால் படம் b இல் காட்டியவாறு சாய்தளத்திற்கு இணையாக உள்ள ஒரு ஆய அச்ச அமைப்பினை தேர்வு செய்ய வேண்டும்.

புவியீர்ப்பு விசை mg ஐ இரண்டு கூறுகளாகப் பிரிக்க வேண்டும்

$mg \sin \theta$ கூறு சாய்தளத்திற்கு இணையாகவும்,

$mg \cos \theta$ கூறு சாய்தளத்திற்கு செங்குத்தாகவும் உள்ளோக்கிய செயல்படுகின்றன.

புவியீர்ப்பு விசை (mg) சாய்தளத்தின் கீழ்நோக்கிய செங்குத்துடன் ஏற்படுத்தும் கோணம், படம் (c) இல் காட்டப்பட்டுள்ள சாய் கோணம் (θ) விற்குச் சமம்.

y அச்சத்திசையில் எவ்விதமான இயக்கமும் முடுக்கமும் இல்லை

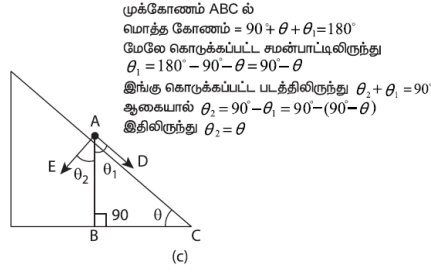
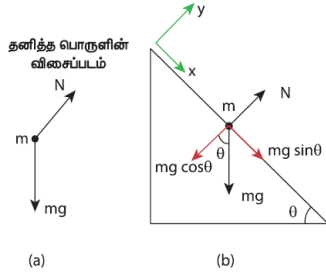
y அச்சத்திசையில் நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்தினால்

$$-mg \cos \theta + N = 0 \text{ (முடுக்கம் இல்லை)}$$

சமன்பாட்டின் இருபுறமும் உள்ள கூறுகளை ஒப்பிடும் போது $N - mg \cos \theta = 0$

$$N = mg \cos \theta$$

சாய்தளப்பரப்பு ஏற்படுத்தும் செங்குத்து விசையின் (N) எண்மதிப்பு $mg \cos \theta$ விற்குச் சமம்.



- (a) தனிப்பொருள் விசைப்படம் (b) mg ன் கிடைத்தள மற்றும் செங்குத்துக் கூறுகள்
(c) கோணம் θ_2 θ க்குச் சமம்.

பொருள் x அச்சத்திசையில் a முடுக்கத்துடன் சறுக்கிச் செல்கிறது. எனவே x அச்சத்திசையில் நியூட்டன் இரண்டாம் விதியை பயன்படுத்தினால்

$$mg \sin \theta = ma$$

இருபுறமும் கூறுகளை ஒப்பிடும்போது

$$mg \sin \theta = ma$$

சறுக்கும் பொருளின் முடுக்கம்

$$a = g \sin \theta$$

இங்கு பொருளின் முடுக்கம், சாய்கோணம் θ வைச் சார்ந்தது என்பதை கவனிக்க வேண்டும். சாய்கோணம் $\theta = 90^\circ$ எனில் பொருள் ($a = g$) என்ற முடுக்கத்துடன் செங்கத்தாக கீழ்நோக்கி வரும். பொருள் தரையை அடையும் போது அதன் வேகத்தை நியூட்டனின் இயக்கச் சமன்பாடுகள் கொண்டு அறியலாம். இயக்கம் முழுமைக்கும் முடுக்கம் ஒரு மாறிலி ஆகும்.

$$V^2 = u^2 + 2as \text{ (x அச்சத் திசையில்)}$$

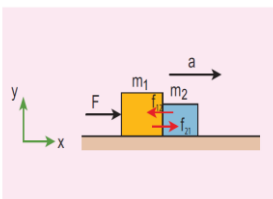
முடுக்கம் $a = g \sin \theta$ க்குச். பொருள் ஓய்வு நிலையிலிருந்து நகரத்துவங்கும்போது ஆரம்பத் திசைவேகம் u சுழியாகும். மேலும் சாய்தளத்தின் நீளம் இங்கு s ஆகும்.

சமன்பாடு (3.3) லிருந்து தரையை அடையும் போது பொருளின் வேகம் (v)

சமதளப்பரப்பில் ஒன்றை ஒன்று தொட்டுக் கொண்டிருக்கும் இரண்டு பொருட்கள்:

m_1 மற்றும் m_2 நிறை கொண்ட இரண்டு கனச் செவ்வகத்துண்டுகளைக் கருதுக ($m_1 > m_2$) அவை இரண்டும் உராய்வற்ற, வழுவழுப்பான சமதளப்பரப்பில் ஒன்றை ஒன்று தொட்டுக்கொண்டு உள்ளன.

F என்ற கிடைத்தள விசையைக் செலுத்தும்போது இவ்விரண்டு துண்டுகளும் a என்ற முடுக்கத்துடன் விசையின் திசையிலேயே இயங்குகின்றன.



(a) m_1 மற்றும் m_2 நிறை கொண்ட ($m_1 > m_2$) கனச் செவ்வகத்துண்டுகளைக் உராய்வற்ற, வழுவழுப்பான சமதளப்பரப்பில் ஒன்றை ஒன்று தொட்டுக் கொண்டுள்ளன.

முடுக்கம் \vec{a} ஐ கண்டறிய நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்த வேண்டும்
(கூட்டு நிறை $m = m_1 + m_2$)

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

இரு நிறைகள் கொண்ட இவ்வமைப்பு நேர்க்குறி ஓ அச்ச திசையில் இயங்கினால் சமன்பாட்டின் வெக்டர் கூறு வடிவில் எழுதலாம். $\vec{F} = m\vec{a}$ என்ற சமன்பாட்டின் இரண்டு பக்கங்களிலும் வெக்டர் கூறுகளை ஒப்பிட $F=ma$ என கிடைக்கும்

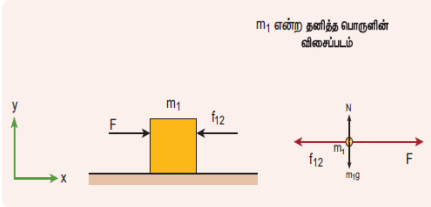
இங்கு $m = m_1 + m_2$ ஆகும்.

$$\text{அமைப்பின் முடுக்கம் } \therefore a = \frac{F}{m_1 + m_2}$$

நிறை m_1 தனது இயக்கத்தின் காரணமாக, நிறை m_2 வின் மீது செலுத்தும் விசை தொடு விசை (contact force) (\vec{f}_{21}) எனப்படும். நியூட்டனின் மூன்றாம் விதிப்படி, நிறை m_2 நிறை m_1 மீது இதற்குச் சமமான எதிர்விசையில் அமைந்து ஒரு எதிர்விசையை (\vec{f}_{12}) செலுத்தும்.

m_1 நிறைக்கான விசைப்படம் (b) ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

$$F\hat{i} - f_{12}\hat{i} = m_1 a\hat{i}$$



(b) m_1 நிறையின் விசைப்படம்
சமன்பாட்டின் இருபுறமும் கூறுகளை ஒப்பிடும்போது

$$F - f_{12} = m_1 a$$

$$f_{12} = F - m_1 a$$

சமன்பாடு (3.5) ஐ (3.6)ல் பிரதியிட

$$f_{12} = F - m_1 \left(\frac{F}{m_1 + m_2} \right)$$

$$f_{12} = F \left[1 - \frac{m_1}{m_1 + m_2} \right]$$

$$f_{12} = \frac{Fm_2}{m_1 + m_2}$$

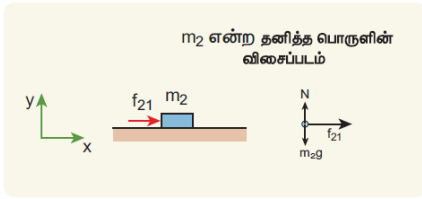
சமன்பாடு (3.7) லிருந்து f_{12} வின் எண்மதிப்பு எதிர்விசையை ஏற்படுத்தும் நிறை m_1 வை சார்ந்திருப்பதை அறியலாம். இங்கு விசை எதிர்குறி x - அச்சத்திசையில் செயல்படுவதை நினைவில் கொள்ளவும். m_1 மீது செயல்படும் எதிர்விசை வெக்டர்

$$\text{குறியீட்டின் படி } \vec{f}_{12} = -\frac{Fm_2}{m_1 + m_2} \hat{i}$$

நிறை m_2 வைப் பொருத்தவரை x அச்சத்திசையில் அதன்மீது m_1 நிறை ஏற்படுத்தும் ஒரே ஒரு விசை மட்டுமே கிடைத்தளத்திசையில் செயல்படுகிறது. 3.14 (c)ல் நிறை m_2 வின் விசைப்படம் காட்டப்பட்டுள்ளது.

நிறை m_2 விற்கு நியூட்டன் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்தினால் $f_{21}\hat{i} = m_2 a\hat{i}$

சமன்பாட்டின் இருபுறமும் கூறுகளை ஒப்பிடும்போது $f_{21} = m_2 a$



(c) நிறை m_2 வின் தனித்த பொருளின் விசைப்படம் (F B D)

சமன்பாடு (3.5)லிருந்து முடுக்கத்தினை (3.8) ல்

$$\text{பிரதியிடும்போது } f_{21} = \frac{Fm_2}{m_1 + m_2}$$

எனவே, தொடுவிசையின் எண் மதிப்பு

$$f_{21} = \frac{Fm_2}{m_1 + m_2}$$

இது நேர்க்குறி ஒ அச்சத்திசையில் செயல்படும் வெக்டர் குறியீட்டின்படி நிறை m_1 , நிறை m_2 மீது

$$\text{செலுத்தும் விசை } \vec{f}_{21} = \frac{Fm_2}{m_1 + m_2} \hat{i}$$

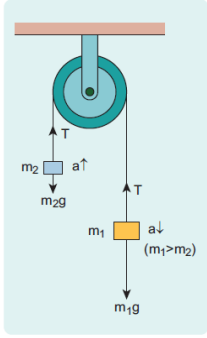
இங்கு $\vec{f}_{12} = -\vec{f}_{21}$ என்பதைக் கவனிக்க. இது நியூட்டனின் மூன்றாம் விதியை உறுதிப்படுத்துகிறது.

ஒன்றுடன் ஒன்று பிணைக்கப்பட்ட பொருட்களின் இயக்கம்

நீட்சித் தன்மையற்ற மெல்லிய கயிறு ஒன்றில் பிணைக்கப்பட்ட பொருட்களின் மீது, செங்குத்து அல்லது கிடைத்தளமாக அல்லது சாய்தளத்தில் விசை F ஒன்றை செலுத்தும் போது, அது மெல்லிய கயிற்றில் ஒரு இழு விசையை ஏற்படுத்தும், இதன் விளைவாக முடுக்கத்தில் ஒரு குறிப்பிடத்தக்க மாற்றம் ஏற்படும். இந்நிகழ்வினை வெவ்வேறு கோணங்களில் பகுப்பாய்வு செய்யலாம்.

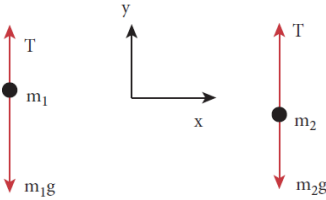
நேர்வு 1: செங்குத்து இயக்கம்

m_1 மற்றும் m_2 நிறை கொண்ட இரண்டு கனச்செவ்வகத் துண்டுகள் ($m_1 > m_2$) ஒரு மெல்லிய நீட்சித்தன்மையற்ற கயிறு ஒன்றில் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன. இது கப்பி ஒன்றின் வழியே படம் 3.15ல் காட்டியுள்ளவாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளது.



கப்பி ஒன்றில் பிணைக்கப்பட்டுள்ள இரண்டு கனச்செவ்வகத் துண்டுகள்

கயிற்றின் இழுவிசை T மற்றும் முடுக்கம் a என்க. அமைப்பினை விடுவிக்கும்போது, இரண்டு நிறைகளும் இயங்கத்துவங்கும். m_2 செங்குத்தாக மேல்நோக்கியும் மற்றும் m_1 செங்குத்தாக கீழ்நோக்கியும் a என்ற சம முடுக்கத்துடன் இயங்கும். m_1 மீது செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை m_1g , m_2 நிறையை மேல்நோக்கிய உயர்த்த பயன்படுகிறது. மேல்நோக்கிய திசையை y அச்சு எனக்கருதுக படம் 3.16 ல் இரு நிறைகளுக்கான விசைப்படம் காட்டப்பட்டுள்ளது.



m_1 மற்றும் m_2 நிறைகளின் தனித்த பொருளின் விசை படம் (free body diagram)

$$T\hat{j} - m_2g\hat{j} = m_2a\hat{j}$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டின் இடது கை பக்கம் நிறை மீது செயல்படும் மொத்த விசையும், வலது கை பக்கம் நிறை மற்றும் y அச்சுத்திசையில் அது அடையும் முடுக்கம் இவற்றின் பெருக்கற்பலனும் அடையும் முடுக்கம் இவற்றின் பெருக்கற்பலனும் காட்டப்பட்டுள்ளன.

இருபுறக் கூறுகளையும் ஒப்பிட கீழ்க்கண்ட சமன்பாடு கிடைக்கும்,

$$T - m_2g = m_2a$$

இதே போன்ற m_1 நிறைக்கும் நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்தும்போது பின்வரும் சமன்பாடு கிடைக்கிறது.

$$T\hat{j} - m_1g\hat{j} = m_1a\hat{j}$$

நிறை அ1 கீழ்நோக்கிய இயங்குவதால் ($-\hat{j}$) அதன் முடுக்கமும் கீழ்நோக்கிச் ($-\hat{j}$) செயல்படும். இருபுறமும் கூறுகளையும் ஒப்பிட

$$T - m_1 g = m_1 a$$

$$m_1 g - T = m_1 a$$

சமன்பாடு (3.9) மற்றும் (3.10), யைக் கூட்டுக.

$$m_1 g - m_2 g = m_1 a + m_2 a$$

$$(m_1 - m_2) g = (m_1 + m_2) a$$

சமன்பாடு (3.11), லிருந்து, இரண்டு நிறைகளின் மீதான முடுக்கம்

$$a = \left[\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right] g$$

இரண்டு நிறைகளும் சமமாக இருந்தால் ($m_1 = m_2$) இமைப்பு சுழி முடுக்கத்தைப் பெற்று ஓய்வு நிலையில் இருக்கும் என்பதை இது காட்டுகிறது.

கயிற்றின் மீது செயல்படும் இழுவிசையைக் காண சமன்பாடு (3.12) இல் உள்ள முடுக்கத்தை, சமன்பாடு (3.9) இல் பிரதியிட வேண்டும்.

$$T - m_2 g = m_2 \left[\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right] g$$

$$T = m_2 g + m_2 \left[\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right] g$$

சமன்பாடு (3.13)இன் வலப்பக்கமுள்ள $m_2 g$ ஐ பொதுவாக வெளியே எடுக்கும்போது

$$T = m_2 g \left[1 + \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right]$$

$$T = m_2 g \left[\frac{m_1 + m_2 + m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right]$$

$$T = \left[\frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right] g$$

சமன்பாடு (3.12) முடுக்கத்தின் எண் மதிப்பை மட்டுமே கொடுக்கும்.

நிறை m_1 , ன் முடுக்க வெக்டர் பின்வருமாறு

$$\vec{a} = - \left[\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right] \hat{j}. \text{ அதே போல நிறை } m_2 \text{ இன் முடுக்கவெக்டர் பின்வருமாறு } \vec{a} = \left[\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right] \hat{j}$$

நேர்வு 2: கிடைத்தள இயக்கம்

இவ்வகை இயக்கத்தில் நிறை m_2 மேசை ஒன்றின் கிடைத்தளப்பரப்பிலும், m_1 கப்பி ஒன்றின் வழியே படம் 3.17 இல் உள்ளவாறு தொங்கவிடப்பட்டுள்ளன. இங்கு பரப்பின் மீது எவ்வித உராய்வு இல்லை எனக் கருதுக.

கனச் செவ்வகத் துண்டுகளின் கிடைத்தள இயக்கம்

நீட்சித்தன்மையற்ற மெல்லிய கயிற்றில் கட்டப்பட்ட இரண்டு நிறைகளில், m_1 நிறை a முடுக்கத்துடன் கீழ்நோக்கியும், அதே முடுக்கத்துடன் m_2 நிறை கிடைத்தளத்திலும் இயக்கத்தை மேற்கொள்கிறன எனக்கருதுக.

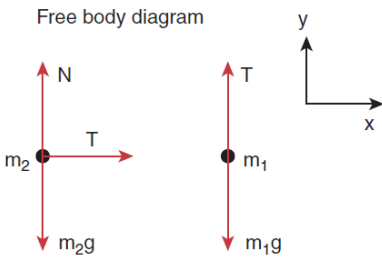
m_2 நிறையின் மீது செயல்படும் விசைகள் பின்வருமாறு

- கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை (m_2g)
- மேசைப்பரப்பு ஏற்படுத்தும் மேல்நோக்கிய செங்குத்து விசை (N)
- மெல்லிய கயிறு ஏற்படுத்தும் கிடைத்தள இழுவிசை (T)

இதேபோன்று, m_1 நிறையின் மீது செயல்படும் விசைகள் பின்வருமாறு

- கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை (m_1g)
- மெல்லிய கயிறு ஏற்படுத்தும் மேல்நோக்கிச் செயல்படும் இழுவிசை (T)

பின்வரம் படம் 3.18 இரண்டு நிறைகளின் விசைப்படத்தைக் காட்டுகிறது.



நிறைகள் m_1 மற்றும் m_2 வின் விசைப்படம்

m_1 நிறைக்கு நியூட்டன் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்தினால்

$$T\hat{j} - m_1g\hat{j} = -m_1a\hat{j} \quad (y \text{ அச்சத் திசையில்})$$

இருபுறமும் கூறுகளை ஒப்பிட

$$T - m_1g = -m_1a$$

m_2 நிறைக்கு நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்துக

$$T\hat{i} = m_2a\hat{i} \quad (x \text{ அச்ச திசையில்})$$

இருபுறமும் கூறுகளை ஒப்பிட

$$T = m_2a$$

Y அச்ச திசையில் நிறைக்கு எவ்வித முடுக்கமும் இல்லை

$$Nj - m_2 g_j = 0$$

இருபுறமும் கூறுகளை ஒப்பிட

$$N - m_2 g = 0$$

$$N = m_2 g$$

சமன்பாடு (3.15) ஐ சமன்பாடு (3.14) ல் பிரதியிட்டால் முடுக்கம் a கிடைக்கும்.

$$m_2 a - m_1 g = -m_1 a$$

$$m_2 a + m_1 a = m_1 g$$

$$a = \frac{m_1}{m_1 + m_2} g$$

கயிற்றின் இழுவிசைக்கான சமன்பாட்டைப் பெறலாம், சமன்பாடு (3.17) ஐ (3.15) ல் பிரதியிடுவதன் மூலம் பெறலாம்.

$$T = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} g$$

இரண்டு நேர்வுகளிலும் உள்ள இயக்கங்களை ஒப்பிடும்போது, கிடைத்தள இயக்கத்திலுள்ள கயிற்றின் இழுவிசையானது, செங்குத்து இயக்கத்திலுள்ள கயிற்றின் இழுவிசையில் பாதியளவே உள்கை அறியலாம்.

இம்முடிவு தொழில் துறையில் முக்கியப் பங்காற்றுகிறது. கிடைத்தள இயக்கத்திலுள்ள இயங்கு பட்டையில் (conveyor belt) பயன்படும் கயிறுகள் செங்குத்து இயக்கத்திலுள்ள மின்உயர்த்தி (lift) மற்றும் எடைத்தூக்கி (crane) இவற்றில் பயன்படும் கயிறுகளைவிட நீண்ட ஆயுளைப் பெற்றிருக்கும்.

ஒருமைய விசைகள் மற்றும் லாமியின் தேற்றம்:

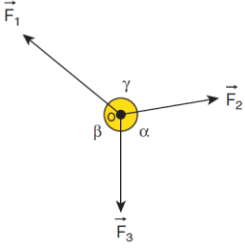
பல்வேறு விசைகள் ஒரே புள்ளியில் சந்திக்குமானால், அவ்விசைகளை ஒருமைய விசைகள் என்று அழைக்கலாம். படம் 3.19 ஒருமைய விசைகளைக் காட்டுகிறது. ஒருமைய விசைகள், ஒரே தளத்தில் அமைய வேண்டிய அவசியமில்லை. மாறாக அவை ஒரேதளத்தில் அமைந்தால் அவ்விசைகளை ஒருமைய மற்றும் ஒருதள விசைகள் என்று அழைக்கலாம்.

ஒருமைய விசைகள்

லாமியின் தேற்றம் (Lami's theorem)

லாமி தேற்றத்தின்படி, சமநிலையில் இருக்கும் மூன்று ஒருதள மற்றும் ஒருமைய விசைகள் கொண்ட அமைப்பில், ஒவ்வொரு விசையின் எண் மதிப்பும், மற்ற இரண்டு விசைகளுக்கிடைப்பட்ட கோணத்தின் சைன் மதிப்பிற்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும். இம்மூன்று விசைகளுக்கான தகவுமாறிலி சமமாகும்.

படம் 3.20 வில் காட்டியுள்ளபடி \vec{F}_1, \vec{F}_2 மற்றும் \vec{F}_3 என்ற மூன்று ஒரு தள மற்றும் ஒரு மைய விசைகள் O என்ற புள்ளியில் செயல்பட்டு அப்புள்ளியை சமநிலையில் வைக்கின்றன என்க. லாமியின் தேற்றப்படி



○ என்ற புள்ளியில் செயல்படும் \vec{F}_1, \vec{F}_2 மற்றும் \vec{F}_3 என்ற மூன்று ஒரு தள மற்றும் ஒருமைய விசைகள்

$$|\vec{F}_1| \propto \sin \alpha$$

$$|\vec{F}_2| \propto \sin \beta$$

$$|\vec{F}_3| \propto \sin \gamma$$

எனவே, $\frac{|\vec{F}_1|}{\sin \alpha} = \frac{|\vec{F}_2|}{\sin \beta} = \frac{|\vec{F}_3|}{\sin \gamma}$

விசைகள் செயல்பட்டு, ஓய்வுச் சமநிலையில் உள்ள பொருள்களை பகுப்பாய்வு செய்வரில், லாமியின் தேற்றம் மிக முக்கியமாகப் பயன்படுகிறது.

லாமி தோற்றத்தின் பயன்பாடு:

எடுத்துக்காட்டு.

ஒத்த இரண்டு சங்கிலிகளால் செய்யப்பட்ட ஓய்வு நிலையில் உள்ள ஒரு ஊஞ்சல் ஒன்றில் குழந்தை ஒன்று அமர்ந்திருக்கிறது. அக்குழந்தையின் மீது செயல்படும் விசைகளைக் காண்க. மேலும் லாமியின் தேற்றத்தைப் பயன்படுத்தி சங்கிலியின் இழுவிசையைக் கணக்கிடுக.

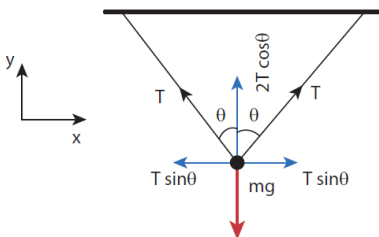
தீர்வு:

ஊஞ்சலில் அமர்ந்திருக்கும் குழந்தையை, நிறை ஒன்று நீட்சித்தன்மையற்ற மெல்லிய இரண்டு கயிறுகளால் கட்டித் தொங்கவிடப்பட்ட அமைப்பாகக் கருதலாம். குழந்தையின் மீது இரண்டு விசைகள் செயல்படுகின்றன. அவை

i. எதிர்குறி y அச்சத் திசையில் செயல்படும் கீழ்நோக்கிய புவியீர்ப்பு விசை (mg)

ii. இரண்டு கயிறுகளின் வழியே செயல்படும் இழுவிசைகள் (T)

இவ்விரண்டு விசைகளும் படத்தில் காட்டியுள்ளபடி ஒருதள மற்றும் ஒருமைய விசைகளாகும்.



லாமி தேற்றத்தின்படி,

$$\frac{T}{\sin(180-\theta)} = \frac{T}{\sin(180-\theta)} = \frac{mg}{\sin(2\theta)}$$

இங்கு $\sin(180-\theta) = \sin\theta$ மற்றும் $\sin(2\theta) = 2\sin\theta\cos\theta$

எனவே,
$$\frac{T}{\sin\theta} = \frac{mg}{2\sin\theta\cos\theta}$$

இதிலிருந்து ஒவ்வொரு கயிற்றின் இழுவிசை (T)

பின்வருமாறு காணப்படும்
$$T = \frac{mg}{2\cos\theta}$$

மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்த மாறா விதி

மாறா விதிகள் (conservation laws) இயற்கையில் ஒரு முக்கியமான அங்கத்தை விகிக்கிறது. மாறா விதிகளைப்பயன்படுத்தி இயங்கும் பொருட்களின் இயக்கங்களை சிறப்பாக பகுப்பாய்வு செய்ய இயலும். இயங்கியலில் அல்லது எந்திரவியலில் மூன்று மாறா விதிகள் உள்ளன. அவை பின்வருமாறு

- ஆற்றல் மாறா விதி (law of conservation of energy)
- மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்த மாறா விதி (law of conservation of total linear momentum) மற்றும் கோண உந்த மாறா விதி (law of conservation of angular momentum.)

நியூட்டனின் இரண்டாம் விதி மற்றும் மூன்றாம் விதிகளை ஒன்றிணைத்து, மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்த மாறா விதியைப் பெறலாம்.

இரண்டு துகள்கள், ஒன்றோடொன்று தொடர்பு கொள்ளும் போது, ஒரு துகள் செயல் எதிர்செயல் புரியும்போது ஒவ்வொரு துகளும் மற்ற துகளின் மீது \vec{F}_{21} என்ற விசையை செலுத்தினால், அதே நேரத்தில் இரண்டாவது துகள், முதல் துகளின்மீது \vec{F}_{12} என்ற சமமான எதிர்விசையைச் செலுத்தும். எனவே நியூட்டனின் மூன்றாம் விதிப்படி

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$$

துகள்களின் உந்தங்கள் அடிப்படையில் ஒவ்வொரு துகள் மீதும் செயல்படும் விசையை நியூட்டன் இரண்டாம் விதியினைக் கொண்டு கணக்கிடலாம்.

$$\vec{F}_{12} = \frac{d\vec{p}}{dt} \text{ மற்றும் } \vec{F}_{21} = \frac{d\vec{t}_2}{dt}$$

இங்கு \vec{P}_1 என்பது முதல் துகளின் உந்தம், அது இரண்டாம் துகள் செலுத்தும் \vec{F}_{12} என்ற விசையினால் மாற்றமடைகிறது. அதே போல \vec{P}_2 என்பது இரண்டாம் துகளின் உந்தம். இவ்வந்தமானது முதல் துகள் இரண்டாவது துகளின் மீது செலுத்தும் \vec{F}_{21} என்ற விசையினால் மாற்றமடைகிறது.

(சமன்பாடு 3.21) சமன்பாடு (3.20) இல் பிரதியிடுக

$$\frac{d\vec{p}_1}{dt} = -\frac{d\vec{p}_2}{dt}$$

$$\frac{d\vec{p}_1}{dt} + \frac{d\vec{p}_2}{dt} = 0$$

$$\frac{d}{dt}(\vec{p}_1 + \vec{p}_2) = 0$$

இதிலிருந்து $\vec{P}_1 + \vec{P}_2 =$ எப்பொழுதும் மாறா வெக்டர் என்பதை அறியலாம்.

இங்கு $\vec{P}_1 + \vec{P}_2$ என்பது இரண்டும் துகள்களின் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தமாகும்.

$\vec{P}_{tot} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ இதை அமைப்பின் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம் என்றும் அழைக்கலாம். இம்முடிவிலிருந்து மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்த மாறா விதியை பின்வருமாறு வரையறை செய்யலாம்.

அமைப்பின் மீது எவ்வித வெளிப்புற விசையும் செயல்படாத நிலையில், அமைப்பின் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம் எப்பொழுதும் ஒரு மாறா வெக்டராகும். வேறு வகையில் கூறுவோமாயின் அமைப்பின் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம் நேரத்தைப் பொருந்து மாறாது.

இங்கு \vec{P}_1 மற்றும் \vec{P}_2 வில் ஏதேனும் மாற்றம் ஏற்பட்டாலும் அமைப்பின் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம் $\vec{P}_1 + \vec{P}_2$ மாறாது என்பதைப் புரிந்துகொள்ள வேண்டும்.

\vec{F}_{12} மற்றும் \vec{F}_{21} விசைகளை அமைப்பின் அகவிசைகள் என்ற அழைக்கலாம். ஏனெனில் இவ்விசைகள் துகள்களுக்கிடையே மட்டும் செயல்படுகின்றன. துகளின் மீது எவ்வித வெளிப்புற விசையும் செயல்படாத நிலையில் அமைப்பின் விசையும் செயல்படாத நிலையில் அமைப்பின் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம் ஒரு மாறா வெக்டராகும்.

எடுத்துக்காட்டு.

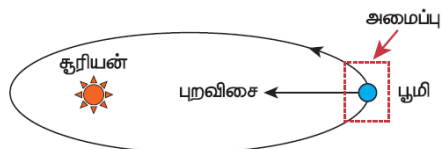
கீழ்க்கண்ட அமைப்புகளில் செயல்படும் அக மற்றும் புற விசைகளை காண்க.

- புவியை மட்டும் தனியாகக் கொண்ட அமைப்பு
- புவி மற்றும் சூரியன் இணைந்த அமைப்பு
- நடக்கும் மனிதன் - என்ற அமைப்பு
- நமது உடல் மற்றும் புவி இணைந்த அமைப்பு

தீர்வு

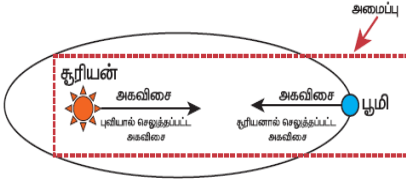
a. புவி மட்டும் கொண்ட அமைப்பு

சூரியனின் ஈர்ப்பு விசையினால், புவி சூரியனைச் சுற்றிவருகிறது. புவியினைத் தனித்த அமைப்பு எனக்கருதினால், சூரியனின் ஈர்ப்பு விசையை புறவிசையாகக் கருதலாம். நிலவையும் நாம் கணக்கில் எடுத்துக்கொண்டால், நிலவும் புவியின் மீது ஒரு புறவிசையைச் செலுத்தும்.



டி. புவி மற்றும் சூரியன் இணைந்த அமைப்பு

இந்நேரவில், மற்றும் சூரியன் இணைந்த அமைப்பு எதிர்ச்செயல் விசை சோடியாக செயல்படுகின்றன. ஒன்று சூரியன் புவியின் மீது செலுத்தும் ஈர்ப்பு விசை, மற்றொன்று புவி சூரியன் புவியின் மீது செலுத்தும் ஈர்ப்பு விசை, மற்றொன்று புவி சூரியனின் மீது செலுத்தும் ஈர்ப்புவிசை ஆகும்.



c. நடக்கும் மனிதன் - என்ற அமைப்பு

நடக்கும் போது, நாம் புவியின் மீது ஒரு விசையை செலுத்தும் அதே நேரத்தில் புவியும் இதற்குச் சமமான எதிர்விசை ஒன்றை நம்மீது செலுத்துகிறது. நமது உடலை மட்டும் ஒரு அமைப்பாகக் கருதினால் புவி நம்மீது செலுத்தும் எதிர்விசையை புறவிசை எனக்கருதலாம்.

e. நமது உடல் மற்றும் புவி இணைந்த அமைப்பு

இந்நிகழ்வில், இரண்டு அக விசைகள் அமைப்பில் உள்ளன. ஒன்று நாம் புவியின் மீது செலுத்தும் விசை, மற்றொன்று புவி நம்மீது செலுத்தும் சமமான எதிர்விசை.

நமது உடல் மற்றும் புவி இணைந்த அமைப்பு

உந்த மாறா விதியின் பொருள்

1. உந்த மாறா விதி ஒரு வெக்டர் வதியாகும். இவ்விதி மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தத்தின் எண் மதிப்பு மற்றும் திசை மாறாதவை எனக்காட்டுகிறது. சில நேர்வுகளில் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம் சுழி மதிப்பையும் பெறலாம்.
2. பொருளொன்றின் இயக்கத்தினைப் பகுப்பாய்வு செய்யும்போது நியூட்டனின் இரண்டாம் விதி அல்லது நேர்க்கோட்டு உந்தமாறா விதியை நாம் பயன்படுத்தலாம். நியூட்டனின் இரண்டாவது விதியைப் பயன்படுத்த வேண்டுமானால் நாம் பொருளின் மீது செயல்படும் விசைகளைக் குறிப்பிட வேண்டும். நடைமுறைச் சூழலில் இது கடினமாகும். ஆனால் உந்த மாறா விதியில், இவ்வாறு விசைகளைக் சுட்டிக்காட்ட வேண்டிய அவசியமில்லை. எனவே உந்த மாறா விதி பயன்படுத்துவதற்கு எளிமையானது மற்றும் முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததாகும்.

எடுத்துக்காட்டாக, இரண்டு பொருட்கள் ஒன்றுடன் ஒன்று மோதும் நிகழ்வில் அவ்விரண்டு பொருட்களும் ஒன்றின்மீது மற்றொன்று செலுத்தும் விசையைக் குறிப்பிடுவது சற்றே கடினமாகும். ஆனால் மோதலின்போது உந்த மாறா விதியை பயன்படுத்துவது எளிமையாகும்.

எடுத்துக்காட்டுகள்

1. துப்பாக்கி சுடும் நிகழ்வு ஒன்றைக் கருதுக. இங்கு துப்பாக்கி மற்றும் குண்டு இரண்டும் சேர்ந்தது ஒரு அமைப்பு ஆகும். தொடக்கத்தில் துப்பாக்கி மற்றும் குண்டு இரண்டும் ஓய்வு நிலையில் உள்ளன எனவே அமைப்பின் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம் சுழியாகும். \vec{P}_1 என்பது குண்டின் உந்தமாகவும், \vec{P}_2 என்பது துப்பாக்கியின் உந்தமாகவும் கருதுக. இங்கு இரண்டும் ஓய்வு நிலையில் உள்ளன.

$$\vec{P}_1 = 0, \vec{P}_2 = 0.$$

சுடுவதற்கு முன் மொத்த உந்தம் சுழி $\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = 0$ நேர்க்கோட்டு உந்த அழிவின்மை விதிப்படி, துப்பாக்கி சுட்ட பின்பும் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம் சுழி மதிப்பைப் பெற வேண்டும்.

துப்பாக்கி சுடப்படும்போது, துப்பாக்கி முன்னோக்கிய திசையில் ஒரு விசையை குண்டின் மீது செலுத்தும். எனவே குண்டின் உந்தம் \vec{P}_1 லிருந்து \vec{P}_1 க்கு மாற்றமடையும். நேர்க்கோடு உந்த மாறா விதியின் காரணமாக துப்பாக்கியின் உந்தமும் \vec{P}_2 விரிந்து \vec{P}_2 மாற்றமடையும். உந்த மாறா விதிப்படி $\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = 0$ இதிலிருந்து $\vec{P}_1 = -\vec{P}_2$ என அறியலாம். எனவே துப்பாக்கியின் உந்தம் துப்பாக்கிக் குண்டின் உந்தத்திற்கு எதிர்திசையில் இருக்கும்.

இதன் காரணமாகத்தான் துப்பாக்கி சுடப்பட்டபின்பு, $(-\vec{P}_2)$ என்ற ஒரு உந்தத்துடன் பின்னோக்கி இயங்கும். இதற்கு 'பின்னியக்க உந்தம்' என்று பெயர். இந்த இயக்கம் உந்த மாறா விதிக்கு ஒரு எடுத்துக் காட்டு ஆகும்.

2. ஓய்வு நிலையிலுள்ள ஒரு பொருள், மற்றும் அதை நோக்கிய திசையில் இயங்கும் பொருள் ஆகிய இரண்டு பொருட்களைக் கருதுக. இவை இரண்டும் ஒன்றுடன் ஒன்று மோதி, மோதலுக்குப்பின் தன்னிச்சையான திசையில் செல்கின்றன.

இந்நிகழ்வில், மோதலுக்கு முன்பு அமைப்பின் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம், இயக்கத்திலுள்ள பொருட்களின் தொடக் நேர்க்கோட்டு உந்தத்திற்குச் சமமாகும். நேர்க்கோட்டு உந்த மாறா விதிப்படி, மோதலுக்கு பின்பும் அமைப்பின் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம் முன்னோக்கிய திசையில் செயல்படும். பின்வரும் படம் இதனை விளக்குகிறது.

மோதலுக்கு முன்

பிரிவு 4.4 இல் இம்மோதல் பற்றிய விரிவான கணக்கீடுகள் வழங்கப்பட்டுள்ளன. இங்கு பின்வரும் கருத்தைப் புரிந்து கொள்வது பயனுள்ளதாக இருக்கும். மோதலுக்கு முன்பும், பின்பும் மொத்த உந்த வெக்டர் ஒரே திசையில் உள்ளது. இது மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம் மோதலுக்கு முன்பும் பின்பும் ஒரு மாறிலி வெக்டர் என்பதை எளிமையாக விளக்குகின்றது. மோதலின்போது ஒவ்வொரு பொருளும் மற்ற பொருளின் மீது ஒரு விசையைச் செலுத்தும். இவ்விரண்டு பொருட்களையும் ஒரு அமைப்பு எனக்கருதினால், இவ்விரண்டு விசைகளும் அகவிசைகளாகும். எனவே இந்த அகவிசைகள் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தத்தை மாற்றாது.

கணத்தாக்கு:

மிக அதிக விசை, மிகக்குறுகிய நேரத்திற்கு ஒரு பொருளின் மீது செயல்பட்டால் அவ்விசையை கணத்தாக்கு விசை அல்லது கணத்தாக்கு என்று அழைக்கலாம்.

F என்ற விசை, மிகச் குறுகிய நேர இடைவெளியில் (Δt) ஒரு பொருளின் மீது செயல்பட்டால் நியூட்டன் இரண்டாம் விதியின் எண் மதிப்பு வடிவில் இந்நிகழ்வினை பின்வருமாறு குறிப்பிடலாம்.

$$F dt = dp$$

தொடக்க நேரம் t_i மற்றும் இறுதி நேரம் t_f என்ற கால இடைவெளியில் இச்சமன்பாட்டை தொகையிட

$$\int_{t_i}^{t_f} dp = \int_{t_i}^{t_f} F dt$$

$$p_f - p_i = \int_{t_i}^{t_f} F dt$$

p_i என்பது t_i என்ற நேரத்தில் பொருளின் ஆரம்ப உந்தம்

p_f என்பது t_f என்ற நேரத்தில் பொருளின் இறுதி உந்தம்

$p_f - p_i$ Δp என்பது $t_f - t_i = \Delta t$ என்ற நேர இடைவெளியில் பொருளின் ஏற்பட்ட உந்த மாற்றமாகும்.

தொகையீடு $\int_{t_i}^{t_f} F dt = J$ என்பது கணத்தாக்கு எனப்படும். மேலும், இக்கணத்தாக்கு பொருளின் உந்த மாற்றத்திற்கு சமமாகும்.

கொடுக்கப்பட்ட நேர இடைவெளியில் விசை ஒரு மாறா மதிப்பைப் பெற்றிருப்பின்

$$\int_{t_i}^{t_f} F dt = F \int_{t_i}^{t_f} dt = F (t_f - t_i) = F \Delta t$$

$$F \Delta t = \Delta p$$

சமன்பாடு (3.24) க்கு “கணத்தாக்கு – உந்தச் சமன்பாடு” என்று பெயர்

விசை ஒரு மாறா மதிப்பைப் பெற்றுள்ளபோது, கணத்தாக்கு $J = F \Delta t$ எனக் குறிப்பிடப்படுகிறது. மேலும், இது Δt என்ற நேர இடைவெளியில் பொருளில் ஏற்படும் உந்த மாற்றத்திற்கு (Δp) சமம் ஆகும்.

கணத்தாக்கு ஒரு வெக்டர் அளவாகும். இதன் அலகு Ns

ஒரு சிறிய நேர இடைவெளியில் பொருளின்மீது செயல்படும் சராசரி விசையைப் பின்வருமாறு வரையறை செய்யலாம்.

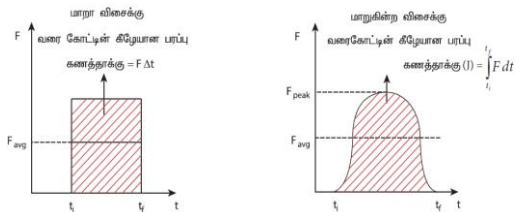
$$F_{avg} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

சமன்பாடு (3.25)லிருந்து, நேர இடைவெளி மிகக் குறுகியதாக இருப்பின், பொருளின்மீது செயல்படும் சராசரி விசை மிக அதிகமாக இருக்கும். பொருளின் உந்தம் எப்பொழுதெல்லாம் மிகவேகமாக மாற்றமடைகிறதோ, அப்பொழுதெல்லாம் சராசரி விசை மிக அதிகமாக இருக்கும்.

கணத்தாக்கை, சராசரி விசையின் அடிப்படையிலும் எழுதலாம். ஏனெனில் பொருளின் உந்த மாற்றம் Δp கணத்தாக்கு (J) சமமாகும். எனவே

$$J = F_{avg} \Delta t$$

மாறா விசையினால் ஏற்படும் கணத்தாக்கு மற்றும் மாறும் விசையினால் ஏற்படும் கணத்தாக்கு ஆகியவற்றின் வரைபட படம் 3.21 இல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது



மாறாவிசை கணத்தாக்கு மற்றும் மாறும் விசை கணத்தாக்கு

எடுத்துக்காட்டுகள்

1. கிரிக்கெட் வீரர், வேகமாகவரும் பந்தினை பிடிக்கும்போது அவரின் கரங்களை பந்து வரும் திசையிலேயே படிப்படியாக தாழ்த்துவதன் காரணம் என்ன?

கிரிக்கெட் வீரர் பந்தைப்பிடித்த உடன் தன்னுடைய கரங்களை தாழ்த்தாமல் உடனடியாக நிறுத்தினால் பந்து உடனடியாக ஓய்வநிலைக்கு வரும். அதாவது பந்தின் உந்தம் உடனடியாக

சுழியாகிறது. இதனால் கரங்களின் மீது பந்து செலுத்தும் சராசரி விசை பெரும் மதிப்பைப் பெறும். எனவே கிரிக்கெட் வீரரின் கரங்கள் வேகமாக தாக்கப்பட்டு அவர் அதிக வலியினை வேகமாக தாக்கப்பட்டு அவர் அதிக வலியினை உணர்வார். இதனைத் தவிர்ப்பதற்காகத்தான் அவர் தன்னுடைய கரங்களை படிப்படியாக தாழ்த்துகிறார்.

2. வேகமாகச் செல்லும் கார் ஒன்று விபத்திற்குள்ளாகும்போது அதன் உந்தம் மிகக்குறைந்த நேரத்தில் மிக வேகமாக குறைகிறது. இது பயணிகளுக்கு பேராபத்தை விளைவிக்கும். ஏனெனில் பயணிகளின் மீது இவ்வந்த மாற்றம் பெரும் விசையினைச் செலுத்தும். மரணத்தை ஏற்படுத்தும் இந்த விளைவிலிருந்து பயணிகளைக் காக்க காற்றுப்பைகளுடன் கார்கள் தற்போது வடிவமைக்கப்படுகின்றன. இந்தக் காற்றுப்பைகள் பயணிகளின் உந்த மாற்றக் காலத்தை நீட்டித்து அவர்கள் பெரும் விசையைப்பெறுவதிலிருந்து தடுக்கிறது.

3. இரு சக்கர வாகனங்களில் பொருத்தப்பட்டுள்ள அதிர்வுத்தாங்கிகள் (Shock absorbers):

கார்களில் உள்ள காற்றுப்பைகள் போன்றே இவையும் அதிர்வுத்தாங்கிகளாக செயலாற்றுகின்றன. மேடுள்ளங்களில் வாகனம் செல்லும் போது ஒரு திடீர் விசையானது உடனடியாகவாகனத்தின் மீது செலுத்தப்படுகிறது. இவ்விசை பயணிகளை உடனடியாகத் தாக்காமல் அதன் தாக்குதல் நேரத்தை நீட்டிக்க அதிர்வுத்தாங்கிகள் பயன்படுகின்றன. எனவே பயணிகள் பெரும் விசையை உணர்வதிலிருந்து தடுக்கப்படுகின்றனர். அதிர்வுத்தாங்கிகள் சரிவர இயங்காத வாகனங்களில் பயணம் செய்வது நமது உடலை பாதிக்கும்.

4. மணல் நிரப்பிய தரையில் குதிப்பதைவிட, கான்கிரீட் தரையில் குதிப்பது பேராபத்தை விளைவிக்கும். ஏனெனில், மணல் நிரப்பப்பட்ட தரை நமது உடல் ஓய்வு நிலையை அடையும் நேரத்தை நீட்டித்து உடல் பெரும் விசையைப் பெறுவதிலிருந்து தடுக்கும். ஆனால் கான்கிரீட் தளத்தில் குதிக்கும் போது உடல் உடனடியாக ஓய்வு நிலைக்கு வந்து ஒரு பெரும் விசையை உணரும். இது பேராபத்தை விளைவிக்கும்.

எடுத்துக்காட்டுக:

15ms^{-1} வேத்தில் இயங்கும் 10 kg நிறையுடையபொருள் சுவர் மீது மோதி

அ. 0.03s

ஆ. 10s

ஆகிய நேர இடைவெளிகளில் ஓய்வுநிலையை அடைகிறது. இவ்விரண்டு நேர இடைவெளிகளிலும் பொருளின் கணத்தாக்கு மற்றும் பொருளின் மீது செயல்படும் சராசரி விசை ஆகியவற்றைக் காண்க.

தீர்வு

பொருளின் ஆரம்ப உந்தம்

$$p_i = 10 \times 15 = 150\text{kg ms}^{-1}$$

பொருளின் இறுதி உந்தம் $p_f = 0$

$$\Delta p = 150 - 0 = 150\text{kg ms}^{-1}$$

(அ) கணத்தாக்கு $J = \Delta p = 150\text{Ns}$. (நேர்வு அ)

(ஆ) கணத்தாக்கு $J = \Delta p = 150Ns$. (நேர்வு ஆ)

(அ) சராசரி விசை $F_{avg} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{150}{0.03} = 5000N$ (நேர்வு அ)

(ஆ) சராசரி விசை $F_{avg} = \frac{150}{10} = 15N$ (நேர்வு ஆ)

இரண்டு நேர்வுகளிலும் பொருளின் கணத்தாக்கு சமம். ஆனால் பொருளின் மீது செயல்படும் சராசரி விசை வெவ்வேறானவை.

உராய்வு

அறிமுகம்:

மேசை ஒன்றில் ஓய்வு நிலையிலுள்ள பொருளின் மீது இலேசான விசையைச் செலுத்தினால் அப்பொருள் இயங்காது. இதற்குக் காரணம், மேசையின்பரப்பு பொருள் நகர்வதைத் தடுக்கும் வகையில் அப்பொருளின் மீது செலுத்தும் எதிர்விசையாகும். இந்த எதிர்விசைக்கு உராய்வு விசை என்று பெயர். இவ்வராய்வு விசையானது பொருள் மற்றும் பொருள் வைக்கப்பட்ட பரப்பு இவற்றிற்கிடையேயான சார்பியக்கத்தை (relative motion) ஏதிர்க்கும் வகையில் அமையும். பொருளின்மீது நம செலுத்தும் விசையின் அளவை படிப்படியாக அதிகரிக்கும் போது ஒரு குறிப்பிட்ட விசைக்கு பொருள் நகரத் தொடங்கும்.

உராய்வு விசை சார்பு இயக்கம்:

பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ளதளத்திற்கு இணையாக ஒரு விசையை பொருளின்மீது இணையாக ஒரு விசையை பொருளின்மீது செலுத்தினால், அவ்விசை பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள தளத்தைப் பொருத்து பொருளை இயங்கவைக்க முயற்சிக்கலாம். இச்சார்பு இயக்கத்தை எதிர்க்கும் வகையில் பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள பரப்பு, நாம் செலுத்தும் விசைக்கு எதிர்த் திசையில் பொருளின் மீது உராய்வு விசையச் செலுத்தும்.

உராய்வு விசை எப்பொழுதும் பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள பரப்புக்கு இணையாக அப்பொருளின் மீது செல்படும்.

உராய்வு இரண்டு வகைப்படும். அவை

1. ஓய்வு நிலை உராய்வு (Static friction)
2. இயக்க நிலை உராய்வு (Kinetic friction)

ஓய்வு நிலை உராய்வு (\vec{f}_s)

ஓய்வுநிலை உராய்வு ஒரு பரப்பில் வைக்கப்பட்டுள்ள பொருள் நகரத் தொடங்குவதை எதிர்க்கும் வகையில் அமையும் விசையாகும். பரப்பு ஒன்றில் ஓய்வு நிலையிலுள்ள பொருளின் மீது இரண்டு விசைகள் செயல்படும். அவை கீழ்நோக்கிச் செல்படும் புவியீர்ப்பு விசை மற்றும் மேல்நோக்கிச் செயல்படும். அவை கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை மற்றும் மேல்நோக்கிச் செயல்படும் வெங்குத்து விசை. பொருளின் மீது செயல்படும் இவ்விரண்டு விசைகளின் தொகுபயன் சுழியாகும். இதன் விளைவாக பொருள் ஓய்வுநிலையில் இருக்கும்.

பரப்பு ஒன்றில் ஓய்வு நிலையிலுள்ள பொருளின்மீது பரப்பிற்கு இணையாக வெளிப்புறு விசை (F_{ext}) ஒன்று செயல்படும்போது, அப்பரப்பு இவ்வெளிப்புறு விசைக்குச் சமமான எதிர் விசையை பொருளின் மீது செலுத்தி அதன் இயக்கத்தைத் தடுத்து அப்பொருளை ஓய்வு நிலையில் வைக்க முயற்சிக்கும்.

இதிலிருந்து வெளிப்புற விசையும், உராய்வு விசையும் ஒன்றுக்கொன்று சமம் மற்றும் எதிரெதிராக செயல்படும் என்பதை அறியலாம். எனவே பரப்புக்கு இணையாக எவ்வித இயக்கமும் ஏற்படாது,

ஆனால் பொருளின் மீது செலுத்தப்படும் வெளிப்புற விசையின் அளவை படிப்படியாக அதிகரிக்கும்போது, ஒரு குறிப்பிட்ட எல்லைக்குமேல் பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள பரப்பு, பொருளின் மீது செலுத்தப்படும் வெளிப்புற விசையைச் சமன்செய்யும் அளவிற்கு எதிர் உராய்வு விசையைப் பொருளின்மீது செலுத்த இயலாது. எனவே பொருள் பரப்பின் மீது சறுக்கிச் செல்லத்தொடங்கும். இதுவே பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள பரப்பு பொருளின் மீது செலுத்தும் பெரும் ஓய்வு நிலை உராய்வு விசை ஆகும். சோதனை ரீதியாக, இப் பெரும் ஓய்வுநிலை உராய்வு விசையானது அனுபவத்தின் அடிப்படையில் (empirical formula) பெற்ற கீழ்க்காணும் கணிதத் தொடர்பைக் கொண்டிருக்கும்.

$$0 \leq f_s \leq \mu_s N$$

இங்கு μ_s என்பது ஓய்வு நிலை உராய்வுக் குணகம் எனப்படும். இது ஒன்றை ஒன்று தொடும் இரு பரப்புகளின் தன்மையைச் சார்ந்திருக்கும். N என்பது பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள பரப்பு, பொருளின் மீது செலுத்தும் செங்குத்து விசையாகும். சில நேரங்களில் இச்செங்குத்து விசை mg க்கு சமமாகும். ஆனால் இது எப்பொழுதும் mg க்கு சமமாக இருக்க வேண்டிய அவசியமில்லை என்பதை நினைவில் கொள்ள வேண்டும்.

ஓய்வு நிலை உராய்வு விசை, சுழி முதல் μ_s வரையிலான எந்த மதிப்பையும் பெற்றிருக்கலாம் என்பதைச் சமன்பாடு (3.27) நமக்கு உணர்த்துகிறது.

எவ்வித வெளிப்புற விசையும் செயல்படாதபோது, ஓய்வுநிலையிலுள்ள பொருள் மீது செயல்படும் ஓய்வு நிலை உராய்வு விசை f_s ன் மதிப்பு ($f_s = 0$)

ஓய்வுநிலையிலுள்ள பொருளின்மீது, அப்பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள பரப்பிற்கு இணையாக வெளிப்புற விசையொன்று பரப்பிற்கு இணையாக வெளிப்புற விசையொன்று செல்படும்போது, பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள பரப்பிற்கு இணையாக வெளிப்புற விசையொன்று செயல்படும்போது, பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள பரப்பு பொருளின் மீது செலுத்தும் ஓய்வு நிலை உராய்வு விசை, பொருளின்மீது செலுத்தப்படும் வெளிப்புற விசைக்குச் சமமாகும். ($f_s = F_{ext}$) இருப்பினும் f_s ன் மதிப்பு $\mu_s N$ ஐ விடக் குறைவாகத்தான் இருக்கும்.

பொருளானது, பரப்பின் மீது நகரத் தொடங்கும்போது, பொருளின்மீது செயல்படும் ஓய்வு நிலை உராய்வு விசை (f_s) பெரும் மதிப்பை அடையும்.

ஓய்வு நிலை உராய்வு மற்றும் பிற்பகுதியில் நாம் கற்கவிருக்கும் இயக்க உராய்வு இவ்விரண்டும் பொருளின் மீது செலுத்தப்படும் செங்குத்து விசையைச் சார்ந்திருக்கும், பொருள், அப்பொருள் வைக்கப்பட்ட பரப்பை எவ்வளவு வலிமையாக அழுத்துகிறதோ அதற்கேற்ப பொருளின் மீது செயல்படும் செங்குத்து விசையும் அதிகரிக்கும். இதன்விளைவாகப் பொருளை நகர்த்துவது மேலும் கடினமாகும். இது படங்கள் 3.23 (அ) மற்றும் 3.23 (ஆ) ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. மேலும் ஓய்வு நிலை உராய்வு விசை பொருள் மற்றும் பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள பரப்பு இவ்விரண்டும் தொடர் கொண்டிருக்கும் பரப்பின் அளவைச் சார்ந்ததல்ல.

ஓய்வு நிலை உராய்வு விசை

எடுத்துக்காட்டு:

2kg நிறையுடைய பொருளொன்று தளம் ஒன்றில் ஓய்வுநிலையில் உள்ளது என்க. பொருள் மற்றும் தளத்திற்கிடையேயான ஓய்வு நிலை உராய்வுக் குணகம் எனில், அத்தளத்தின் மீது பொருளை நகர்த்துவதற்கு எவ்வளவு விசையைச் செலுத்த வேண்டும்.

தீர்வு

பொருள் ஓய்வு நிலையில் உள்ளதால், பொருளின் மீது செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை, அப்பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள தளமானது, பொருளின் மீது செலுத்தும் செங்குத்து விசையினால் சமன் செய்யப்படும்

$$N = mg$$

ஓய்வு நிலை உராய்வு விசையின் பெரும் மதிப்பு $f_s^{\max} = \mu_s N = \mu_s mg$

$$f_s^{\max} = 0.8 \times 2 \times 9.8 = 15.68 N$$

எனவே, பொருளைப் பரப்பின் மீது நகர்த்துவதற்குச் செலுத்த வேண்டிய புறவிசை, கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள பெரும் ஓய்வு நிலை உராய்வு விசையை விட அதிகமாக இருக்க வேண்டும்

$$F_{\text{ext}} > 15.68 N$$

எடுத்துக்காட்டு:

50 kg நிறையுடைய பொருள் தளம் ஒன்றில் ஓய்வுநிலையில் உள்ளது. அப்பொருளை நகர்த்த அதன் மீது 5 N விசை செலுத்தப்படுகிறது. எனினும் பொருள் நகரவில்லை. இந்நிலையில் பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள தளம், பொருளின் மீது செலுத்தும் உராய்வு விசையைக் கண்டுபிடி.

தீர்வு

பொருள் ஓய்வு நிலையில் உள்ளபோது, பொருளின் மீது செலுத்தப்படும் வெளிப்புற விசையும், பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள தளம் பொருளின்மீது செலுத்தும் உராய்வு விசையும் ஒன்றுக்கொன்று சமம் மற்றும் எதிரெதிராகச் செயல்படும்.

இவ்விரு விசைகளின் எண் மதிப்புகளும் சமமாகும் $f_s = F_{\text{ext}}$

எனவே, பொருளின் மீது செயல்படும் ஓய்வு நிலை உராய்வு விசை

$$f_s = 5 N.$$

உராய்வு விசையின் திசை, வெளிப்புற விசையின் திசைக்கு F_{ext} எதிர்த் திசையில் இருக்கும்.

எடுத்துக்காட்டு:

7 kg மற்றும் 5 kg நிறையுடைய இரண் பொருட்கள் படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு மேசையின் முனையில் பொருத்தப்பட்டுள்ள கப்பி ஒன்றின் வழியே செல்லும் மெல்லிய கயிற்றின் இரண்டு முனைகளில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. பொருளுக்கும், பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள பரப்புக்கும் இடையேயான ஓய்வு நிலை உராய்வுக் குணகத்தின் மதிப்பு 0.9 எனில் பரப்பின் மீது வைக்கப்பட்டிருக்கும் 7 kg நிறையுடைய m_1 என்ற பொருள் நகருமா? அவ்வாறு நகரவில்லை எனில் m_2 நிறையின் எம்மதிப்பிற்கு m_1 நிறை நகரத் துவங்கும்?

தீர்வு

படத்தில் காட்டியவாறு m_1 நிறையின் மீது நான்கு விசைகள் செயல்படுகின்றன

அ. எதிர்க்குறி y அச்சத்திசையில் கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை ($m_1 g$)

ஆ. நேர்க்குறி y அச்சத்திசையில் மேல் நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை (N)

இ. m_2 நிறையினால் நேர்க்குறி x அச்சத்திசையில் செயல்படும் இழுவிசை

ஈ. எதிர்க்குறி திசையில் x அச்சத்திசையில் செயல்படும் உராய்வு விசை

இங்கு, நிறை m_1 எவ்விதமான செங்குத்து இயக்கத்தையும் மேற்கொள்ளவில்லை. எனவே, $m_1g=N$

பரப்பின் மீது m_1 நிறை நகர்கிறதா எனக் கண்டறிய, m_1 நிறை வைக்கப்பட்டுள்ள பரப்பு, m_1 நிறையின்மீது செலுத்தும் பெரும் ஓய்வுநிலை உராய்வினைக் காண வேண்டும். நிறை m_1 மீது செயல்படும் இழுவிசை, பெரும் ஓய்வு நிலை உராய்வு விசையை விட அதிகமாகவோ இருப்பின் பொருள் நகரத்துவங்கும்.

$$f_s^{\max} = \mu_s N = \mu_s mg$$

$$f_s^{\max} = 0.9 \times 7 \times 9.8 = 61.74N$$

$$\text{இழுவிசை} = T = m_2g = 5 \times 9.8 = 49 N$$

$$T < f_s^{\max}$$

நிறை m_1 மீது செயல்படும் இழுவிசை, ஓய்வு நிறை உராய்வை விடக் குறைவாக இருப்பதனால் நிறை m_1 பரப்பின் மீ நகராது.

m_1 நிறையை நகர்த்த $T > f_s^{\max}$ இங்கு $T = m_2g$

$$m_2 = \frac{\mu_s m_1 g}{g} = \mu_s m_1$$

$$m_2 = 0.9 \times 7 = 6.3kg$$

நிறை m_2 மதிப்பு 6.3 மப விட அதிகம் எனில், நிறை m_1 பரப்பின் மீது நகரத் தொடங்கும்.

பரப்பில் எவ்வித உராய்வும் இல்லை எனில் அதாவது வழுவழுப்பான பரப்பு எனில், நிறை m_2 வின் எந்தவொரு மதிப்பிற்கும் நிறை m_1 பரப்பின் மீது நகர்ந்து செல்லும் என்பதை இங்கு நினைவில் கொள்ள வேண்டும்.

சோடிப்பொருட்களின் பரப்புகளுக்கிடையேயான ஓய்வு நிலை உராய்வுக் குணகத்தின் மதிப்பு, அட்டவணை 3.1 இல் காட்டப்பட்டுள்ள பனிக்கட்டித் துண்டுகளுக்கிடையேயான ஓய்வு நிலை உராய்வுக் குணகம் மிகக்குறைந்த மதிப்பைப் பெற்றுள்ளதை இங்கு கவனிக்கவும். ஒரு பனிக்கட்டித்துண்டை மற்றொரு பனிக்கட்டித் துண்டின்மீது எளிதாக நகர்த்த முடியும் என்பதை இது சுட்டிக்காட்டுகிறது.

இயக்க உராய்வு (kinetic friction)

பொருளின் மீது செலுத்தப்படும் புற விசை, ஓய்வு நிலை உராய்வு விசையின் பெரும் மதிப்பைவிட அதிகமாக இருக்கும்போது, பொருள் பரப்பின் மீது நகர்ந்து செல்லத் துவங்கும். அவ்வாறு நகர்ந்து செல்லும் பொருளின் மீது, பொருள் நகர்ந்து செல்லும் பரப்பு ஒரு உராய்வு விசையைச் செலுத்தும், அவ்வராய்வு விசையே இயக்கநிலை உராய்வு எனப்படும்.

இவ்வியக்க உராய்வு, சறுக்கு உராய்வு என்றும் அழைக்கப்படும். பொருளொன்றை சீரான திசைவேகத்தில் இயக்க, அப்பொருளின் மீது செயல்படும் இயக்க உராய்வின் எண்மதிப்பிற்குச் சமமாகவும் அதற்கு எதிர்த்திசையிலும் ஒரு விசையினைப் பொருளின்மீது செலுத்த வேண்டும்.

இயக்க உராய்வு

இயக்க உராய்வின் எண்மதிப்பு கீழ்க்காணும் சமன்பாட்டின்படி அமைய வேண்டும் என்று சோதனைகளின் அடிப்படையில் கண்டறியப்பட்டுள்ளது.

சோடிப் பொருட்களுக்கிடையேயான ஓய்வுநிலை உராய்வுக் குணகம்

சோடிப் பொருள்கள்	ஓய்வுநிலை உராய்வுக் குணகம்
கண்ணாடி மற்றும் கண்ணாடி	1.0
பனிக்கட்டி மற்றும் பனிக்கட்டி	0.10
எஃகு மற்றும் எஃகு	0.75
மரக்கட்டை மற்றும் மரக்கட்டை	0.35
இரப்பர் டயர் மற்றும் கான்கிரீட் சாலை	1.0
இரப்பர் டயர் மற்றும் ஈரமான சாலை	0.7

$$f_k = \mu_k N$$

இங்கு μ_k எனக்கு இயக்க உராய்வுக் குணகம் மற்றும் N என்பது பொருள் நகர்ந்து செல்லும் பரப்பு பொருளின் மீது செலுத்தும் செங்குத்துவிசை.

$$\text{மேலும் } \mu_k < \mu_s$$

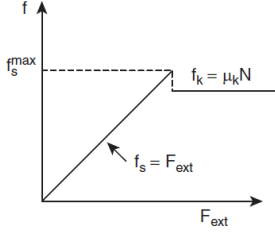
இதிலிருந்து நாம் அறிந்து கொள்வது என்னவெனில் இயங்கும் பொருள் அன்றைத் தொடர்ந்து இயங்கவைப்பதைவிட, அப்பொருளின் இயக்கத்தைத் தொடங்குவது கடினமாகும்.

ஓய்வு நிலை உராய்வுமற்றும் இயக்கநிலை உராய்வு ஆகியவற்றின் சிறப்புக்கூறுகள் அட்டவணை 3.2 இல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

ஓய்வுநிலை உராய்வு மற்றும் இயக்க உராய்வின் சிறப்புக் கூறுகள்

ஓய்வு நிலை உராய்வு	இயக்க உராய்வு
பொருள் நகர்த்தொடங்குவதை எதிர்க்கும்	பொருள் நகரும் பரப்பைப் பொருத்து பொருளின் சார்பியக்கத்தை எதிர்க்கும்
தொடும் பரப்பின் அளவினைச் சார்ந்ததில்லை கொடுக்கப்படும் விசையின் எண் மதிப்பைச் சார்ந்தது	தொடும் பரப்பின் அளவினைச் சார்ந்ததில்லை விசையின் எண் மதிப்பைச் சார்ந்ததில்லை
ஓய்வு நிலை உராய்வுக் குணகம் μ_s ஒன்றை ஒன்று தொடும் பரப்பு பொருட்களின் தன்மையை (Nature of materials) சார்ந்திருக்கும்.	இயக்க உராய்வுக் குணகம் μ_k ஒன்றை ஒன்று தொடும் பரப்புகளின் தன்மை மற்றும் பரப்புகளின் வெப்பநிலை ஆகியவற்றைச் சார்ந்திருக்கும்
சுழியிலிருந்து $\mu_s N$ வரை உள்ள எந்த ஒரு மதிப்பினையும் பெற்றிருக்கும்.	இது எப்பொழுதும் சுழி மதிப்பினைப் பெறாது. மேலும் பொருள் எந்த வேகத்தில் இயங்கினாலும் இதன்மதிப்பு எப்பொதும் μ_k க்குச் சமமாகும். (பொருளின் வேகம் 10ms^{-1} ஐவிட குறைவாக உள்ள போது இது பொருந்தும் என்பதை நினைவில் கொள்ளவும்)
$f_s^{\max} > f_k$ ஓய்வுநிலை உராய்வு விசையின் பெரும் மதிப்பு அதிகமாக இருக்கும்.	இயக்கநிலை உராய்வு விசை குறைவாக இருக்கும்
$\mu_k > \mu_s$ ஓய்வுநிலை உராய்வுக் குணகம் அதிகமான மதிப்பைப் பெற்றிருக்கும்.	இயக்கநிலை உராய்வு குணகம், குறைவான மதிப்பைப் பெற்றிருக்கும்.

பொருளின் மீது செலுத்தப்படும் புறவிசையினைப் பொருத்து ஏற்படும் ஓய்வு நிலை உராய்வுவிசை மற்றும் இயக்கநிலை உராய்வு விசையின் மாறுபாடு வரைபடம் 3.25 இல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



புறவிசையினைப் பொருத்து ஓய்வு நிலை உராய்வு விசை மற்றும் இயக்க உராய்வு விசையில் ஏற்படும் மாறுபாடு

படம் 3.25 லிருந்து, ஓய்வு நிலை உராய்வு விசையானது, ஒரு பெரும் மதிப்பை அடையும்வரை, வெளிப்புத்திலிருந்து பொருளின் மீது செலுத்தப்படும் புறவிசையோடு நேர்க்கோட்டுத் தொடர்பில் அதிகரிக்கும். பொருள் இயங்கத் தொடங்கும்போது இயக்கநிலை உராய்வு விசை ஓய்வு நிலை உராய்வு விசையின் பெரும் மதிப்பைவிடச் சற்றே குறைவான மதிப்பைப் பெறும். மேலும் இயக்க உராய்வு விசை ஒரு மாறா மதிப்பைப் பெற்றிருப்பதுடன் அது பொருளின் மீது செலுத்தப்படும் வெளிப்புற விசையைச் சார்ந்ததல்ல என்பதை நினைவில் கொள்ளவும்.

பொருள் ஒன்றினை நகர்த்த எளிமையான முறை எது? அப்பொருளைத் தள்ளுவதா? அல்லது இழுப்பதா?

பொருள் ஒன்றை சழி முதல் $\frac{\pi}{2}$ வரையிலான ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத்தில் தள்ளும்போது, பொருளின்

மீது செலுத்தப்படும் புறவிசையை F பரப்பிற்கு இணையாக $F \sin \theta$ என்றும் பரப்பிற்குச் செங்குத்தாக $F \cos \theta$ என்றும் இரு கூறுகளாகப் பிரிக்கலாம். இது படம் 3.26 இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. பொருளின் மீது செயல்படும் கீழ்நோக்கிய மொத்த விசை $mg + F \cos \theta$ இது பொருள் மீது செயல்படும் செங்குத்து விசை அதிகரிக்கும் என்பதைக் காட்டுகிறது. இங்கு செங்குத்துத் திசையில் எவ்விதமான முடுக்கமும் இல்லை. எனவே, பொருளின் மீது செயல்படும் செங்குத்துவிசை.

$$N_{push} = mg + F \cos \theta$$

பொருளொன்றை θ கோணத்தில் தள்ளுதல்

இதன் விளைவாக ஓய்வு நிலை உராய்வின் பெரும் மதிப்பும் பின்வரும் சமன்பாடின்படி அதிகரிக்கும்

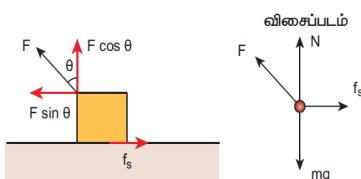
$$f_s^{\max} = \mu_s N_{push} = \mu_s (mg + F \cos \theta)$$

சமன்பாடு (3.30) லிருந்து பொருளைத் தள்ளுவதன் மூலம் நகர்த்துவதற்று அதிக விசை தேவைப்படும் என்பது புலனாகிறது.

பொருளொன்றை கோணத்தில் இடுக்கும்போது பொருளின் மீது நாம் செலுத்தும் விசையினை படம் 3.27 இல் காட்டியுள்ளபடி இரு கூறுகளாகப் பிரிக்கலாம்.

பொருளின் மீதான மொத்த கீழ்நோக்கு விசை

$$N_{pull} = mg - F \cos \theta$$



பொருளொன்றை θ கோணத்தில் இழுத்தல்

சமன்பாடு 3.31 லிருந்து பொருள் மீது செயல்படும் செங்குத்து விசை N_{pull} இன் மதிப்பு N_{push} இன் மதிப்பை விட குறைவே என்பதை அறியலாம். எனவே 3.29 மற்றும் 3.31 ஆகியவற்றிலிருந்து ஒரு பொருளை நகர்த்துவதற்குத் தள்ளுவதை விட இழுப்பதே உளிய வழி என்பது புரிகிறது.

உராய்வுக் கோணம்

செங்குத்து எதிர் விசை மற்றும் பெரும் உராய்வு விசை (f_s^{max}) ஆகிய இரண்டின் தொகுபயனுக்கும் (R) செங்குத்து எதிர்விசை (G)க்கும் இடையேயான கோணம் உராய்வுக் கோணம் எனப்படுகிறது.

படம் 3.28 லிருந்து தொகுபயன் விசை

$$R = \sqrt{(f_s^{\text{max}})^2 + N^2}$$

$$\tan \theta = \frac{f_s^{\text{max}}}{N}$$

உராய்வுக் கோணம்

உராய்வுத் தொடர்புகளிலிருந்து $f_s^{\text{max}} = \mu_s N$ ஆக இருக்கும்போது பொருள் சறுக்கத் துவங்கும் அதனை கீழ்க்காணுமாறும் எழுதலாம்.

$$\frac{f_s^{\text{பெரும்}}}{N} = \mu_s$$

சமன்பாடு (3.32) மற்றும் (3.33) ஆகியவற்றிலிருந்து ஓய்வுநிலை உராய்வுநிலை குணகம்

$$\mu_s = \tan \theta$$

ஓய்வுநிலை உராய்வுநிலை குணகம் உராய்வுக் கோணத்தின் டான்ஜென்ட் ($\tan \theta$) மதிப்பிற்குச் சமமாக இருக்கும்.

சறுக்குக்கோணம் (Angle of repose)

படம் 3.29 இல் காட்டியவாறு பொருளொன்று சாய்தளப்பரப்பில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இச்சாய்தளப்பரப்பு கிடைத்தளத்துடன் θ கோணத்தில் உள்ளது. θ வின் சிறிய மதிப்புகளுக்கு சாய்தளத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள பொருள் நகராது. θ வின் மதிப்பை படிப்படியாக உயர்த்தும் போது, ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பிற்கு, சாய்தளத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள பொருள் நகரத் தொடங்கும். அக்குறிப்பிட்ட கோணமே சறுக்குக்கோணம் எனப்படும். சாய்தளத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள பொருள் நகரத் தொடங்கும். அக்குறிப்பிட்ட கோணமே சறுக்குக்கோணம் எனப்படும். சாய்தளத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள பொருள், கிடைத்தளப் பரப்புடன் சாய்தளம் ஏற்படுத்தும் எக்கோணத்தில் நகரத் தொடங்குகிறதோ, அக்கோணமே, சறுக்குக்கோணம் எனப்படும்.

சறுக்கு கோணம்

பொருளின்மீது செயல்படும் பல்வேறு விசைகளைக் கருதுக. புவியீர்ப்புவிசை mg ஐ இரு கூறுகளாகப் பிரிக்கலாம். சாய்தளப்பரப்பிற்கு இணையான கூறு $mg \sin \theta$ மற்றும் சாய்தளப்பரப்பிற்கு எதிர் செங்குத்தான கூறு $mg \cos \theta$ ஆகும்

சாய்தளப்பரப்பிற்கு இணையாகச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசையின் கூறு ($mg \sin \theta$) பொருளை கீழ்நோக்கி நகர்த்த முயற்சிக்கும். சாய்தளப்பரப்பிற்கு செங்குத்தாகச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசையின் கூறு ($mg \cos \theta$), செங்குத்து விசை (N) ஐ சமன் செய்யும்

$$\text{எனவே } N = mg \cos \theta$$

பொருள் நகரத் தொடங்கும் போது, ஓய்வுநிலை உராய்வு விசை

$$f_s = f_s^{\max} = \mu_s mg \cos \theta$$

இந்த ஓய்வுநிலை உராய்வின் பெருமமதிப்பு, பின்வரும் சமன்பாட்டையும் நிறைவு செய்யும்.

$$f_s^{\max} = mg \sin \theta$$

சமன்பாடு (3.36) ஐ (3.35) ஆல்வகுக்கக்கிடைப்பது,

$$\mu_s = \sin \theta / \cos \theta = \tan \theta$$

மேலும் உராய்வுக்கோணவரையறையிலிருந்து

$$\tan \theta = \mu_s$$

இங்கு என்பது உராய்வு கோணமாகும்.

எனவே, சறுக்குக்கோணமும் உராய்வுக் கோணமும் ஒன்றுக்கொன்று சமமாகும். ஆனால் இவற்றிற்கிடையேயான வேறுபாடு என்னவெனில், சறுக்குக்கோணத்தை சாய்தளப்பரப்பில் மட்டுமே பயன்படுத்தமுடியும். ஆனால் உராய்வுக்கோணத்தை எத்கைய பரப்பிலும் பயன்படுத்தலாம்.

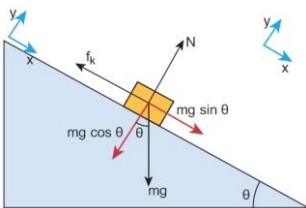
எடுத்துக்காட்டு.

கிடைத்தளத்துடன் 60° கோணத்தில் சாய்ந்துள்ள, சாய்தளத்தின்மீது அ நிறையுள்ள பொருளொன்று வைக்கப்பட்டுள்ளது. அப்பொருள் $\frac{g}{2}$ என்ற முடுக்கத்துடன் கீழ்நோக்கிச் சறுக்கி சென்றால் அப்பொருளின் இயக்க உராய்வு குணகத்தைக் காண்க.

தீர்வு

பொருள் சாய்தளத்தில் சறுக்கிச் செல்லும்போது இயக்க உராய்வு ஏற்படுகிறது.

பொருளினமீது கீழ்க்கண்ட விசைகள் செயல்படுகின்றன அவை தளத்திற்கு செங்குத்தாக செயல்படும். செங்குத்து விசை, கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்புவிசை மற்றும் தளத்திற்கு இணையாகச் செயல்படும் இயக்க உராய்வு விசை



x அச்சத்திசையில்

$$mg \sin \theta - f_k = ma$$

ஆனால் $a = g/2$

$$mg \sin 60^\circ - f_k = mg/2$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2}mg - f_k = mg/2$$

$$f_k = mg \left[\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2} \right]$$

$$f_f = \left[\frac{\sqrt{3}-1}{2} \right] mg$$

y-அச்சத்திசையில் எவ்வித இயக்கமும் இல்லை. எனவே செங்குத்து விசை (N), அபு உழள என்ற கூறினால் சமன் செய்யப்படுகிறது.

$$mg \cos \theta = N = mg/2$$

$$f_f = \mu_k N = \mu_k mg/2$$

$$\mu_k = \frac{\left(\frac{\sqrt{3}-1}{2} \right) mg}{\frac{mg}{2}}$$

$$\mu_k = \sqrt{3}-1$$

சறுக்குக் கோணத்தின் பயன்கள்:

1. எறும்புகளை உணவாகக் கொள்ளும் குள்ளாம்பூர் (Antlion) எனப்படும் ஒரு வகைப் பூச்சியினம், மணற் பரப்பில் சிறு சிறு குழிகளை ஏற்படுத்தியிருக்கும். அக்குழிகள் செல்லும் எறும்பு போன்றவை தப்பிச் செல்ல முடியாது. குழியின் அடியில் காத்திருக்கும் குள்ளாம்பூச்சி, எறும்பினை உட்கொள்ளும். குழிகளின் சாய்கோணம் சறுக்குக் கோணத்திற்குச் சமமாக இருக்கும்படி குழிகள் உருவாக்கப்பட்டிருப்பதை படம் 3.30 இல் காணலாம்.

குள்ளாம்பூச்சிகளினால் (antlions) உருவாக்கப்பட்டிருக்கும் மணற்குழிகள்

2. குழந்தைகள் ஆர்வமுடன் விளையாடும் சறுக்குமர விளையாட்டு படம் 3.31 இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. சறுக்கு மரத்தின் சாய்கோணம், அதன் சறுக்குக் கோணத்தை விட அதிகமாக உள்ளபோது சறுக்கி விளையாடுவது சுலபமாகும். அதே நேரத்தில் சறுக்குக்கோணம் மிகவும் அதிகமாக இருந்தால், சறுக்கி விளையாடும் குழந்தை மிக அதிக வேகத்துடன் அடிப்பரப்பை அடையும் இது குழந்தைகளுக்கு உடல் விலியை ஏற்படுத்திவிடும்.

சறுக்குமரம்

உருளும் உராய்வு (Rolling friction)

மனித நாகரிக வளர்ச்சியில், சக்கரத்தின் பங்கு மகத்தானது. பயணப் பெட்டிகளின் (Suitcases) அடியில் சக்கரங்களைப் பொருத்தி அவற்றை சுமந்து செல்லாமல் இழுத்துச் செல்வதை (Rolling

Suitcase) நாம் அன்றாட வாழ்வில் பார்க்கிறோம். பொருளொன்று பரப்பில் இயங்குகிறது எனில் அடிப்படையில் அப்பொருள் பரப்பில் சறுக்கிச் செல்கிறது. ஆனால் சக்கரங்கள் உருளுவதன் மூலம் பரப்பில் இயங்குகின்றன.

சக்கரம் பரப்பில் இயங்கும்போது, சக்கரத்தின் எப்புள்ளி பரப்பைத் தொடுகிறதோ, அப்புள்ளி எப்பொழுதும் ஓய்வுநிலையில் இருக்கும். அதாவது, சக்கரத்திற்கும், பரப்பிற்கும் இடையே எவ்விதமான சார்பியக்கமும் இல்லை. எனவே உராய்வு விசையும் மிகக்குறைவு. அதே நேரத்தில் பொருளொன்று பரப்பின்மீது சக்கரங்கள் இன்றி செல்லும்போது, பொருளுக்கும் பரப்பிற்கும் இடையே ஒரு சார்பியக்கம் ஏற்படுகிறது. இதன் விளைவாக அதிக உராய்வுவிசை ஏற்படுகிறது. இதனால் பொருளினை நகர்த்துவது கடினமாகும். படம் 3.32 உருளுதலின் உராய்விற்கும், இயக்க உராய்விற்கும் உள்ள வேறுபாட்டைக் கூட்டிக் காட்டுகிறது.

உருளுதலின் உராய்வு மற்றும் இயக்க உராய்வு

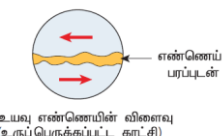
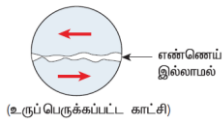
சறுக்கலற்ற உருளும் இயக்கத்தில் பரப்பினைத் தொடும்புள்ளி ஓய்வுநிலையில் இருப்பது இலட்சிய நிலையில் மட்டுமே சாத்தியமாகும். ஆனால் நடைமுறையில் அவ்வாறு இருப்பதில்லை. பொருட்களின் நெகிழ்வுத் தன்மை (elastic) காரணமாக தரையைத் தொடும்புள்ளி சற்றே தரையில் அழுத்தி மிகக்குறைவான உராய்வினை ஏற்படுத்துகிறது. இது படம் 3.33 இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. எனவே வாகனத்தின் சக்கரத்திற்கும், சாலையின் பரப்பிற்குமிடையே உராய்வுவிசை ஏற்படுகிறது. இவ்வராய்வு, இயக்க உராய்வை விட மிகவும் வலிமை குறைந்தது ஆகும்.

உராய்வைக் குறைக்கும் முறைகள்:

உராய்வு நடைமுறை வாழ்க்கையில் நன்மை, தீமை இரண்டையும் ஏற்படுத்துகிறது. சில சூழ்நிலைகளில் உராய்வு மிகவும் அவசியமானதாகும். ஊராய்வின் காரணமாகத்தான் நம்மால் நடக்க முடிகிறது. வாகனங்களின் சக்கரங்களுக்கும், சாலையின் பரப்பிற்கும் இடையே ஏற்படும் உராய்வு விசையின் காரணமாகத்தான் வாகனங்களால் இயங்கமுடிகிறது.

சக்கரத்தடை அமைப்புகளில் (braking systems) உராய்வு மிக முக்கியப் பங்காற்றுகிறது. நாம் முற்பகுதியில் கற்றவாறு இரண்டு பரப்புகளுக்கு இடையே சார்பியக்கம் நிகழும்போது அங்கு உராய்வு விசை ஏற்படுகிறது.

தொழிற்சாலைகளில் உள்ள கனரக இயந்திரங்களின் பரப்புகள் ஒன்றுடன் ஒன்று சார்பியக்கத்தில் உள்ளபோது உராய்வு ஏற்பட்டு வெப்ப வடிவில் ஆற்றல் இழக்கப்படுகிறது. இதனால் கனரக இயந்திரங்களின் செயல் திறன் குறைந்து விடுகிறது. இவ்வாறு ஏற்படும் இயக்க உராய்வினை குறைப்பதற்காக உயவு எண்ணெய்கள் (lubricants) எவ்வாறு பயன்படுகின்றன என்பதை படம் 3.34 விளக்குகிறது.



உயவு எண்ணெயைப் பயன்படுத்தி இயக்க உராய்வினைக் குறைத்தல்

பந்து தாங்கி அமைப்பு (Ball bearings) இயந்திரங்களில் இயக்க உராய்வைக் குறைப்பதில் பெரும்பங்காற்றுகின்றன. இது படம் 3.35 இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இரண்டு பரப்புகளுக்கு நடுவே பந்து தாங்கி அமைப்பைப் பொருத்துவதன் மூலமாக இரண்டுபரப்புகளின் சார்பியக்கம் நடைபெறும் நேர்வகையில் இயக்க உராய்வினை முழுவதுமாக தடுத்து உருளுதலின் உராய்வு மட்டுமே பந்து தாங்கி அமைப்பினால் ஏற்படுகிறது. நாம் முற்பகுதியில் கற்றவாறு உருளுதலின் உராய்வு, இயக்க உராய்வை

விட மிகக் குறைவு. எனவே இயந்திரங்களின் தேய்மானத்தைக் குறைத்து பந்து உருளை அமைப்பு அவற்றை நீண்ட காலத்திற்கு இயங்க வைக்கிறது.

நியூட்டன் மற்றும் கலிலியோ வாழ்ந்த காலகட்டத்தில் உராய்வு விசையானது, புவியீர்ப்பு விசை போன்றதொரு இயற்கை விசை என்று நம்பப்பட்டது. ஆனால் இருபதாம் நூற்றாண்டில், அணுக்கள், எலக்ட்ரான்கள் மற்றும் புரோட்டான்கள் போன்றவற்றைப் பற்றிய அறிவு, உராய்வு விசை பற்றிய புரிதலை மாற்றியமைத்தது. உராய்வு விசையானது உண்மையில் சார்பியக்கத்திலுள்ள இரண்டு பரப்புகளின் அணுக்களுக்கிடையேயான மின்காந்தவிசையாகும். நன்கு வழுவழுப்பாக்கப்பட்ட பரப்புகளும் மீநுண்ணளவில் (microscopic level) மேடு பள்ளங்களைப் பெற்றுள்ளன. இதனை படம் 3.36 விளக்குகிறது.

பந்து தாங்கி அமைப்பைப் பயன்படுத்தி இயக்க உராய்வைக் குறைத்தல்

உருப்பெருக்கப்பட்ட படத்தில் தளங்களின் சீரற்ற தன்மை

எடுத்துக்காட்டு:

பொருளொன்று மாறாத் திசைவேகத்தில் கிடைத்தளப் பரப்பில் இயங்குகின்றது எனக் கருதுக. வெளிப் புறவிசை அப்பொருளின் மீது செயல்பட்டு அதனை மாறாத் திசைவேகத்தில் இயக்கினால், அப்பொருளின் மீது செயல்படும் தொகுபயன் விசையின் மதிப்பு என்ன?

தீர்வு

பொருள் மாறாத் திசைவேகத்தில் இயங்கும்போது அப்பொருளின் முடுக்கம் சுழி. நியூட்டனின் இரண்டாம் விதிப்படி பொருளின்மீது எவ்விதமான தொகுபயன் விசையும் செயல்படவில்லை. வெளிப்புற விசையானது இயக்க உராய்வினால் சமன் செய்யப்படுகிறது.

வட்ட இயக்கத்தின் இயக்க விசையியல்

முற்பகுதியில் நியூட்டனின் விதிகளைப் பயன்படுத்தி பொருட்களின் நேர்க்கோட்டு இயக்கத்தை எவ்வாறு பகுப்பாய்வு செய்வது என்று அறிந்து கொண்டோம். இதே போன்று நியூட்டனின் விதிகளை வட்டஇயக்கத்திற்கு எவ்வாறு பயன்படுத்தவது என்று அறிந்து கொள்வதும் அவசியமாகும்.

ஏனெனில் வட்ட இயக்கம் நம் வாழ்க்கையில் தவிர்க்க முடியாத ஒன்றாகும். புறவிசை செயல்பட்டாலும் அல்லது செயல்படாவிட்டாலும் ஒரு பொருளானது நேர்க்கோட்டு இயக்கத்தை மேற்கொள்ளலாம். ஆனால் பொருளின்மீது விசை செயல்பட்டால் மட்டுமே வட்ட இயக்கத்திற்கு நியூட்டனின் முதல் விதி என்ற ஒன்று இல்லை. அதாவது பொருளின்மீது விசை செயல்படாமல் அப்பொருளினால் வட்ட இயக்கத்தை மேற்கொள்ள இயலாது. பொருளின்மீது செயல்படும் விசை அப்பொருளின் திசைவேகத்தை மூன்று வழிகளில் மாற்றியமைக்கும்.

1. திசைவேகத்தின் திசையை மாற்றாமலேயே அதன் எண்மதிப்பை மட்டும் மாற்றுவது. இந்நிகழ்வில் துகள் ஒரே திசையில் முடுக்கத்துடன் இயங்கும்.

எடுத்துக் காட்டுகள்

செங்குத்தாகக் கீழே விழும் பொருள், முடுக்கத்துடன் நேரான சாலையில் செல்லும் வாகனம்

2. திசைவேகத்தின் எண்மதிப்பை (வேகம்) மாற்றாமல் அதன் திசையை மட்டும் மாற்றுவது. இவ்வாறு இயங்கும் இயக்கத்தை நாம் சீரான வட்ட இயக்கம் என்று அழைக்கிறோம்.

3. திசைவேகத்தின் எண்மதிப்பு (வேகம்) மற்றும் திசை இவ்விரண்டிலும் மாற்றம் ஏற்பட்டால் வட்டமற்ற இயக்கம் ஏற்படும் (Non circular motion) எடுத்துக்காட்டுகள்

ஊஞ்சல், தனி ஊசல், நீள் வட்டப்பாதையில் சூரியனைச் சுற்றி வரும் கோள்களின் இயக்கம் போன்றவை.

இப்பிரிவின் சீரான வட்ட இயக்கம் மற்றும் சீரற்ற வட்ட இயக்கங்களைப் பற்றி அறியலாம்.

மையநோக்கு விசை:

துகளொன்று சீரான வட்டப்பாதையில் சுற்றி வரும்போது வட்டமையத்தை நோக்கி வட்டப்பாதையின் ஆரம் வழியாக மையநோக்கு முடுக்கம் ஏற்படும். நியூட்டனின் இரண்டாம் விதிப்படி முடுக்கம் ஏற்பட்டால் நிலைமைக் குறிப்பாயத்தைப் பொருத்து துகளின்மீது ஒரு விசை செயல்பட வேண்டும். அவ்வாறு துகளின் மீது செயல்படும் விசையே மையநோக்கு விசை எனப்படும்.

அலகு 2 இல் நாம் கற்றபடி, வட்டப்பாதையில் இயங்கும் துகளின் மீது செயல்படும் மையநோக்கு முடுக்கம் $a = \frac{v^2}{r}$ ஆகும். இம்முடுக்கம் வட்டமையத்தை நோக்கிச் செயல்படுகிறது. நியூட்டனின் இரண்டாம் விதிப்படி, மையநோக்கு விசை

$$F_{cp} = ma_{cp} = \frac{mv^2}{r}$$

$$F_{cp} = \frac{1}{4} \times (2)^2 = 0.333N.$$

$$a_m = \omega^2 R_m$$

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

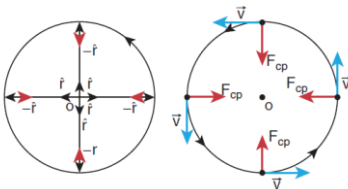
$$R_m = 60R = 60 \times 6.4 \times 10^6 = 384 \times 10^6 m$$

இங்கு மையநோக்கு விசை என்பதன் பொருள், துகள் வட்டப்பாதையில் எங்கு இருப்பினும் அதன் முடுக்கம் எப்போதும் மையத்தை நோக்கியே இருக்கும் என்பதைக் குறிக்கிறது.

$$\text{வெக்டர் குறியீட்டின் படி } \vec{F}_{cp} = -\frac{mv^2}{r} \hat{r}$$

$$\text{சீரான வட்ட இயக்கத்திற்கு } \vec{F}_{cp} = -m\omega^2 r \hat{r}$$

இங்கு- \hat{r} இன் திசை வட்ட மையத்தை நோக்கிக் குறிக்கிறது. மேலும் இதுவே மையநோக்கு விசையின் திசையைக் குறிக்கிறது. இதுபடம் 3.38 இல் தெளிவாக குறிப்பிட்டுக் காட்டப்பட்டுள்ளது.



மையநோக்குவிசை

மையநோக்குவிசை, புவியீர்ப்பு விசை அல்லது சுருள்வில் விசை போன்ற ஒரு இயற்கை விசையல்ல என்பதை இங்கு கவனிக்க வேண்டும். மையத்தை நோக்கிச் செயல்படும் ஒரு விசை என்றே அடைக்கப்படுகிறது. புவியீர்ப்பு விசை, கயிற்றின் இழுவிசை, உராய்வு விசை, கூலும் விசை போன்ற ஏதேனும் ஒரு விசையே மையநோக்கு விசையாகச் செயல்படுகிறது.

1. மெல்லிய கயிற்றின் ஒரு முனையில் கட்டி சுழற்றப்படும் கல்லின் இயக்கத்தில், கயிற்றின் இழுவிசையே மையநோக்கு விசையாகச் செயல்படுகிறது. பொழுதுபோக்குப் பூங்காக்களில் இயக்கப்படும் இராட்டினம் போன்ற சுழற்சி இயக்கத்தில், இராட்டினத்தைத் தாங்கம் இரும்புக் கம்பிகளின் இழுவிசை மையநோக்கு விசையை அளிக்கிறது.

2. புவியினைச் சுற்றி வரும் செயற்கைக் கோளின் இயக்கத்தில், புவி, செயற்கைக் கோளின் மீது செலுத்தும் புவியீர்ப்பு விசையே மையநோக்கு விசையாகச் செயல்படுகிறது. செயற்கைக்கோள் இயக்கத்திற்கு நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியை கீழ்க்காணுமாறு எழுதலாம்

$$F = \text{புவியீர்ப்பு விசை} = \frac{mv^2}{r}$$

இங்கு r என்பது புவியின் மையத்திலிருந்து செயற்கைக்கோள் உள்ள தொலைவு

சுழல் இயக்கப் பொருள்கள்

m – என்பது செயற்கைக்கோளின் நிறை

v – என்பது செயற்கைக் கோளின் வேகம்

3. கார் ஒன்று வட்டவடிவப்பாதையில் செல்லும் போது, மையநோக்கு விசையானது காரின் டயருக்கும், சாலைக்கும் இடையே ஏற்படும் உராய்வு விசையினால் ஏற்படுகிறது.

வட்ட வடிவப்பாதையில் செல்லும் கார்

இந்திகழ்விற்கான நியூட்டன் இரண்டாம் விதியை கீழ்க்காணுமாறு எழுதலாம்

$$\text{உராய்வு விசை} = \frac{mv^2}{r}$$

m – என்பது காரின் நிறை

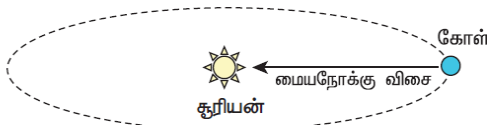
v – என்பது காரின் வேகம்

r – என்பது பாதையின் வளைவு ஆரம்

கார்வளைவுப் பாதையில் செல்லும் போதும், மையநோக்கு விசையைப் பெறுகிறது. காரின் டயருக்கும், சாலைக்கும் இடையே ஏற்படும் உராய்வு விசையினால் இம்மையநோக்கு விசை ஏற்படுகிறது. இது படம் 3.41 இல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

காரின் டயருக்கும், சாலைக்கும் இடையே ஏற்படும் உராய்வு விசையினால் ஏற்படும் மையநோக்கு விசை

4. கோள்கள் சூரியனைச் சுற்றி வரும்போது அவை சூரியனின் மையத்தை நோக்கிய, ஒரு மையநோக்கு விசையைப் பெறுகின்றன. இங்கு கோள்களின் மீதான சூரியனின் ஈர்ப்பு விசை, மையநோக்கு விசையாகச் செயல்படுகிறது. இது படம் 3.42இல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



சூரியனின் ஈர்ப்பு விசையினால் சூரியனைச் சுற்றிவரும் கோளின் மீது ஏற்படும் மையநோக்கு விசை

இந்திகழ்விற்கான நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியை பின்வருமாறு எழுதலாம்

கோள்களின் மீது சூரியனின் ஈர்ப்புவிசை $= \frac{mv^2}{r}$

எடுத்துக்காட்டு:

0.25 kg நிறையுடைய கல் ஒன்று கயிற்றின் முனையில் கட்டப்பட்டு 2ms^{-1} வேகத்தில் 3m ஆரமுடைய சீரானவட்ட இயக்கத்தை மேற்கொள்கிறது. கல்லின் மீது செயல்படும் இழுவிசையினைக் கண்டுபிடி

தீர்வு:

$$F_{cp} = \frac{1}{4} \times (2)^2 = 0.333N$$

எடுத்துக்காட்டு

நிலா, புவியினை வட்டப்பாதைக்கு ஒத்த ஒரு பாதையில் 27.3 நாட்களில் முழுமையாகச் சுற்றி வருகிறது. புவியின் ஆரம் 6.4×10^6 m எனில் நிலாவின் மீது செயல்படும் மையநோக்கு முடுக்கத்தைக் காண்க.

தீர்வு

மையநோக்குமுடுக்கம் $a = \frac{v^2}{r}$ இச் சமன்பாடு வெளிப்படையாகவே நிலவின் வேத்தைச் சார்ந்தது. இந்த வேகத்தை கணக்கிடுவது சுற்றுக் கடினமாகும். எனவே நாம் பின்வரும் சமன்பாட்டினைப் பயன்படுத்தலாம்.

$$\omega^2 R_m = a_m$$

இங்கு a_m என்பது புவியின் ஈர்ப்பு விசையினால், நிலா பெறும் மைய நோக்கு முடுக்கமாகும்.

ω என்பது கோணத் திசைவேகம்

R_m என்பது புவியிலிருந்து நிலா வரை உள்ள தொலைவு. இது புவியின் ஆரத்தைப் போன்று 60 மடங்காகும்.

$$R_m = 60R = 60 \times 6.4 \times 10^6 = 384 \times 10^6 m$$

நாமறிந்த படி கோணத் திசைவேகம் $\omega = \frac{2\pi}{T}$

மேலும் $T = 27.3$ நாட்கள் $= 27.3 \times 24 \times 60 \times 60$

$$= 2.358 \times 10^6 s$$

இம்மதிப்புகளை முடுக்கச் சமன்பாட்டில் பிரதியிடும் போது $a_m = \omega^2 R_m$

$$= \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 R_m$$

$$= \frac{4\pi^2}{T^2} R_m$$

$$a_m = \frac{(4\pi^2)(384 \times 10^6)}{(2.358 \times 10^6)^2} = 0.00272 \text{ms}^{-2}$$

புவியை நோக்கி நிலாவின் மையநோக்கு முடுக்கம் 0.00272ms^{-2}

சரி சமமான வட்டச் சாலையில் செல்லும் வாகனம்:

வாகனமொன்று வளைவுப்பாதையில் செல்லும் போது, அவ்வாகனத்தின் மீது மையநோக்கு விசை செயல்படுகிறது. வாகனத்தின் டயர் மற்றும் சாலையின் மேற்பரப்பு இவற்றிற்கிடையேயான உராய்வு விசையின் காரணமாக இம்மையநோக்குவிசை ஏற்படுகிறது. m நிறையுடைய வாகனமொன்று r ஆரமுடைய வட்டவடிவப் பாதையில் v வேகத்தில் இயங்குகிறது எனில், அவ்வாகனத்தின் மீது மூன்று விசைகள் செயல்படுகின்றன. அவை படம் 3.34 இல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

- 1) கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்புவிசை (mg)
- 2) மேல் நோக்கிச் செயல்படும் செங்குத்துவிசை N
- 3) சாலையின் கிடைத்தளப் பரப்பின் வழியே உள்ளோக்கிச் செயல்படும் உராய்வு விசை (F_s)

சாலை கிடைத்தளமாக இருப்பின், செங்குத்து விசையும், புவியீர்ப்பு விசையும் ஒன்றுக்கொன்று சமம் மற்றும் எதிரெதிராக இருக்கும். வாகனத்தின் டயருக்கும், சாலையின் பரப்பிற்கும் இடையே ஏற்படும் உராய்வு விசை தேவையான மையநோக்கு விசையை அளிக்கிறது. இம்மையநோக்கு விசை வட்டச்சாலையின் மையத்தை நோக்கிச் செயல்படுகிறது.

சரி சமமான வட்டப்பாதையில் செல்லும் வாகனத்தின் மீது செயல்படும் விசைகள்

நாம் முற்பகுதியில் கற்றபடி, நிலை உராய்வுவிசை சுழி முதல் பெரும் மதிப்பு விசை வரை எந்த மதிப்பையும் பெறலாம். எனவே

இங்கு இரண்டு நிபந்தனைகள் சாத்தியமாகிறது:

a. வாகனம் சறுக்காமல் வளைவதற்கான

$$\text{நிபந்தனை } \frac{mv^2}{r} \leq \mu_s mg,$$

$$\text{அல்லது } \mu_s \geq \frac{v^2}{rg} \quad \text{அல்லது } \sqrt{\mu_s rg} \geq v$$

(பாதுகாப்பாக வளைத்தல்)

வளைவுச்சாலையில், வாகனம் வளைவதற்குத் தேவையான மையநோக்கு விசையை நிலை உராய்வு கொடுக்கிறது. எனவே வாகனத்தின் டயர் மற்றும் சாலையின் பரப்பு இவற்றிற்கிடையேயான நிலை உராய்வுக் குணகம் வாகனம் சறுக்காமல் வளைவுப்பாதையில் வளைவதற்கான பெருமவேகத்தை நிர்ணயிக்கிறது.

b. வாகனம் சறுக்குவதற்கான நிபந்தனை

$$\frac{mv^2}{r} > \mu_s mg, \text{ அல்லது } \mu_s < \frac{v^2}{rg} \text{ (சறுக்குதல்)}$$

வாகனம் வளைவதற்குத் தேவையான மையநோக்கு விசையை நிலை உராய்வுவிசையினால் கொடுக்க இயலவில்லை எனில், வாகனம் சறுக்கத் தொடங்கும்

எடுத்துக்காட்டு:

ஆரம் 10 m மற்றும் நிலை உராய்வுக் குணகம் 0.81 கொண்ட சரிசமமான வட்டவடிவச் சாலை ஒன்றைக் கருதுக. அச்சாலையின் மூன்று கார்கள் (A,B மற்றும் C) முறையே 7 ms^{-1} , 8 ms^{-1} , 10 ms^{-1} வேகத்தில் செல்கின்றன. இவற்றுள் எந்த கார் வட்ட வடிவச்சாலையில் செல்லும் போது சறுக்கி விழும்? ($g=10 \text{ ms}^{-2}$)

தீர்வு

சரி சமமான வட்டச்சாலையில் செல்லும் வாகனம் சறுக்காமல் இருக்கத் தேவையான நிபந்தனை, வாகனத்தின் வேகம் (v) இன் மதிப்பு $\sqrt{\mu_s rg}$ ஐ விடக் குறைவாகவோ அல்லது சமமாகவோ இருக்க வேண்டும்.

$$v \leq \sqrt{\mu_s rg}$$

$$\sqrt{\mu_s rg} = \sqrt{0.81 \times 10 \times 10} = 9 \text{ ms}^{-1}$$

c. காரினைப் பொருத்தவரை $\sqrt{\mu_s rg}$ இன் மதிப்புக்காரின் வேகம் v ஐ விடக் குறைவு. கார் A மற்றும் B இரண்டும் பாதுகாப்பாக வளையும், ஆனால் கார் C இன் வேகம், நிர்ணயிக்கப்பட்ட வேகத்தை விட ($\sqrt{\mu_s rg}$) அதிகமாக உள்ளதால் அது சறுக்கி விடும்.

வெளிவிளிம்பு உயர்த்தப்பட்ட சாலை

சரிசமமான வட்டச் சாலையில், வாகனங்கள் சறுக்கி விபத்துக்குள்ளாவது, சாலைப் பரப்பின் நிலை உராய்வுக் குணகத்தை சார்ந்திருக்கிறது. இந்த நிலை உராய்வுக் குணகத்தின் பெரும் மதிப்பு பரப்பின் தன்மையைச் சார்ந்ததாகும். இதன் காரணமாக வாகனங்களுக்கு ஏற்படும் விபத்தினைத் தடுப்பதுற்காகச் சாலையின் வெளிவிளிம்பு உட்புற விளிம்பை விட சற்றே உயர்த்தி அமைக்கப்பட்டிருக்கும். இதற்கு வெளிவிளிம்பு உயர்த்தப்பட்ட சாலை (banking of tracks) என்று பெயர். வெளிவிளிம்பு உயர்த்தப்பட்டிருப்பதால் இது ஒரு சாய்தளம் போன்று அமையும். கிடைத்தளப் பரப்புடன் இந்தச் சாய்தளம் ஏற்படுத்தும் கோணம் வெளி விளிம்புக் கோணம் (banking angle) எனப்படும்.

வாகனங்கள் சறுக்குவதைத் தவிர்ப்பதற்காக வெளிவிளிம்பு சற்றே உயர்த்தப்பட்டிருக்கும் சாலை

கிடைத்தளத்துடன் θ கோணத்தில் உள்ள சாலையின் பரப்பைக் கருதுக. செங்குத்துவிசை, செங்குத்து அச்சுடன் இதே θ கோணத்தை ஏற்படுத்தும். இச்சாலையில் செல்லும் கார் ஒன்று வளையும்போது அதன் மீது இரண்டு விசைகள் செயல்படும்.

அ. கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை (mg)

ஆ. சாலையின் பரப்பிற்குச் செங்குத்தாகச் செயல்படும் செங்குத்து விசை (N)

செங்குத்து விசை N ஐ இரண்டு கூறுகளாகப் பிரிக்கலாம். இவை $N \cos \theta$ மற்றும் $N \sin \theta$ ஆகும். இவை படம் 3.44 இல் காட்டப்பட்டுள்ளன. $N \cos \theta$ கூறு, கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் புவியிர்ப்பு விசையை (mg) சமன் செய்கிறது. $N \sin \theta$ கூறு தேவையான மையநோக்கு விசையைக் கொடுக்கிறது.

நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்தி பின்வரும் சமன்பாடுகளை அமைக்கலாம்

$$N \cos \theta = mg$$

$$N \sin \theta = \frac{mv^2}{r}$$

இவ்விரு சமன்பாடுகளையும் வருக்கும் போது $\tan \theta = \frac{v^2}{rg}$ எனக் கிடைக்கும்

$$v = \sqrt{rg \tan \theta}$$

வெளி விளிம்புக் கோணம் மற்றும் சாலையின் வளைவு ஆரம் (r) இவ்விரண்டும் வளைவுச் சாலையில் பாதுகாப்பாக வாகனங்களை இயக்க வேண்டிய வேகத்தை (v) தீர்மானிக்கின்றன. வாகனம் ஒன்றின் வேகம் நிர்ணயிக்கப்பட்ட வேகத்தைவிட அதிக வேகத்தில் செல்லும் போது சாலையின் வெளிப்புறத்தை நோக்கி சறுக்கத் தொடங்கும். ஆனால் உராய்வு விசை செயல்பட்டு கூடுதல் மையநோக்கு விசையினைக் கொடுத்து வெளிப்புறச் சறுக்குதலைத் தடுக்கும். அதே நேரத்தில் காரின் வேகம் நிர்ணயிக்கப்பட்ட வேகத்தை விட குறைவாக இருப்பின் கார் உட்புறத்தை செயல்பட்டு மையநோக்கு விசையைக் குறைத்து உட்புறத்தை நோக்கி சறுக்குவதைத் தடுக்கும். இருப்பினும் காரின் வேகம் மிக அதிகம் எனில் உராய்வு விசையினால் கார் சறுக்குவதைத் தடுக்க முடியாது.

எடுத்துக்காட்டு

20 m ஆரமுடைய வட்டச்சாலையைக் கருதுக. அதன் வெளிவிளிம்புக் கோணம் 15° என்க. அச்சாலையில் செல்லும் வாகனம் நழுவி விழாமல் பாதுகாப்பாக வளைவதற்குத் தேவையான வேகத்தைக் காண்க.

தீர்வு

$$v = \sqrt{rg \tan \theta} = \sqrt{20 \times 9.8 \times \tan 15^\circ}$$

$$= \sqrt{20 \times 9.8 \times 0.26} = 7.1 \text{ms}^{-1}$$

சறுக்கி வழாமல் பாதுகாப்பாக வளைவதற்குத் தேவையான வேகம் = 7.1ms^{-1}

மையவிலக்கு விசை

வட்ட இயக்கத்தை இருவேறு குறிப்பாயங்களைப் பொருத்து ஆய்வு செய்யலாம். அவற்றுள் ஒன்று நிலைமக் குறிப்பாயமாகும். இக்குறிப்பாயம் ஓய்வுநிலை அல்லது சீரான இயக்கநிலை இவற்றுள் ஏதேனும் ஒரு நிலையில் இருக்கும். இங்கு இயக்கத்தில் உள்ள பொருட்கள் நியூட்டனின் இயக்க விதிகளுக்கும் கட்டுப்பட்டு இயங்கும். மற்றொரு குறிப்பாயம் முடுக்கமடைகின்ற, நிலைமமற்ற குறிப்பாயமான சுழற்சிக் குறிப்பாயமாகும். (rotational frames). வட்ட இயக்கத்தினை இவ்விரு குறிப்பாயங்களைப் பொருத்து வெவ்வேறு கண்ணோட்டத்தில் ஆய்வு செய்யலாம். சுழற்சிக் குறிப்பாயத்தில் நியூட்டனின் முதல் விதி மற்றும் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்தும் போது ஒரு போலியான விசையை (Pseudo force) சேர்த்துக் கருத வேண்டும். இந்தப் போலியான விசையே மையவிலக்கு விசையாகும். இத்தகைய மையவிலக்கு விசை சுழற்சிக் குறிப்பாயத்தைப் பொருத்து பொருளின் மீது செயல்படும். மையவிலக்கு விசையினைப் புரிந்து கொள்ள கீழ்க்கண்ட விளக்கம் பெரிதும் துணை புரியும்.

மெல்லிய கயிற்றின் ஒரு முனையில் கட்டப்பட்டு சுழற்சி இயக்கத்தை மேற்கொள்ளும் கல் ஒன்றைக் கருதுவோம். ஓய்வுநிலையிலுள்ள நிலைமக் குறிப்பாயத்தைப் பொருத்து கல்லின் கோணத் திசைவேகம் ω என்க. ω கோணத் திசைவேகத்தில் கல்லுடன் சேர்ந்து சுழற்சி இயக்கத்திலுள்ள மற்றொரு குறிப்பாயத்திலிருந்து கல்லினைப் பாரக்கும்போது அக்கல் ஓய்வுநிலையில் இருப்பது போன்று தோன்றும்

சுழற்சிக் குறிப்பாயத்தைப் பொருத்து, வட்டமையத்தை நோக்கிச் செயல்படும் மைநோக்கு விசையான $-m\omega^2 r$ உடன், அதற்குச் சமமான எதிர்திசையில் வெளிநோக்கிச் செயல்படும் $+m\omega^2 r$ என்ற விசை கல்லின் மீது செயல்படுகிறது. எனவே சுழற்சி இயக்கத்திலுள்ள குறிப்பாயத்தைப் பொருத்து கல்லின் மீது செயல்படும் தொகுபயன் விசை சுழியாகும் என்பதை இது காட்டுகிறது. ($-m\omega^2 r + m\omega^2 r = 0$) இங்கு வெளிநோக்கிச் செயல்படும் $+m\omega^2 r$ விசைக்கு மையவிலக்கு விசை என்று பெயர்.

மையவிலக்கு என்பதன் பொருள் மையத்தை விட்டு வெளிநோக்கிச் செயல்படுவது என்பதாகும். சுழற்சிக் குறிப்பாயத்தைப் பொருத்து கல்லின் சுழற்சி இயக்கத்தை ஆய்வு செய்யும்போது மட்டும் மையவிலக்கு விசை கல்லின் மீது செயல்படுவதாகத் தோன்றும். இக்காரணத்தினால் விசை என்று அழைக்கிறோம். இப்போலியான விசை எந்த மூலத்திலிருந்தும் தோன்றுவதில்லை (வை டயள முசபை). இங்கு போலி விசை தோன்றுவதற்கான காரணம், நாம் கருதும் சுழற்சி குறிப்பாயம் ஒரு நிலைமற்ற குறிப்பாயம் என்பதாலே ஆகும்.

நிலைமக் குறிப்பாயத்தைப் பொருத்து கல்லின் சுழற்சி இயக்கத்தை ஆய்வு செய்யும்போது மையநோக்கு விசை மட்டுமே செயல்படும். இம்மையநோக்கு விசை கல் கட்டப்பட்டிருக்கும் மெல்லிய கயிற்றின் இழுவிசையால் பெறப்படுகிறது. சுழற்சி குறிப்பாயத்தைப் பொருத்து சுழற்சி இயக்கக் கணக்குகளைத் தீர்வு செய்ய வரையப்படும் தனித்த பொருளின் விசைப்படங்களில் படம் 3.45 இல் உள்ளவாறு மையவிலக்கு விசை கண்டிப்பாகக் காட்டப்பட வேண்டும்.

மையவிலக்கு விசையுடன் வரையப்பட்ட தனித்த பொருளின் விசைப்படம்

மைய விலக்கு விசையின் விளைவுகள்

மையவிலக்கு விசை ஒரு போலியான விசையாக இருப்பினும் அதன் விளைவுகள் உண்மையாகும். கார் ஒன்று வளைவுப்பாதையில் திரும்பும்போது, காரின் உள்ளே அமர்ந்திருப்பவர் ஒரு வெளிப்புறவிசையை உணர்வார். அவ்விசை அவரை வெளிநோக்கித் தள்ளும். இவ்வெளிநோக்கிய விசையையும் மையவிலக்கு விசை என்றே அழைக்கலாம். காரின் இருக்கைக்கும், அமர்ந்திருக்கும் நபருக்கும் இடையே உள்ள போது மான உராய்வுவிசை இருந்தால் அவர் வெளியே தள்ளப்படுவது தவிர்க்கப் படுகிறது.

நேர்க்கோட்டுப் பாதையில் சென்று கொண்டிருக்கும் கார் ஒன்று திடீரென்று தன்பாதையிலிருந்து வளையும்போது, காரின் உள்ளே நிலையாகப் பொருத்தப்படாத பொருள், திசையில் நிலைமப் பண்பின் (Inertia of direction) காரணமாக நேர்க்கோட்டுப் பாதையிலேயே தொடர்ந்து இயங்க முயற்சிக்கும்.

மையவிலக்கு விசையின் விளைவு

இவ்விசைகளை நிலைமக் குறிப்பாயத்திலிருந்து பாரக்கும் போது படம் 3.46 இல் காட்டியுள்ளவாறு நேர்க்கோட்டு இயக்கமாதத் தெரியும். ஆனால் சுழற்சிக் குறிப்பாயத்திலிருந்து பாரக்கும்போது இயக்கம் வெளிநோக்கிச் செல்வது போன்று தோன்றும்.

சுழலும் மேடையில் நின்று கொண்டிருக்கும் நபர் வெளிப்புற மையவிலக்கு விசையை உணரவார். இதன் காரணமாக மேடையிலிருந்து அவர் வெளியே தள்ளப்பட வாய்ப்பு அதிகம். நின்று கொண்டிருக்கும் நபருக்கும், மேடைக்குமான உராய்வுவிசை வெளிநோக்கித் தள்ளப்படும் விசையினைச் சமன் செய்யப் போதுமானதல்ல. இதனைத் தவிர்ப்பதற்காக மேடையின் வெளிப்புற விளிம்பு சற்றே மேல்நோக்கி உயர்த்தப்பட்டிருக்கும். இவ் உயர்வு நின்று கொண்டிருக்கும் நபரின் மீது ஒரு செங்குத்து விசையைச் செலுத்தி அவர் வெளியே விழுவதைத் தடுக்கும். இது படம் 3.47 இல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

புவியின் சுழற்சியால் ஏற்படும் மையவிலக்கு விசை

புவியினை ஒரு நிலைமக் குறிப்பாயமாகக் கருதினாலும் உண்மையில் அவ்வாறு இல்லை. புவியின் கோணத் திசைவேகத்தில் தன் அச்சினைப் பொருத்து தன்னைத்தானே சுற்றி வருகிறது. புவியின் சுழற்சி உள்ள ஒரு பொருளும் (சுழற்சிக் குறிப்பாயத்தில் உள்ள பொருள்) மையவிலக்கு விசையை உணரும். இம்மையவிலக்கு விசை சுழல் அச்சிலிருந்து மிகச் சரியாக எதிர் திசையில் செயல்படுவதாகத் தோன்றும். இது படம் 3.48 இல் காட்டப்பட்டுள்ளது

புவியின் சுழற்சியால் நின்று கொண்டிருக்கும் மனிதரின் மையவிலக்கு விசை $F_{cf} = m\omega^2 r$

இங்கு r என்பது சுழல் அச்சிற்கும் மனிதனுக்கும் இடையே உள்ள செங்குத்துத் தொலைவு. படம் 3.48 இல் காட்டப்பட்டுள்ள செங்கோண முக்கோணத்திலிருந்து தொலைவு $r = R \cos \theta$.

இங்கு R என்பது புவியின் ஆரம்.

மேலும் θ என்பது மனிதன் நின்று கொண்டிருக்கும் புள்ளியில் புவியின் குறுக்குக் கோடு (latitude) ஆகும்.

எடுத்துக்காட்டு

சென்னையிலுள்ள 60 kg நிறையுடைய மனிதரின் மீது செயல்படும் மையவிலக்கு விசையைக் காண்க (கொடுக்கப்பட்டவை: சென்னையில் குறுக்குக் கோடு $\theta = 13^\circ$)

தீர்வு

மையவிலக்கு விசை $F_{cf} = m\omega^2 R \cos \theta$

புவியின் கோணத் திசைவேகம் $(\omega) = \frac{2\pi}{T}$

இங்கு T என்பது புவியின் அலைவு நேரம் (24 மணிநேரம்)

$$\omega = \frac{2\pi}{24 \times 60 \times 60} = \frac{2\pi}{86400}$$

$$= 7.268 \times 10^{-5} \text{ rad sec}^{-1}$$

புவியின் ஆரம் $R = 6400 \text{ km} = 6400 \times 10^3 \text{ m}$

சென்னையின் குறுக்கு கோடு (Latitude) $= 13^\circ$

$$F_{cf} = 60 \times (7.268 \times 10^{-5})^2 \times 6400 \times 10^3$$

$$\times \cos(13^\circ) = 1.9678 \text{ N}$$

60 kg நிறையுடைய மனிதரொருவர் உணரும் மையவிலக்குவிசை தோராயமாக 2 நியூட்டனாகும். ஆனால் புவியின் ஈர்ப்பு விசையின் காரணமாக 60 kg நிறையுடைய அம்மனிதர் உணரும் விசை $= mg = 60 \times 9.8 = 588 \text{ N}$. இந்த விசையிலக்கு விசையை விட மிக அதிகம்.

மையநோக்கு விசை மற்றும் மையவிலக்கு விசை – ஓர் ஒப்பீடு:

மையநோக்கு விசை மற்றும் மையவிலக்கு விசை ஆகியவற்றில் சிறப்புக் கூறுகள் அட்டவணை 3.4 இல் ஒப்பிட்டுக் காட்டப்பட்டுள்ளன.

மையநோக்கு விசை மற்றும் மையவிலக்கு விசை இவற்றின் சிறப்புக் கூறுகள்	
மையநோக்குவிசை	மையவிலக்குவிசை
புவியீர்ப்புவிசை, கம்பியன் இழுவிசை, செங்குத்துவிசை போன்ற புளவிசைகளினால் பொருளின் மீது செலுத்தப்படும் உண்மை விசையாகும்	இது போலியான அல்லது பொய்யான விசையாகும். இவ்விசை புவியீர்ப்பு விசை, இழுவிசை, செங்குத்து விசை போன்ற புற விசைகளினால் தோன்றாது.
நிலைம மற்றும் நிலைம மற்ற குறிப்பாயங்கள், இரண்டிலும் இவ்விசை செயல்படும்	நிலைமமற்ற சுழலும் குறிப்பாயங்களில் மட்டுமே இவ்விசை செயல்படும்
சுழல் அச்சினை நோக்கிச் செயல்படும் வட்டப்பாதை இயக்கத்தில் வட்டத்தின் மையத்தை நோக்கி செயல்படும்	சுழல் அச்சிலிருந்து வெளிநோக்கிச் செயல்படும். மேலும் வட்ட இயக்கத்தில் வட்டமையத்திலிருந்து ஆரத்தின் வழியே வெளிநோக்கிச் செயல்படும்
$ F_{cp} = m\omega^2 r = \frac{mv^2}{r}$	$ F_{cf} = m\omega^2 r = \frac{mv^2}{r}$
இது ஒரு உண்மையான விசை. இதன் விளைவுகளும் உண்மையானவை	இது ஒரு போலிவிசை. ஆனால் இதன் விளைவுகள் உண்மையானவை.
இரண்டு பொருட்களுக்கிடையேயான உறவே (interaction) மையநோக்கு விசைக்கு அடிப்படையாக அமைகிறது	ஒரு பொருளின் நிலைமத் தன்மையே (inertial property) மையவிலக்கு விசைக்கு அடிப்படையாக அமைகிறது. இவ்விசை பொருட்களுக்கிடையேயான உறவால் (interaction) தோன்றாது. நிலைமக் குறிப்பாயம் ஒன்றில் இயங்கும் பொருளின் நிலைம இயக்கம் தான், சுழற்சிக் குறிப்பாயத்தில் மையவிலக்கு விசையாகத் தோன்றுகிறது.
நிலைமக் குறிப்பாயத்தில் தனித்தபொருளின் விசைப்படம் வரையும்போது, மையநோக்கு விசையை குறிப்பிட வேண்டும்.	நிலைமக் குறிப்பாயத்தில் மையவிலக்கு விசை இல்லை சுழலும் குறிப்பாயத்தில், மையநோக்கு விசை மற்றும் மையவிலக்குவிசை இரண்டையும் தனித்த பொருளின் விசைப்படத்தில் குறிப்பிட வேண்டும்.

வேலை, ஆற்றல் மற்றும் திறன் (Work, Energy and Power)

அறிமுகம்

அன்றாட வாழ்வில் வேலை என்ற சொல் பலதரப்பட்ட தருணங்களில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இது உடல் சார்ந்த வேலை மற்றும் மனம் சார்ந்த வேலை ஆகிய இரண்டையும் குறிக்கும். உண்மையில் எந்த ஒரு செயல்பாடும் பொதுவாக வேலை என்றே அழைக்கப்படும். ஆனால் இயற்பியலில் வேலை என்ற சொல் துல்லியமான வரையறையைக் கொண்டுள்ள ஒரு இயல் அளவாகக் கருதப்படுகிறது. ஒரு பொருளின் மீது செயல்படுத்தப்பட்ட விசை அதனை இடம்பெயரச் செய்தால் விசையினால் வேலை செய்யப்படுகிறது. வேலை செய்வதற்கான திறன் ஆற்றல் என வரையறுக்கப்படுகிறது. எனவே வேலையும் ஆற்றலும் ஒத்த பரிமாணத்தைப் பெற்றுள்ளன. இயற்பியலில் ஆற்றலானது இயந்திர ஆற்றல், மின் ஆற்றல், வெப்ப ஆற்றல், அணுக்கரு ஆற்றல் போன்ற பல்வேறு வடிவங்களில் உள்ளன. பல இயந்திரங்கள் ஒரு வகையான ஆற்றலை எடுத்துக்கொண்டு வேறு வகையான ஆற்றலை வெளிப்படுத்துகின்றன. இப்பாடப் பகுதியில் முக்கியமாக இயந்திர ஆற்றலின் இரு வகை ஆற்றல்களான இயக்க ஆற்றல் மற்றும் நிலை ஆற்றல் ஆகியவற்றைக் காண்போம். அடுத்து விவாதிக்கப்பட இருப்பது, வேலை செய்யும் வீதம் அல்லது ஆற்றல் வெளியிடப்படும் வீதம் ஆகும். வேலை செய்யப்படும் வீதம் திறன் எனப்படும். கிரிக்கெட் விளையாட்டில் ஒரு சக்திவாய்ந்த அடி என்பது மட்டையால் பந்தை வேகமாக அடிப்பதைக் குறிக்கிறது. இந்தப் பாடப்பகுதியானது வேலை, ஆற்றல் மற்றும் திறன் ஆகிய மூன்று இயல் அளவுகள் மற்றும் அவற்றின் முக்கியத்துவம் குறித்த ஒரு நல்ல புரிதலை வளர்க்கும் நோக்கத்தைக் கொண்டுள்ளது.

வேலை (Work)

ஒரு பொருளின் மீது செயல்படும் \vec{F} என்ற விசை அதனை $d\vec{r}$ என்ற இடம்பெயர்ச்சி ஏற்படுத்தி நகர்த்துவதாகக் கருதுவோம்.

கணிதவியலின்படி, பொருளின் மீது விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை (W) பின்வருமாறு எழுதப்படுகிறது.

$$W = \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை

இங்கு $\vec{F} \cdot d\vec{r}$ இன் பெருக்கல்பலன் ஒரு ஸ்கேலர் பெருக்கல் அல்லது புள்ளிப் பெருக்கல் ஆகும். இரு வெக்டர்களின் ஸ்கேலர் பெருக்கல் பலன் ஒரு ஸ்கேலர் மதிப்பாகும். (பகுதி 2.5.1 ஐக் காண்க). எனவே செய்யப்பட்ட வேலை ஒரு ஸ்கேலர் அளவாகும். இது எண்மதிப்பை மட்டும் பெற்றுள்ளது மற்றும் திசையற்றது. SI அலகு முறையில் செய்யப்பட்ட வேலையின் அலகு N m அல்லது ஜீல் (J) ஆகும். அதன் பரிமாண வாய்ப்பாடு $[ML^2T^{-2}]$ ஆகும்.

$$W = F dr \cos \theta$$

($\vec{a} \cdot \vec{b} = ab \cos \theta$ என்பதால்). இங்கு θ என்பது பொருளின் மீது செயல்படுத்தப்பட்ட விசைக்கும் அந்தப்பொருளின் இடம்பெயர்ச்சிக்கும் இடையே உள்ள கோணமாகும்.

விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை என்பது விசை (\vec{F}) இடம்பெயர்ச்சி ($d\vec{r}$) மற்றும் அவற்றிற்கிடையே உள்ள கோணம் θ ஆகியவற்றை சார்ந்தது.

கீழ்க்கண்ட நேர்வுகளில் செய்யப்பட்ட வேலை சுழியாகும்.

(i) விசை சுழியாகும் போது ($F = 0$)

உதாரணமாக, உராய்வற்ற ஒரு கிடைத்தளப் பரப்பில் மாறா திசைவேகத்தில் நகரும் (உராய்வு இல்லாததால்) ஒருபொருள் தொடர்ந்து இயங்கிக் கொண்டே இருக்கும். (இது ஒரு இலட்சிய (ideal) சூழ்நிலை)

(ii) இடப்பெயர்ச்சி சுழியாகும் போது ($dr = 0$)

உதாரணமாக, திடமாக உள்ள ஒரு சுவரின் மீது விசை செலுத்தப்பட்டால் விசையானது எந்த இடப்பெயர்ச்சியையும் ஏற்படுத்தாது.

(iii) விசையும் இடப்பெயர்ச்சியும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக உள்ளபோது ($\theta = 90^\circ$).

ஒரு பொருளானது கிடைத்தளத் திசையில் நகரும்போது புவியீர்ப்புவிசை (mg) பொருளின் மீது வேலை ஏதும் செய்யாது, ஏனெனில் அது இடப்பெயர்ச்சிக்கு செங்குத்தாக செயல்படுகிறது.

வட்ட இயக்கத்தில் உள்ள பொருளின்மீது செயல்படும் மையநோக்கு விசையானது வேலை ஏதும் செய்யாது. ஏனெனில் அது எப்போதும் இடப்பெயர்ச்சிக்கு செங்குத்தாக உள்ளது.

கொடுக்கப்பட்ட விசை (F) மற்றும் இடப்பெயர்ச்சி (dr) க்கு தொகுத்துள்ளவாறு அவற்றிற்கிடையே உள்ள கோணம் θ ஆனது செய்யப்பட்ட வேலையின் மதிப்பை முடிவு செய்கிறது.

விசையினால் செய்யப்படும் எதிர்க்குறி வேலைக்கு பல உதாரணங்கள் உள்ளன. கால்பந்து விளையாட்டில், வீரர் (Goal keeper) அவரை நோக்கி வரும் பந்தை ஒரு விசையைச் செலுத்திப் பிடிக்கிறார். அவ்விசையானது பந்தின் இயக்கத்திற்கு எதிர்திசையில் பந்து அவரது கைகளில் ஓய்வநிலைக்கு வரும் வரை செலுத்தப்படுகிறது. விசையைச் செலுத்தும் நேரத்தில் அவர் பந்தின்மீது எதிர்வேலை செய்கிறார். இந்தப் பாடப்பகுதியில் மேலும் பல எதிர்வேலைக்கான சூழ்நிலைகள் பற்றி கற்ப்போம்.

எடுத்துக்காட்டு

ஒரு பெட்டி 25 N விசையினால் 15 m இடப்பெயர்ச்சி ஏற்படுமாறு இழுக்கப்படுகிறது. விசைக்கும் இடப்பெயர்ச்சிக்கும் இடையே உள்ள கோணம் 30° எனில் விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலையைக் காண்க.

தீர்வு

விசை $F = 25 \text{ N}$

இடப்பெயர்ச்சி $dr = 15 \text{ m}$

F மற்றும் dr இடையே உள்ள கோணம் $\theta = 30^\circ$ செய்யப்பட்ட வேலை $W = F dr \cos \theta$

$$W = 25 \times 15 \times \cos 30^\circ = 25 \times 15 \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$W = 324.76 \text{ J}$$

கோணம் (θ) மற்றும் வேலையின்மை தன்மை		
கோணம் (θ)	$\cos \theta$	வேலை
$\theta = 0^\circ$	1	நேர்க்குறி, பெருமம்
$0 < \theta < 90^\circ$ (குறுங்கோணம்)	$0 < \cos \theta < 1$	நேர்க்குறி
$\theta = 90^\circ$ (செங்கோணம்)	0	சுழி
$90^\circ < \theta < 180^\circ$	$-1 < \cos \theta < 0$	எதிர்க்குறி

$\theta = 180^\circ$	-1	எதிர்க்குறி, பெருமம்
----------------------	----	----------------------

மாறா விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை

ஒரு பொருளின் மீது F என்ற மாறா விசை செயல்படும்போது, விசையினால் dr என்ற சிறு இடப்பெயர்ச்சியை ஏற்படுத்தச் செய்யப்பட்ட சிறு வேலை dW க்கான தொடர்பு

$$dW = (F \cos \theta) dr$$

தொடக்க நிலை r_i முதல் இறுதி நிலை r_f வரை இடப்பெயர்ச்சி ஏற்படுத்த செய்யப்படும் மொத்த வேலை,

$$W = \int_{r_i}^{r_f} dW$$

$$W = \int_{r_i}^{r_f} (F \cos \theta) dr = (F \cos \theta) \int_{r_i}^{r_f} dr$$

$$= (F \cos \theta)(r_f - r_i)$$

கீழ் உள்ள பரப்பு மாறாத விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலையைக் குறிக்கிறது.

மாறாத விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை

எடுத்துக்காட்டு

நிறையுள்ள ஒரு பொருள் 5 அ உயரத்தில் இருந்து தரையில் விழுகிறது. புவியீர்ப்பு விசையினால் பொருளின் மீது செய்யப்பட்ட வேலை என்ன? (காற்றின் தடையைப் புறக்கணிக்கவும். புவியீர்ப்பு முடுக்கம் $g = 10 \text{ m s}^{-2}$ எனக் கொள்க).

தீர்வு

இந்நேரவில் பொருளின் மீது செயல்படும் விசை கீழ் நோக்கிய புவியீர்ப்பு விசை $m\vec{g}$ ஆகும். இது மாறா விசையாகும்.

புவியீர்ப்பு விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை

$$W = \int_{r_i}^{r_f} \vec{F} d\vec{r}$$

$$W = (\cos \theta) \int_{r_i}^{r_f} d\vec{r} = (mg \cdot \cos \theta)(r_f - r_i)$$

மேலும் பொருளானது படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு கீழ்நோக்கிய புவியீர்ப்பு விசையின் $\vec{F} = m\vec{g}$ திசையில் நகருகிறது. எனவே, அவற்றிற்கிடையே உள்ள கோணம் $\theta = 0^\circ$, $\cos 0^\circ = 1$ மற்றும் இடப்பெயர்ச்சி $(r_f - r_i) = 5 \text{ m}$

$$W = mg(r_f - r_1)$$

$$W = 2 \times \phi \times 5 = \phi$$

எனவே பொருளின் மீது செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை நேர்க்குறி மதிப்பைப் பெறுகிறது.

எடுத்துக்காட்டு

படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு நிறை $m = 1\text{kg}$ கொண்ட ஒரு பொருள் $\theta = 30^\circ$ சாய்வுக்கோணம் கொண்ட 10m நீளமுள்ள உராய்வற்ற தளத்தில் மேலிருந்து கீழ்நோக்கிச் சறுக்குகிறது. புவியீர்ப்பு விசை மற்றும் செங்குத்து விசையினால் பொருளின் மீது செய்யப்பட்ட வேலையைக் கணக்கிடுக. புவியீர்ப்பு முடுக்கம் (g) = 10ms^{-2} எனக் கருதுக.

தீர்வு:

சாய்வுத்தளத்தில் பொருள் அடையும் முடுக்கம் $g \sin \theta$ என முந்தைய பாடப்பகுதியில் கணக்கிட்டுள்ளோம்.

நியூட்டனின் இரண்டாம் விதிப்படி, சாய்வுத்தளத்தில் பொருளின்மீது செயல்படும் விசை $F = mg \sin \theta$. இந்த விசையானது பொருளின் இயக்கம் முழுவதும் மாறாது என்பதை அறியவும்.

புவியீர்ப்பு விசையின் சாய்வுத்தளத்தின் கிடைத்தளக் கூறினால் ($mg \sin \theta$) செய்யப்பட்ட வேலை

$$W = \vec{F} \cdot \vec{dr} = F dr \cos \phi$$

இங்கு ϕ என்பது விசை ($mg \sin \theta$) மற்றும் பொருள் செல்லும் திசைக்கும் (dr) இடையே உள்ள கோணமாகும். இந்நேர்வில், விசை ($mg \sin \theta$) மற்றும் இடப்பெயர்ச்சி \vec{dr} ஆகியவை ஒரே திசையில் உள்ளன. எனவே $\phi = 0^\circ$ மற்றும் $\cos \phi = 1$

$$W = F dr = (mg \sin \theta) (dr)$$

(dr = சாய்தளத்தின் நீளம்)

$$W = 1 \times 10 \times \sin(30^\circ) \times 10 = 100 \times \frac{1}{2} = 50J$$

$mg \cos \theta$ என்ற கூறு மற்றும் செங்குத்து விசை N ஆகியவை பொருள் செல்லும் திசைக்குச் செங்குத்தாக உள்ளதால் அவை எந்த வேலையும் செய்யாது.

எடுத்துக்காட்டு

மேல்நோக்கி எறியப்பட்ட 2kg நிறையுள்ள ஒரு பொருள் 5m உயரத்தை அடைந்து பின்னர் தரையில் வந்து விழுகிறது (காற்றுத்தடையைப் புறக்கணிக்கவும்) எனில் பின்வருவனவற்றை கணக்கிடுக.

(a) பொருள் 5m உயரத்தை அடையும்போது புவியீர்ப்பு விசையால் செய்யப்பட்ட வேலை

- (b) பொருள் மீண்டும் தரையை அடையும்போது புவியீர்ப்பு விசையால் செய்யப்பட்ட வேலை
- (c) புவியீர்ப்பு விசையினால் மேல்நோக்கிய மற்றும் கீழ்நோக்கிய இயக்கத்தில் செய்யப்பட்ட மொத்தவேலை மற்றும் முடிவின் இயற்பியல் முக்கியத்துவத்தைக் குறிப்பிடுக.

தீர்வு

பொருள் மேல்நோக்கிச் செல்லும்போது இடப்பெயர்ச்சி மேல்நோக்கிய திசையிலும் பொருளின் மீது செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை கீழ்நோக்கிய திசையிலும் செயல்படுகின்றன. எனவே இடப்பெயர்ச்சிக்கும் புவியீர்ப்பு விசைக்கும் இடையே உள்ள கோணம் 180° ஆகும்.

- (a) மேல் நோக்கிய இயக்கத்தில் புவியீர்ப்பு விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை இங்கு $dr = 5 \text{ m}$ மற்றும் $F = mg$

$$W_{\text{மேல்}} = Fdr \cos \theta = mgdr \cos 180^\circ$$

$$W_{\text{மேல்}} = 2 \times 10 \times 5 \times (-1) = -100 \text{ joule.}$$

$$[\cos 180^\circ = -1]$$

- (b) பொருள் கீழ்நோக்கி விழும்போது புவியீர்ப்பு விசை மற்றும் இடப்பெயர்ச்சி இரண்டும் ஒரே திசையில் உள்ளன. இதன் மூலம் புவியீர்ப்பு விசைக்கும் இடப்பெயர்ச்சிக்கும் இடையே உள்ள கோணம் $\theta = 0^\circ$ என அறியலாம்.

$$W_{\text{கீழ்}} = Fdr \cos 0^\circ$$

$$W_{\text{கீழ்}} = 2 \times 10 \times 5 \times (1) = 100 \text{ joule}$$

$$[\cos 0^\circ = 1]$$

- (c) பொருளின் முழு பயணத்தின் போது (மேல்நோக்கிய மற்றும் கீழ் நோக்கிய இயக்கம்) புவியீர்ப்பு விசையினால் செய்யப்பட்ட மொத்த வேலை

$$W_{\text{மொத்தம்}} = W_{\text{மேல்}} + W_{\text{கீழ்}} \\ = -100\text{J} + 100\text{J} = 0$$

புவியீர்ப்பு விசையானது பொருளிற்கு எவ்வித ஆற்றலையும் மாற்றவில்லை என்பதை இது குறிக்கிறது. பொருள் மேல்நோக்கி எறியப்படும்போது புறக்காரணிகளால் பொருளுக்கு ஆற்றல் அளிக்கப்படுகிறது. பொருள் திரும்ப வந்து தரையில் மோதும்போது பொருள் பெற்ற ஆற்றலானது புவிப்பரப்பிற்கு மாற்றப்படுகிறது (தரையினுள் செல்கிறது)

எடுத்துக்காட்டு:

- (a) ஒரு பளு தூக்குபவர் 250 kg நிறையை 5000 N விசையால் 5 m உயரத்திற்கு தூக்குகிறார்.

- (a) பளுதூக்குபவரால் செய்யப்பட்ட வேலை என்ன?
 (b) புவியீர்ப்பு விசையால் செய்யப்பட்ட வேலை என்ன?
 (c) பொருளின் மீது செய்யப்பட்ட நிகர வேலை என்ன?

தீர்வு:

- a. பளுதூக்குபவர் நிறையைத் தூக்கும்போது விசையும் இடப்பெயர்ச்சியும் ஒரே திசையில் உள்ளதால் அவற்றிற்கிடையே உள்ள கோணம் $\theta = 0^\circ$ எனவே பளுதூக்குபவரால் செய்யப்பட்ட வேலை.

$$W_{\text{ப.தூ}} = Fwh \cos \theta = F_w h (\cos 0^\circ)$$

$$= 5000 \times 5 \times (1) = 25000 \text{ J} = 25 \text{ kJ}$$

(b) பளுதூக்குபவர் நிறையைத் தூக்கும்போது புவிமீர்ப்புவிசை கீழ்நோக்கி செயல்படுவதால் விசையும் இடப்பெயர்ச்சியும் எதிரெதிர் திசையில் உள்ளன. எனவே அவற்றிற்கிடையே உள்ள கோணம் $\theta = 180^\circ$

$$\begin{aligned} W_{\#} &= F_g h \cos \theta = mgh (\cos 180^\circ) \\ &= 250 \times 10 \times 5 (-1) \\ &= -12500 \text{ J} = -12.5 \text{ kJ} \end{aligned}$$

(c) பொருளின் மீது செய்யப்பட்ட நிகர வேலை (மொத்த வேலை)

$$\begin{aligned} W_{\text{நிகரம்}} &= W_{\text{ப.தூ.}} + W_{\#} \\ &= 25 \text{ kJ} - 12.5 \text{ kJ} = +12.5 \text{ kJ} \end{aligned}$$

மாறுபடும் விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை

மாறுபடும் விசை (F) ஒன்றின் கூறு ஒரு பொருளின் மீது செயல்படும் போது dr என்ற சிறு இடப்பெயர்ச்சியை ஏற்படுத்த விசையினால் செய்யப்பட்ட சிறு வேலை (dw) க்கான தொடர்பு

$$dW = (F \cos \theta) dr$$

(F cos θ என்பது F என்ற மாறும் விசையின் கூறு ஆகும்)

இங்கு, F மற்றும் θ ஆகியவை மாறிகள் ஆகும். தொடக்க நிலை r_i முதல் இறுதிநிலை r_f வரை இடப்பெயர்ச்சி ஏற்படுத்த செய்யப்பட்ட மொத்த வேலை

$$W = \int_{r_i}^{r_f} dW = \int_{r_i}^{r_f} F \cos \theta dr$$

மாறுபடும் விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை வரைபடம் மூலம் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. வரைபடத்தின் கீழ் உள்ள பரப்பு மாறும் விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலையைக் குறிக்கிறது.

எடுத்துக்காட்டு:

தொடக்கத்தில் ஓய்வில் உள்ள ஒரு பொருளின் மீது $F = kx^2$ என்ற மாறும் விசை செயல்படுகிறது. பொருளானது $x = 0 \text{ m}$ முதல் $x = 4 \text{ m}$ வரை இடப்பெயர்ச்சி அடைய விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலையைக் கணக்கிடுக. (மாறிலி $k = 1 \text{ N m}^{-2}$ எனக்கருதுக)

தீர்வு:

செய்யப்பட்ட வேலை

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F(x) dx = k \int_0^4 x^2 dx = \frac{64}{3} \text{ Nm}$$

ஆற்றல் (ENERGY):

ஆற்றல் என்பது வேலை செய்யும் திறமையே ஆகும். அதாவது, செய்யப்பட்ட வேலை என்பது ஆற்றலின் செயல்பாடே ஆகும். அதனால் தான் வேலை மற்றும் ஆற்றல் இரண்டும் ஒரே பரிமாணத்தைக் கொண்டுள்ளன (ML^2T^{-2}).

வேலை \Leftrightarrow ஆற்றல்

ஆற்றலின் முக்கியமான அம்சம் யாதெனில் ஒரு தனித்த அமைப்பிற்கு அனைத்து வகை ஆற்றல்களின் கூடுதல், அதாவது மொத்த ஆற்றல் எந்தச் செயல்பாட்டிலும் எவ்வகையான அகமாற்றங்கள் ஏற்பட்டாலும் மாறாமல் இருக்கும். இதன் பொருளானது ஒரு வடிவில் மறையும் ஆற்றல் மற்றொரு வடிவில் வெளிப்படும். இதுவே ஆற்றல் மாறா விதி எனப்படும். இப்பாடப்பகுதியில் நாம் இயந்திர ஆற்றல் பற்றி மட்டும் கற்போம்.

இந்திர ஆற்றல் இரு வகைப்படும்.

1. இயக்க ஆற்றல்
2. நிலை ஆற்றல்

ஒரு பொருள் தனது இயக்கத்தினால் கொண்டுள்ள ஆற்றல் இயக்க ஆற்றல் எனப்படும். ஒரு பொருள் தனது நிலைப்பாட்டினால் கொண்டுள்ள ஆற்றல் நிலை ஆற்றல் ஆகும்.

ஆற்றலின் SI அலகானது செய்யப்பட்ட வேலையின் அலகே ஆகும். அதாவது N m (அல்லது) ஜீல் (து). ஆற்றலின் பரிமாணம், செய்யப்பட்ட வேலையின் பரிமாணமே ஆகும். அதன் பரிமாணம் (ML²T⁻²) ஆகும். ஆற்றலின் வேறு அலகுகள் மற்றும் அவற்றின் SI மதிப்புகள் அட்டவணை இல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன.

ஆற்றலின் மற்ற அலகுகளுக்குச் சமமான SI மதிப்புகள்:

அலகு	இணையான ஜூல் மதிப்புகள்
1 ஏர்க் (CGS அலகு)	10 ⁻⁷ J
1 எலக்ட்ரான் வோல்ட் (eV)	1.6 × 10 ⁻¹⁹ J
1 கலோரி (cal)	4.186 J
1 கிலோவாட் மணி (kWh)	3.6 × 10 ⁶ J

இயக்க ஆற்றல் (Kinetic Energy):

இயக்க ஆற்றல் என்பது ஒரு பொருள் அதன் இயக்கத்தால் பெற்றுள்ள ஆற்றலாகும். அனைத்து இயங்கும் பொருட்களும் இயக்க ஆற்றலைக் கொண்டுள்ளன. இயக்கத்தில் உள்ள ஒரு பொருள் வேலை செய்வதற்கான திறமையைப் பெற்றிருக்கும். உதாரணமாக, ஒரு ஆணியின் மீது ஓய்வு நிலையில் வைக்கப்பட்ட ஒரு சுத்தியல் ஆணியை மரத்தினுள் செலுத்தாது. அதேசமயம் படம் காட்டியவாறு அந்த சுத்தியலால் ஆணியை அடிக்கும் போது அது ஆணியை மரத்தினுள் செலுத்துகிறது. ஒரு பொருள் இயங்கும்போது, இயக்கத்திற்காக செய்யப்படும் வேலையின் அளவாக இயக்க ஆற்றல் அளவிடப்படுகிறது. இயங்கும் பொருளின் இயக்கத்திற்காக செய்யப்பட்ட வேலையின் அளவு பொருளின் நிறை மற்றும் திசைவேகத்தின் எண் மதிப்பு ஆகியவற்றைச் சார்ந்தது. இயக்கத்தில் இல்லாத ஒரு பொருள் இயக்க ஆற்றலைக் கொண்டிருக்காது.

வேலை - இயக்க ஆற்றல் தேற்றம்:

வேலையும் ஆற்றலும் சமமானவை. இது இயக்க ஆற்றலுக்கும் பொருந்தும். இதனை நிரூபிக்க m நிறையுள்ள ஒரு பொருள் உராய்வற்ற கிடத்தளப் பரப்பில் ஓய்வில் இருப்பதாகக் கருதுவோம்.

(F) என்ற மாறா விசையினால் அதே திசையில் (s) என்ற இடப்பெயர்ச்சியை ஏற்படுத்த செய்யப்பட வேலை

$$W = Fs$$

மாறாத விசைக்கான சமன்பாடு,

$$F = ma$$

மூன்றாவது இயக்கச் சமன்பாட்டை இவ்வாறு எழுதலாம்.

$$v^2 = u^2 + 2as$$

$$a = \frac{v^2 - u^2}{2s}$$

a இன் மதிப்பை சமன்பாடு இல் பிரதியிட

$$F = m \left(\frac{v^2 - u^2}{2s} \right)$$

சமன்பாடு, பிரதியிட

$$W = m \left(\frac{v^2}{2s} s \right) \left(\frac{u^2}{2s} s \right)$$

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2$$

இயக்க ஆற்றலுக்கான கோவை:

மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் $\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$ என்பது (v) திசைவேகத்தில் இயங்கும் (m) நிறையுள்ள பொருளின் இயக்க ஆற்றலைக் குறிக்கும்.

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

பொருளின் இயக்க ஆற்றல் எப்பொழுதும் நேர்குறி மதிப்புடையதாகும். சமன்பாடு மற்றும் இல் இருந்து

$$\Delta KE = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2$$

$$\text{எனவே } W = \Delta KE$$

சமன்பாடு இல் வலது பக்கத்தில் உள்ள கோவை பொருளின் இயக்க ஆற்றல் மாறுபாடு (ΔKE) ஆகும்.

பொருளின் மீது விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை பொருளின் இயக்க ஆற்றலை மாற்றுகிறது என்பதை இது குறிக்கிறது. இதுவே வேலை - இயக்க ஆற்றல் தேற்றம் எனப்படும்.

வேலை - இயக்க ஆற்றல் தேற்றமானது கீழ்காண்பவற்றை உணர்த்துகிறது.

1. பொருளின் மீது விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை நேர்க்குறியாக இருந்தால் அதன் இயக்க ஆற்றல் அதிகரிக்கிறது.
2. பொருளின் மீது விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை எதிர்க்குறியாக இருந்தால் அதன் இயக்க ஆற்றல் குறைகிறது.
3. பொருளின் மீது விசையினால் வேலை ஏதும் செய்யப்படவில்லை எனில் அதன் இயக்க ஆற்றல் மாறாது. இது, பொருளின் நிறை மாறாத போது விசையினால் பொருளானது மாறா வேகத்தில் இயங்கியது என்பதை குறிக்கிறது.

உந்தம் மற்றும் இயக்க ஆற்றல் இடையே உள்ள தொடர்பு:

m நிறையுள்ள ஒரு பொருள் \vec{v} என்ற திசைவேகத்தில் இயங்குவதாகக் கருதுவோம். அதன் நேர்கோட்டு உந்தம் $\vec{p} = m\vec{v}$ மற்றும் அதன் இயக்க ஆற்றல்,

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

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(\vec{v} \cdot \vec{v})$$

சமன்பாடு இன் பகுதி மற்றும் தொகுதியை நிறை m ஆல் பெருக்க

$$KE = \frac{1}{2} \frac{m^2 (\vec{v} \cdot \vec{v})}{m}$$

$$= \frac{1}{2} \frac{(m\vec{v}) \cdot (m\vec{v})}{m} [p = m\vec{v}]$$

$$= \frac{1}{2} \frac{\vec{p} \cdot \vec{p}}{m}$$

$$= \frac{p^2}{2m}$$

$$KE = \frac{p^2}{2m}$$

இங்கு $|\vec{p}|$ என்பது உந்தத்தின் எண் மதிப்பாகும். நேர்கோட்டு உந்தத்தின் எண் மதிப்பை இவ்வாறு பெறலாம்.

$$|\vec{p}| = p = \sqrt{2m(KE)}$$

இயக்க ஆற்றல் மற்றும் நிறை கொடுக்கப்பட்டால் உந்தத்தின் எண் மதிப்பை மட்டுமே கணக்கிட இயலும். ஆனால் உந்தத்தின் திசையைக் கணக்கிட இயலாது என்பதை அறியவும். எனென்றால் இயக்க ஆற்றல் மற்றும் நிறை ஆகியவை ஸ்கேலர் அளவுகளாகும்.

எடுத்துக்காட்டு

2 kg மற்றும் 4 kg நிறை கொண்ட இரு பொருள்கள் 20 kg m s^{-1} என்ற சம உந்தத்துடன் இயங்குகின்றன.

(a) அவை சம இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றிருக்குமா?

(b) அவை சம வேகத்தைப் பெற்றிருக்குமா?

தீர்வு:

(a) பொருளின் இயக்க ஆற்றல்

$$KE = \frac{p^2}{2m}$$

2 kg நிறையுள்ள பொருளின் இயக்க ஆற்றல்

$$KE_1 = \frac{(20)^2}{2 \times 2} = \frac{400}{4} = 100J$$

4 kg நிறையுள்ள பொருளின் இயக்க ஆற்றல்

$$KE_2 = \frac{(20)^2}{2 \times 4} = \frac{400}{8} = 50J$$

$KE_1 \neq KE_2$ என அறியவும். அதாவது இருபொருட்களும் சம உந்தத்தைப் பெற்றிருந்தாலும் அவற்றின் இயக்க ஆற்றல் சமமல்ல. கனமான பொருள் இலேசான பொருளை விட குறைவான இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளது. ஏனென்றால் கொடுக்கப்பட்ட உந்தத்திற்கு இயக்க ஆற்றலானது நிறைக்கு எதிர் விகிதத்தில் உள்ளது.

$$(KE \propto \frac{1}{m})$$

(b) உந்தம் $p = mv$ என்பதால் இரு பொருட்களும் சம வேகத்தைப் பெற்றிருக்காது.

நிலை ஆற்றல் (Potential Energy):

ஒரு பொருளின் நிலை ஆற்றல் என்பது சுற்றுப்புறத்தைப் பொறுத்து அதன் நிலை மற்றும் அமைப்பைச் சார்ந்தது. ஏனென்றால் பொருளின் மீது செயல்படும் பல்வேறு விசைகளும் அதன் நிலை மற்றும் அமைப்பைச் சார்ந்ததே.

(P என்ற புள்ளியில் உள்ள ஒரு பொருளின் நிலை ஆற்றல் என்பது அப்பொருளை ஒரு தொடக்க நிலைப் புள்ளி O (தொடக்க நிலை) முதல் புள்ளி P (இறுதிநிலை) வரை மாறா திசைவேகத்தில் நகர்த்த பூர்வீசையால் செய்யப்பட்ட வேலையின் அளவு என வரையறுக்கப்படுகிறது). O என்ற தொடக்கப் புள்ளியில் நிலை ஆற்றல் சுழி என எடுத்துக் கொள்ளலாம்.

கணிதவியலின் படி, நிலை ஆற்றல்

$$U = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

இங்கு தொகையீட்டின் எல்லை (limit) தொடக்க நிலைப்புள்ளி O முதல் இறுதி நிலைப்புள்ளி P வரை அமையும்.

நிலை ஆற்றல் பல வகைப்படும். ஒவ்வொரு வகையும் ஒரு குறிப்பிட்ட விசையுடன் தொடர்புடையது. உதாரணமாக,

1. புவியீர்ப்பு விசையினால் பொருள் பெற்றுள்ள ஆற்றலானது ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றல் ஆகும்.

2. சுருள்வில் விசை மற்றும் இது போன்ற இணையான விசைகளினால் பெறப்படும் ஆற்றலானது மீட்சியழுத்த ஆற்றல் ஆகும்.

3. நிலை மின்னியல் விசையால் பெறப்படும் ஆற்றல் மின்னழுத்த ஆற்றல் ஆகும். ஆற்றல் மாற்றா விசைகளைப் பற்றி பாடப்பகுதி மேலும் விரிவாகக் காணலாம். தற்போது நாம் ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றல் மற்றும் மீட்சியழுத்த ஆற்றல் பற்றி விரிவாக விவாதிக்கலாம்.

புவிப்பரப்பிற்கு அருகில் நிலை ஆற்றல்:

புவியிலிருந்து h உயரத்தில் ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றல் (U) என்பது பொருளை தரையிலிருந்து h உயரத்திற்கு மாறா திசைவேகத்தில் கொண்டு செல்லத் தேவையான வேலையின் அளவுக்குச் சமமாகும்.

(m) நிறையுள்ள ஒரு பொருள் தரையிலிருந்து h உயரத்திற்கு புவியீர்ப்பு விசைக்கு எதிராக நகர்த்தப்படுவதாகக் கருதுவோம்.

பொருளின் மீது செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை (\vec{F}_g) ஆனது $\vec{F}_g = -mg \hat{j}$ (விசையானது y திசையில் உள்ளதால் அலகு வெக்டர் \hat{j} இங்கு பயன்படுத்தப்படுகிறது). இங்கு எதிர்குறியானது விசை செங்குத்தாக கீழ்நோக்கி செயல்படுவதைக் குறிக்கிறது. பொருளை முடுக்கம் இன்றி (மாறா திசைவேகத்துடன்) நகர்த்த, புவியீர்ப்பு விசை (\vec{F}_g) க்கு சமமான எண் மதிப்பையும் எதிர்திசையையும் கொண்ட \vec{F}_a என்ற புறவிசை ஒன்று பொருளின் மீது செயல்படுத்தப்பட வேண்டும். அதாவது ($\vec{F}_a = -\vec{F}_g$) இது $\vec{F}_a = +mg \hat{j}$ என்பதைக் குறிக்கிறது. நேர்க்குறியானது செயல்படுத்தப்பட்ட விசை மேல்நோக்கி செங்குத்தாக உள்ளது என்பதைக் குறிக்கிறது. எனவே பொருள் மேல்நோக்கி உயர்த்தப்படும் போது அதன் திசைவேகம் மாறாமல் இருக்கும். அதனால் அதன் இயக்க ஆற்றலும் மாறாது. 'h' உயரத்தில் ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றல் (U) என்பது பொருளை தரையிலிருந்து (h) உயரத்திற்கு கொண்டு செல்ல தேவையான வேலையின் அளவாகும்.

$$U = \int \vec{F}_a \cdot d\vec{r} = \int_0^h |\vec{F}_a| |d\vec{r}| \cos \theta$$

இடப்பெயர்ச்சியும் செயல்படுத்தப்பட்ட விசையும் அதே மேல்நோக்கிய திசையில் உள்ளதால் அவற்றிற்கிடையே உள்ள கோணம், $\theta = 0^\circ$. எனவே $\cos 0^\circ = 1$ மற்றும் $|\vec{F}_a| = mg, |d\vec{r}| = dr$

$$U = mg \int_0^h dr$$

$$U = mg [r]_0^h = mgh$$

பொருளில் சேமிக்கப்பட்டுள்ள நிலையாற்றலானது புறவிசையினால் செய்யப்பட்ட நேர்குறி மதிப்புள்ள வேலையின் மூலம் வரையறுக்கப்படுகிறது என்பதை அறியவும். இயல்பாக இது குறிப்பது யாதெனில் புறவிசையைச் செயல்படுத்தும் அமைப்பு பொருளுக்கு ஆற்றலை மாற்றுகிறது மற்றும் அது நிலையாற்றலாகச் சேமிக்கப்படுகிறது. பொருளானது h உயரத்திலிருந்து வீழ்ந்தால் சேமிக்கப்பட்டுள்ள நிலையாற்றல் இயக்க ஆற்றலாக மாற்றப்படுகிறது.

ஒரு பொருளின் மீது புறவிசை செயல்படும் போது அப்பொருள் எவ்வாறு சுழி முடுக்கத்துடன் (மாறா திசைவேகத்தில்) இயங்கும்? செயல்படுத்தப்படும் புறவிசைக்கு சரியாக எதிர்திசையில் மற்றொரு விசை செயல்பட்டால் இது சாத்தியமே. அவை இரண்டும் சமமான எண்மதிப்பைக் கொண்டு, ஒன்றுக்கொன்று எதிர் திசையில் செயல்படுவதால், பொருளின் மீது செயல்படும் நிகரவிசை சுழியாகும். எனவே பொருளானது சுழி முடுக்கத்துடன் இயங்கும். நாம் நிலையாற்றலை வரையறை செய்யும்போது பொருளானது ஏன் மாறா திசைவேகத்தில் நகர்த்தப்பட வேண்டும்? பொருளானது மாறா திசைவேகத்தில் நகரவில்லை என்றால் அது தொடக்க மற்றும் இறுதி நிலைகளில் மாறுபட்ட திசைவேகங்களைக் கொண்டிருக்கும். வேலை

- இயக்க ஆற்றல் தேற்றப்படி புறவிசையானது கூடுதலாக இயக்க ஆற்றலைச் செலுத்தும். ஆனால் நாம் நிலையாற்றலை புவியீர்ப்பு விசை, சுருள்வில் விசை மற்றும் கூலும் விசை போன்ற விசைகளுக்கு வரையறுத்துள்ளோம். எனவே பொருளை தொடக்க நிலை முதல் இறுதிநிலை வரை நகர்த்தும்போது புற அமைப்பு (புற விசை) எந்த இயக்க ஆற்றலையும் செலுத்தக்கூடாது.

எடுத்துக்காட்டு:

2 kg நிறையுள்ள பொருள் தரையிலிருந்து 5 m உயரத்திற்குக் கொண்டு செல்லப்படுகிறது ($g = 10 \text{ ms}^{-2}$) எனில்

- பொருளினுள் சேமிக்கப்பட்டுள்ள நிலையாற்றல் யாது?
- இந்த நிலையாற்றல் எங்கிருந்து கிடைத்தது?
- பொருளை அந்த உயரத்திற்கு எடுத்துச் செல்ல எவ்வளவு புறவிசை செயல்பட வேண்டும்?
- பொருளானது 'h' உயரத்திற்கு எடுத்துச் செல்லப்படும் போது அதன் மீது செயல்படும் நிகர விசை யாது?

தீர்வு:

a. நிலையாற்றல் $U = m g h = 2 \times 10 \times 5 = 100 \text{ J}$ இங்கு நேர்க்குறியானது பொருளினுள் ஆற்றல் சேமிக்கப்பட்டுள்ளதைக் குறிக்கிறது.

b. இந்த நிலையாற்றலானது, புற விசையை செயல்படுத்தும் வெளிப்புற அமைப்பிலிருந்து பொருளுக்கு மாற்றப்பட்டுள்ளது.

c. பொருளை 5 m உயரத்திற்கு எடுத்துச் செல்ல செயல்படுத்தப்பட்ட புற விசை ஆனது (\vec{F}_a) ஆனது $\vec{F}_a = -\vec{F}_g$

$$\vec{F}_a = -(-mg \hat{j}) = mg \hat{j}$$

\vec{F}_a ஆனது செங்குத்தாக மேல்நோக்கித் திசையில் செயல்படும் ஓரலகு வெக்டர் ஆகும்.

d) நிலையாற்றலின் வரையறையில் இருந்து, பொருளானது மாறாத திசைவேகத்தில் நகர்த்தப்பட வேண்டும். எனவே, பொருளின் மீது செயல்படும் நிகர விசை சுழி ஆகும்.

$$\vec{F}_g + \vec{F}_a = 0$$

மீட்சி நிலை ஆற்றல் (Elastic Potential Energy):

ஒரு சுருள்வில் நீட்சியடையச் செய்யப்பட்டால் அதனுள் ஒரு மீள்விசை உருவாகிறது. சுருள்வில்லை நீட்சிக்கக்கூடிய அல்லது அழுக்கக்கூடிய விசையினால் சுருள்வில் பெற்றுள்ள நிலை ஆற்றல் மீட்சி நிலை ஆற்றல் எனப்படும். மீள் விசைக்கு எதிராகச் செயல்படுத்தப்பட்ட விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை சுருள்வில்லில் மீட்சி நிலை ஆற்றலாகச் சேமிக்கப்படுகிறது.

ஒரு சுருள்வில் - நிறை அமைப்பைக் கருதுக. காட்டியவாறு உராய்வற்ற கிடைத்தள மேசையில் m என்ற நிறை வைக்கப்பட்டுள்ளதாக கருதுவோம்.

இங்கு $x = 0$ என்பது சமநிலைப் புள்ளி ஆகும். சுருள்வில்லின் ஒரு முனை ஒரு திடமான சுவரிலும் மறுமுனை நிறையுடனும் இணைக்கப்பட்டுள்ளது.

சுருள்வில்லானது சமநிலையில் இருக்கும் வரை அதன் நிறை ஆற்றல் சுழியாகும். தற்போது ஒரு புறவிசை (\vec{F}_a) சுருள்வில் நிறை மீது செயல்படுத்தப்பட்டு விசையின் திசையில் (x) தொலைவு நீட்சியடைகிறது.

சுருள்வில் விசை (\vec{F}_s) என்றழைக்கப்படும் ஒரு மீள்விசை சுருள்வில்லில் உருவாகி நிறையை அதன் தொடக்க நிலைக்குக் கொண்டுவர முயலுகிறது. செயல்படுத்தப்பட்ட விசை மற்றும் சுருள்வில் விசை ஆகியவை எண்மதிப்பில் சமமாகவும் எதிரெதிர் திசையிலும் உள்ளன. அதாவது ($\vec{F}_a = -\vec{F}_s$). ஹீக் விதியின் படி, சுருள்வில்லில் உருவாகும் மீள்விசை,

$$\vec{F}_s = -k\vec{x}$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் உள்ள எதிர்க்குறியானது சுருள்வில்விசை எப்போதும் இடப்பெயர்ச்சி (\vec{x})க்கு எதிர்த்திசையில் உள்ளது என்பதைக் குறிக்கிறது மற்றும் k என்பது விசை மாறிலி ஆகும். எனவே செயல்படுத்தப்பட்ட விசை $\vec{F}_a = +k\vec{x}$. நேர்குறியானது செயல்படுத்தப்பட்ட விசை இடப்பெயர்ச்சியின் திசையில் உள்ளது என்பதைக் குறிக்கிறது. சுருள்வில் விசை இடப்பெயர்ச்சி \vec{x} ஐ சார்ந்திருப்பதால் இது மாறும் விசைக்கு ஒரு எடுத்துக்காட்டாகும். சுருள்வில் dx என்ற சிறு தொலைவுக்கு நீட்சியடைவதாகக் கருதுவோம். சுருள்வில்லின் மீது செயல்படுத்தப்பட்ட விசையினால் \vec{x} இடப்பெயர்ச்சி அடைவதற்கு செய்யப்பட்ட வேலை மீட்சி நிலை ஆற்றலாக சேமிக்கப்படுகிறது.

$$U = \int \vec{F}_a \cdot d\vec{r} = \int_0^x |\vec{F}_a| |d\vec{r}| \cos \theta$$

$$= \int_0^x F_a dx \cos \theta$$

செயல்படுத்தப்பட்ட விசை \vec{F}_a மற்றும் இடப்பெயர்ச்சி $d\vec{r}$ (அதாவது இங்கு dx) ஆகியவை ஒரே திசையில் உள்ளன. தொடக்க நிலையைச் சமநிலை அல்லது நிடுநிலையாக எடுத்துக்கொண்டால் $x = 0$ என்பது தொகையீட்டின் கீழ் எல்லையாக உள்ளது.

$$U = \int_0^x kx dx$$

$$U = k \left[\frac{x^2}{2} \right]_0^x$$

$$U = \frac{1}{2} kx^2$$

தொடக்கநிலை சுழியில்லை எனில் நிறையானது நிலை x_i முதல் x_f வரை நகர்த்தப்பட்டால் மீட்சி நிலை ஆற்றல்

$$U = \frac{1}{2} k(x_f^2 - x_i^2)$$

சமன்பாடு மற்றும் மூலம் அறிவது யாதெனில் நீட்டப்பட்ட சுருள்வில்லின் நிலை ஆற்றலானது விசை மாறிலி k மற்றும் நீட்சி அல்லது அமுக்கம் x ஆகியவற்றைச் சார்ந்தது.

சுருள்வில்லினுள் சேமிக்கப்பட்டுள்ள நிலை ஆற்றலானது சுருள்வில்லுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள நிறையைச் சார்ந்ததல்ல.

சுருள் வில்லின் விசை - இடப்பெயர்ச்சி வரைபடம்:

விசையும் இடப்பெயர்ச்சியும் $F = -kx$ என்ற நேர்விகிதத் தொடர்பில் உள்ளதாலும் மற்றும் அவை எதிரெதிர் திசையில் இருப்பதாலும் F மற்றும் x இடையே உள்ள வரைபடமானது காட்டியுள்ளவாறு இரண்டு மற்றும் நான்காவது கால்பகுதியில் மட்டுமே அமைந்த நேர் கோடாக உள்ளது. இது F - x வரைபடம் வரைவதன் மூலம் மீட்சி நிலை ஆற்றலை எளிதாகக் கணக்கிடலாம். நிழலிடப்பட்ட பரப்பு (முக்கோணம்) சுருள்வில் விசையால் செய்யப்பட்ட வேலை ஆகும்.

$$\text{பரப்பு} = \frac{1}{2} (\text{அடிப்பக்கம்}) (\text{உயரம்}) = \frac{1}{2} \times (x) \times (kx)$$

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

சுருள்வில்லின் நிலை ஆற்றல் - இடப்பெயர்ச்சி வரைபடம்

ஒரு அழுக்கப்பட்ட அல்லது நீட்டப்பட்ட சுருள்வில் தன்னுள் சேமிக்கப்பட்ட நிலை ஆற்றலை அதனுடன் இணைக்கப்பட்ட நிறையின் இயக்க ஆற்றலாக மாற்றுகிறது. நிலை ஆற்றல் - இடப்பெயர்ச்சி வரைபடமானது காட்டப்பட்டுள்ளது. உராய்வற்ற சூழலில், ஆற்றலானது அமைப்பின் மொத்த ஆற்றல் மாறாதவாறு இயக்க ஆற்றலில் இருந்து நிலை ஆற்றலாகவும் மற்றும் நிலை ஆற்றலில் இருந்து இயக்க ஆற்றலாகவும் மீண்டும் மீண்டும் மாற்றமடைகிறது சமநிலையில்,

$$\Delta KE = \Delta U$$

எடுத்துக்காட்டு :

ஒரு சுருள்வில்லில் A மற்றும் B யின் சுருள்மாறிலிகள் என்றவாறு உள்ளன. அவை சம விசைகளால் நீட்சியடையச் செய்யப்பட்டால் எந்த சுருள்வில்லின் மீது அதிக வேலை செய்யப்பட வேண்டும்?

தீர்வு:

$$F = k_A x_A = k_B x_B$$

$$x_A = \frac{F}{k_A}; x_B = \frac{F}{k_B}$$

சுருள்வில்ல்கள் மீது செய்யப்பட்ட வேலை சுருள்வில்ல்களில் நிலை ஆற்றலாக சேமிக்கப்படுகிறது.

$$U_A = \frac{1}{2} k_A x_A^2; U_B = \frac{1}{2} k_B x_B^2$$

$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{k_A x_A^2}{k_B x_B^2} = \frac{k_A \left(\frac{F}{k_A}\right)^2}{k_B \left(\frac{F}{k_B}\right)^2} = \frac{1}{k_A} \cdot \frac{k_B}{1} = \frac{k_B}{k_A}$$

$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{k_B}{k_A}$$

$k_A > k_B$ குறிப்பது $U_B > U_A$ ஆகும். எனவே A-வை விட B - இன் மீது அதிக வேலை செய்யப்பட வேண்டும்.

m நிறையுள்ள ஒரு பொருள் சுருள்வில்லுடன் இணைக்கப்பட்டு, செயல்படுத்தப்படும் விசையினால் அது நடுநிலையில் இருந்து 25 cm அளவிற்கு நீட்சியடைகிறது.

a. சுருள்வில் - நிறை அமைப்பில் சேமிக்கப்பட்ட நிலை ஆற்றலைக் கணக்கிடுக.

b. இந்த நீட்சியில் சுருள்வில் விசையால் செய்யப்பட்ட வேலை யாது?

c. சுருள்வில்லானது அதே 25 cm அளவிற்கு அழுக்கப்பட்டால் சேமிக்கப்படும் நிலை ஆற்றல் மற்றும் அழுக்கத்தின்போது சுருள்வில் விசையால் செய்யப்பட்ட வேலை ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக. (சுருள்வில் மாறிலி $k = 0.1 \text{ N m}^{-1}$)

தீர்வு:

$$\text{சுருள்வில் மாறிலி } k = 0.1 \text{ N m}^{-1}$$

$$\text{இடப்பெயர்ச்சி } x = 25 \text{ cm} = 0.25 \text{ m}$$

a. சுருள்வில்லில் சேமிக்கப்பட்ட நிலை ஆற்றல்

$$U = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} \times 0.1 \times (0.25)^2 = 0.0031 \text{ J}$$

b. சுருள்வில் விசை \vec{F} ஆல் செய்யப்பட்ட வேலை W_s மதிப்பு

$$W_s = \int_0^x \vec{F}_s \cdot d\vec{r} = \int_0^x (-kxi) \cdot (dx\vec{i})$$

சுருள்வில் \vec{F}_s விசை எதிர்க்குறி x அச்சின் திசையில் செயல்படுகிறது. அதேசமயம் நீட்சியானது நேர்க்குறி x அச்சின் திசையில் செயல்படுகிறது.

$$W_s = \int_0^x (-kx) dx = -\frac{1}{2}kx^2$$

$$W_s = -\frac{1}{2} \times 0.1 \times (0.25)^2 = -0.0031J$$

வெளிப்புற அமைப்பால் செய்யப்பட்ட வேலையின் மூலம் நிலை ஆற்றலை வரையறுக்கலாம். நிலை ஆற்றலில் உள்ள நேர்க்குறி, ஆற்றலானது அமைப்பிலிருந்து பொருளுக்கு மாற்றப்படுவதைக் குறிக்கிறது. ஆனால் இந்நேர்வில் மீள் விசையால் செய்யப்பட்ட வேலை எதிர்க்குறி மதிப்புடையது. ஏனென்றால் மீள்விசையானது இடப்பெயர்ச்சியின் திசைக்கு எதிர்த்திசையில் செயல்படுகிறது.

c. அமுக்கத்தின் போதும் பொருளில் அதே அளவு நிலை ஆற்றல் சேமிக்கப்படுகிறது.

$$U = \frac{1}{2}kx^2 = 0.0031J$$

அமுக்கப்படும் போது சுருள்வில் மீள் விசையால் செய்யப்பட்ட வேலை

$$W_s = \int_0^x \vec{F}_s \cdot \vec{d}_r = \int_0^x (kx\hat{i}) \cdot (-dx\hat{i})$$

அமுக்கப்படும் நேர்வில் சுருள்வில் மீள்விசை நேர்க்குறி x அச்சை நோக்கி செயல்படுகிறது மற்றும் இடப்பெயர்ச்சியானது எதிர்க்குறி x அச்சின் திசையில் உள்ளது.

ஆற்றல் மாற்றா மற்றும் ஆற்றல் மாற்றும் விசைகள் (Conservative force and Non conservative force)

ஆற்றல் மாற்றா விசை (Conservative Force):

ஒரு பொருளை நகர்த்தும் போது விசையினால் அல்லது விசைக்கெதிராக செய்யப்பட்ட வேலை பொருளின் தொடக்க மற்றும் இறுதி நிலைகளை மட்டும் சார்ந்தும், பொருளின் தொடக்க மற்றும் இறுதி நிலைகளுக்கிடையே சென்ற பாதையின் இயல்பைச் சாராமலும் இருப்பின்; அவ்விசை, ஆற்றல் மாற்றா விசை எனப்படும்.

புவியில் A என்ற புள்ளியில் உள்ள ஒரு பொருளைக் கருதுவோம். இதனை h உயரத்தில் உள்ள B என்ற மற்றொரு புள்ளிக்கு மூன்று பாதைகளில் எடுத்துச் செல்லலாம்.

பாதை எவ்வாறு இருப்பினும் தொடக்க மற்றும் இறுதி நிலைகள் மாறாமல் இருக்கும் வரை புவியீர்ப்பு விசைக்கெதிராக செய்யப்பட்ட வேலை மாறாது. இதுவே புவியீர்ப்பு விசையானது ஆற்றல் மாற்றா விசையாக இருப்பதற்கு காரணமாகும். ஆற்றல் மாற்றா விசை நிலை ஆற்றலின் எதிர்க்குறி சாய்வுக்கு சமமாகும்.

ஒரு பரிமாண நேர்வில்

$$F_x = \frac{dU}{dx}$$

மீட்சி சுருள்வில் விசை, நிலைமின்னியல் விசை, காந்தவிசை, புவியீர்ப்பு விசை போன்றவை ஆற்றல் மாற்றா விசைகளுக்கு உதாரணங்கள் ஆகும்.

ஆற்றல் மாற்றும் விசை (Non-Conservative Force)

ஒரு பொருளை விசையினால் அல்லது விசைக்கெதிராக நகர்த்தச் செய்யப்பட்ட வேலை தொடக்க மற்றும் இறுதி நிலைகளுக்கிடையே உள்ள பாதையைச் சார்ந்திருப்பின் அவ்விசை ஆற்றல் மாற்றும் விசை எனப்படும். இதன் பொருள் வெவ்வேறு பாதைகளில் செய்யப்பட்ட வேலையின் மதிப்பு மாறுபடும் என்பதாகும்.

1. உராய்வு விசைகள் ஆற்றல் மாற்றும் விசைகள் ஆகும். ஏனென்றால் உராய்வுக்கு எதிராக செய்யப்பட்ட வேலை பொருள் நகர்ந்த பாதையின் தொலைவைச் சார்ந்தது.

2. காற்றுத்தடையால் ஏற்படும் விசை, பாகியல் விசை ஆகியவையும் ஆற்றல் மாற்றும் விசைகள் ஆகும். இவ்விசையால் அல்லது

ஆற்றல் மாற்றா மற்றும் ஆற்றல் மாற்றும் விசைகளை ஒப்பிடுதல்:

வ.எண்	ஆற்றல் மாற்றா விசைகள்	ஆற்றல் மாற்றும் விசைகள்
1.	செய்யப்பட்ட வேலை பாதையைச் சார்ந்ததல்ல	செய்யப்பட்ட வேலை பாதையைச் சார்ந்தது
2.	ஒரு சுற்றில் செய்யப்பட்ட வேலை சுழியாகும்	ஒரு சுற்றில் செய்யப்பட்ட வேலை சுழியல்ல
3.	மொத்த ஆற்றல் மாறாது	ஆற்றலானது வெப்ப ஆற்றல், ஒளி ஆற்றலாக வெளிப்படுகிறது
4.	செய்யப்பட்ட வேலை முழுவதும் மீடப்படக் கூடியது	செய்யப்பட்ட வேலை முழுவதும் மீடப்படக் கூடியது அல்ல.
5.	விசையானது நிலை ஆற்றலின் எதிர்க்குறி சாய்வுக்கு சமமாகும்	அது போன்ற தொடர்பு இல்லை

விசைக்கெதிராக செய்யப்பட்ட வேலை இயக்கத்தின் திசைவேகத்தைச் சார்ந்தது.

ஆற்றல் மாற்றா மற்றும் ஆற்றல் மாற்றும் விசைகளின் பண்புகள் தொகுக்கப்பட்டுள்ளன.

எடுத்துக்காட்டு:

கீழ்கண்ட நேர்வுகளில் புவியீர்ப்பு விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலையைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு:

$$\text{விசை } \vec{F} = mg(-j) = -mgj$$

$$\text{இடப்பெயர்ச்சி வெக்டர் } d\vec{r} = dx\hat{i} + dyj$$

(இடப்பெயர்ச்சி இரு பரிமாணத்தில் உள்ளதால் அலகு வெக்டர்கள் \hat{i} மற்றும் j பயன்படுத்தப்படுகிறது)

(a) இயக்கமானது செங்குத்தாக மட்டும் உள்ளதால், இடப்பெயர்ச்சியின் கிடைத்தளக்கூறு dx சுழியாகும். எனவே பாதை 1 இன் வழியே விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை (h தொலைவிற்கு)

$$\begin{aligned} W_{\text{பாதை1}} &= \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_A^B (-mgj) \cdot (dyj) \\ &= -mg \int_0^h dy = -mgh \end{aligned}$$

பாதை 2 இல் செய்யப்பட்ட மொத்த வேலை

$$W_{\text{பாதை2}} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_A^C \vec{F} \cdot d\vec{r} + \int_C^D \vec{F} \cdot d\vec{r} + \int_D^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

ஆனால்

$$\int_A^C \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_A^C (-mgj) \cdot (dx\hat{i}) = 0$$

$$\int_C^D \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_C^D (-mgj) \cdot (dyj)$$

$$= mg \int_0^h dy = mgh$$

$$\int_D^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_D^B (-mg \hat{j}) \cdot (-dx \hat{i}) = 0$$

எனவே பாதை 2 இன் வழியே விசையினால் செய்யப்பட்ட மொத்த வேலை

$$W_{\text{பாதை 2}} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = -mgh$$

ஆற்றல் மாற்றா விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை பாதையைச் சார்ந்ததல்ல என்பதை அறியவும்.

எடுத்துக்காட்டு

2 kg நிறையுள்ள ஒரு பொருள் இயக்க உராய்வுக் குணகம் 0.9 கொண்டிருள்ள ஒரு பரப்பில் 20 N புறவிசையினால் 10 m தொலைவிற்கு நகர்த்தப்படுவதாகக் கருதுக. புறவிசை மற்றும் இயக்க உராய்வினால் செய்யப்பட்ட வேலை என்ன? முடிவைப் பற்றிய கருத்தைக் கூறுக. ($g = 10 \text{ m s}^{-2}$ எனக் கொள்க)

தீர்வு:

$$m = 2 \text{ kg}, d = 10 \text{ m}, F_{\text{ext}} = 20 \text{ N}, \mu_k = 0.9$$

ஒரு பொருள் கிடைமட்ட பரப்பில் இயங்கும் போது அது இரு விசைகளைப் பெறுகிறது.

a. புற விசை $F_{\text{ext}} = 20 \text{ N}$

b. இயக்க உராய்வு விசை

$$f_k = \mu_k mg = 0.9 \times (2) \times 10 = 18 \text{ N}$$

புறவிசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை

$$W_{\text{ext}} = F_d = 20 \times 10 = 200 \text{ J}$$

இயக்க உராய்வு விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலை

$$W_k = f_k d = (-18) \times 10 = -180 \text{ J}$$

இங்கு எதிர்க்குறியானது இயக்க உராய்வு விசை, இடப்பெயர்ச்சியின் திசைக்கு எதிராக உள்ளதைக் குறிக்கிறது.

பொருளின் மீது செய்யப்பட்ட மொத்த வேலை

$$W_{\text{total}} = W_{\text{ext}} + W_k = 200 - 180 = 20 \text{ J}$$

உராய்வு விசை ஒரு ஆற்றல் மாற்றும் விசை என்பதால் புறவிசையால் கொடுக்கப்பட்ட 200 J இல் 190 J இழக்கப்பட்டது மற்றும் இதனை மீட்டெடுக்க இயலாது.

ஆற்றல் மாறா விதி (Law of Conservation of energy):

ஒரு பொருளை நாம் மேல்நோக்கி எறிந்தால் அதன் இயக்க ஆற்றல் குறைந்து கொண்டே செல்கிறது மற்றும் அதன் நிலை ஆற்றல் அதிகரித்துக் கொண்டே செல்கிறது (காற்றுத் தடையை புறக்கணிக்கும்போது) பொருளானது பெரும் உயரத்தை அடையும்போது ஆற்றல் முழுவதும் நிலை ஆற்றலாகும். அதுபோன்று பொருளானது பெரும் உயரத்தில் இருந்து வீழ்ந்தால் அதன் இயக்க ஆற்றல் அதிகரிக்கும் மற்றும் நிலை ஆற்றல் குறையும். தரையைத் தொடும்போது அதன் ஆற்றல் முழுவதும் இயக்க ஆற்றலாகும். இடைப்பட்ட புள்ளிகளில் ஆற்றலானது இயக்க ஆற்றலாகவும் நிலை ஆற்றலாகவும் இருக்கும். பொருளானது தரையை அடையும் போது இயக்க

இந்த உதாரணத்தில் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் நிலையாற்றல் மற்றும் இயக்க ஆற்றல் மாறும். எனினும், இயக்க ஆற்றல் மற்றும் நிலை ஆற்றலின் கூடுதல் அதாவது மொத்த இயந்திர ஆற்றல் எப்போதும் மாறாது. இது மொத்த ஆற்றல் மாறாது என்பதைக் குறிக்கிறது. இதுவே ஆற்றல் மாறா விதியாகும்.

ஆற்றல் மாறா விதியின்படி ஆற்றலை ஆக்கவோ அழிக்கவோ இயலாது. ஆற்றலானது ஒரு வகையிலிருந்து மற்றொரு வகையாக மாறக்கூடியது. ஆனால் ஒரு தனித்த அமைப்பின் மொத்த ஆற்றல் மாறிலியாக இருக்கும்.

விளக்குவது யாதெனில், h உயரத்தில் ஓய்வில் உள்ள ஒரு பொருளின் மொத்த ஆற்றல் முழுவதும் நிலை ஆற்றல் ($U = mgh$) மட்டுமே. மேலும் h உயரத்தில் அதன் இயக்க ஆற்றல் (KE) சுழியாகும். பொருள் கீழே விழும்போது ' y ' தொலைவில் அதன் நிலையாற்றல் மற்றும் இயக்க ஆற்றல் சுழியாகாது. அதேசமயம் h உயரத்தில் இருந்த அதே அளவில் மொத்த ஆற்றல் மாறாமல் இருக்கும். பொருள் தரையைத் தொட நெருங்கும் போது நிலை ஆற்றல் சுழியாகும் மற்றும் மொத்த ஆற்றல் இயக்க ஆற்றலாக மட்டுமே இருக்கும்.

எடுத்துக்காட்டு

1 kg நிறையுள்ள ஒரு பொருள் $h = 10$ m உயரத்திலிருந்து விழுகிறது.

(a) $h = 10$ m உயரத்தில் பொருளின் மொத்த ஆற்றல்

(b) $h = 4$ m உயரத்தில் பொருளின் நிலை ஆற்றல்

(c) $h = 4$ m உயரத்தில் பொருளின் இயக்க ஆற்றல்

(d) பொருள் தரையில் மோதும் வேகம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக.

($g = 10 \text{ ms}^{-2}$ எனக் கொள்க)

தீர்வு:

(a) புவியீர்ப்பு விசை ஆற்றல் மாற்றா விசையாகும். எனவே இயக்கம் முழுவதும் மொத்த ஆற்றல் மாறாமல் இருக்கும்.

$h = 10$ m உயரத்தில் மொத்த ஆற்றல் (E) முழுவதும் நிலை ஆற்றலாக இருக்கும்.

$$E = U = mgh = 1 \times 10 \times 10 = 100 \text{ J}$$

(b) $h = 4$ m உயரத்தில் நிலை ஆற்றல்

$$U = mgh = 1 \times 10 \times 4 = 40 \text{ J}$$

(c) இயக்கம் முழுவதும் மொத்த ஆற்றல் மாறிலி என்பதால் $h = 4$ m உயரத்தில் இயக்க ஆற்றலானது

$$KE = E - U = 100 - 40 = 60 \text{ J}$$

மாறாக 4 m உயரத்தில் பொருளின் திசைவேகத்தில் இருந்தும் இயக்க ஆற்றலைக் காணலாம். 6 m வீழ்ந்த பிறகு உள்ள திசைவேகத்தை இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து கணக்கிடலாம்.

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 10 \times 6} = \sqrt{120} \text{ ms}^{-1}$$

$$v^2 = 120$$

$$\text{இயக்க ஆற்றல் } KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 120 = 60 \text{ J}$$

d. பொருள் தரையில் மோதும் நிலையில் மொத்த ஆற்றல் முழுவதும் இயக்க ஆற்றலாகும். மேலும் நிலை ஆற்றல் $U = 0$

$$E = KE = \frac{1}{2}mv^2 = 100 \text{ J}$$

$$v = \sqrt{\frac{2}{m}KE} = \sqrt{\frac{2}{1} \times 100} = \sqrt{200} \approx 14.12 \text{ ms}^{-1}$$

எடுத்துக்காட்டு

படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு 100 மப நிறையுள்ள ஒரு பொருள் தரையிலிருந்து 10 அ உயரத்திற்கு இரு மாறுபட்ட வழிகளில் தூக்கப்படுகிறது. இரு நேர்வுகளிலும் புவியீர்ப்பால் செய்யப்பட்ட வேலை என்ன? சாய்தளத்தின் வழியாக பொருளை எடுத்துச் செல்வது எளிதாக உள்ளது ஏன்?

தீர்வு:

$$m = 100 \text{ kg}, h = 10 \text{ m}$$

பாதை (1) இன் வழியே:

பொருளை 10 m உயரத்திற்குத் தூக்கத் தேவையான சிறும விசை F_1 விசை புவியீர்ப்பு விசைக்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும்.

$$F_1 = mg = 100 \times 10 = 1000 \text{ N}$$

பாதை (1) இன் வழியே நகர்ந்த தொலைவு $h = 10 \text{ m}$

பாதை (1) இன் வழியே பொருளின் மீது செய்யப்பட்ட வேலை

$$W = Fh = 1000 \times 10 = 10,000 \text{ J}$$

பாதை (2) இன் வழியே:

சாய்தளத்தின் வழியே பொருளைக் கொண்டு செல்ல பொருளின் மீது நாம் செலுத்தும் சிறும விசை F_2 ஆனது $mg \sin \theta$ -க்கு சமமாக இல்லை, மாறாக $mg \sin \theta < mg$

எனவே ($mg \sin \theta < mg$)

சாய்தளப் பாதையின் நீளமானது

$$l = \frac{h}{\sin 30^\circ} = \frac{10}{0.5} = 20 \text{ m}$$

பாதை (2) இன் வழியே பொருளின் மீது செய்யப்பட்ட

$$\text{வேலை } W = F_2 l = 500 \times 20 = 10,000 \text{ J}$$

புவியீர்ப்பு விசையானது ஆற்றல் மாற்றா விசை என்பதால் புவியீர்ப்பால் பொருளின் மீது செய்யப்பட்ட வேலை அதனை கொண்டு சென்ற பாதையைச் சார்ந்ததல்ல.

இரு பாதைகளிலும் புவியீர்ப்பு விசையால் செய்யப்பட்ட வேலை 10,000 J ஆகும்.

பாதை (1) இன் வழியே: குறைவான தொலைவு நகர்த்த புவியீர்ப்புக்கு எதிராக அதிகமான விசை செலுத்த வேண்டியுள்ளது.

பாதை (2) இன் வழியே: அதிகமான தொலைவு நகர்த்த புவியீர்ப்புக்கு எதிராக குறைவான விசை செலுத்த வேண்டியுள்ளது.

சாய்தளத்தின் வழியே செலுத்தப்பட வேண்டிய விசை குறைவாக உள்ளதால் சாய்தளத்தின் வழியாக பொருளை எடுத்துச் செல்வது எளிதாக உள்ளது.

எடுத்துக்காட்டு:

m நிறையுள்ள ஒரு பொருள் தரையிலிருந்து v_0 என்ற தொடக்க வேகத்துடன் ஏறியப்படுகிறது. h உயரத்தில் அதன் வேகத்தைக் காண்க.

தீர்வு:

புவியீர்ப்பு விசை ஆற்றல் மாற்றா விசை என்பதால் இயக்கம் முழுவதும் மொத்த ஆற்றல் மாறாது.

ஆற்றல்	தொடக்கத்தில்	இறுதியில்
இயக்க ஆற்றல்	$\frac{1}{2}mv_0^2$	$\frac{1}{2}mv^2$
நிலை ஆற்றல்	0	mgh
மொத்த ஆற்றல்	$\frac{1}{2}mv_0^2 + 0 = \frac{1}{2}mv_0^2$	$\frac{1}{2}mv^2 + mgh$

h உயரத்தில் நிலை ஆற்றல், இயக்க ஆற்றல் மற்றும் மொத்த ஆற்றல் ஆகியவற்றின் இறுதி மதிப்புகள் கணக்கிடப்பட்டுள்ளன.

ஆற்றல் மாறா விதியின் படி தொடக்க மற்றும் இறுதி மொத்த ஆற்றல்கள் சமமாகும்.

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$$

$$v_0^2 = v^2 + 2gh$$

$$v = \sqrt{v_0^2 - 2gh}$$

பாடப்பகுதி இல் இயக்கவியல் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி நுண்கணித முறைப்படி இது போன்ற முடிவு பெறப்பட்டதை கவனிக்கவும். எனினும் ஆற்றல் மாறா விதியின் முறைப்படி கணக்கிடுவது நுண்கணித முறையைவிட மிகவும் எளிதாக உள்ளது.

ஒரு சுருள்வில்லுடன் இணைக்கப்பட்ட 2 kg நிறைவுள்ள ஒரு பொருள் அதன் சமநிலையிலிருந்து $x = 10 \text{ m}$ என்ற தொலைவுக்கு நகர்த்தப்படுகிறது. சுருள்வில் மாறிலி $k = 1 \text{ N m}^{-1}$ மற்றும் பரப்பு உராய்வற்றகாகக் கருதுக.

a. பொருளானது சமநிலையைக் கடக்கும்போது அதன் வேகம் என்ன?

b. பொருளானது சமநிலையைக் கடக்கும் போதும், $x = \pm 10 \text{ m}$ என்ற விளிம்பு நிலையை கடக்கும் போதும் பொருளின் மீது செயல்படும் விசை யாது?

தீர்வு:

a. சுருள்வில் விசை ஒரு ஆற்றல் மாறா விசை ஆகையால் மொத்த ஆற்றல் மாறிலி ஆகும். $x = 10 \text{ m}$ எனும்போது மொத்த ஆற்றல் முழுவதும் நிலை ஆற்றலாக மட்டுமே இருக்கும்.

$$E = U = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2} \times (1) \times (10)^2 = 50 \text{ J}$$

பொருள் சமநிலையைக் கடக்கும் போது ($x = 0$), நிலை ஆற்றலானது

$$U = \frac{1}{2} \times 1 \times (0) = 0 \text{ J}$$

இந்நிலையில் முழு ஆற்றலும் இயக்க ஆற்றலாக மட்டுமே உள்ளது.

$$E = KE = \frac{1}{2}mv^2 = 50 \text{ J}$$

வேகம்

$$v = \sqrt{\frac{2KE}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 50}{2}} = \sqrt{50} \text{ ms}^{-1} \approx 7.07 \text{ ms}^{-1}$$

சுருள்வில்லின் மீள்விசை $F = -kx$ என்பதால் பொருளானது நடுநிலையைக் கடக்கும் போது அது எவ்விசையையும் உணராதது. நடுநிலையில் பொருளானது மிக வேகமாக நகருகிறது என்பதை அறியவும். பொருளானது $x = +10 \text{ m}$ (நீட்சி) என்ற நிலையில் உள்ளபோது விசை $F = -kx$

$F = -(1)(10) = -10 \text{ N}$ இங்கு எதிர்குறியானது விசை நடுநிலையை நோக்கி, அதாவது எதிர் அச்சை நோக்கி உள்ளதைக் குறிக்கிறது. மேலும் பொருளானது

$x = \pm 10 \text{ m}$ (அமுக்கம்) என்ற நிலையில் உள்ளபோது அது உணரும் விசை

$F = -(1)(10) = -10 \text{ N}$ இங்கு நேர்க்குறியானது விசை நேர் x - அச்சை நோக்கி உள்ளதைக் குறிக்கிறது.

என்ற நிலையில் பொருளானது இந்த இரு விளிம்பு புள்ளிகளிலும் பெரும் விசையை உணர்ந்தாலும் கணநேர ஓய்வு நிலைக்கு வருகிறது.

செங்குத்து வட்ட இயக்கம் (Motion in a vertical circle):

அ நிறையுள்ள ஒரு பொருள் நிறையற்ற, நீட்சித் தன்மையற்ற நூலின் ஒரு முனையில் இணைக்கப்படுகிறது. மேலும், நூலின் மறுமுனையானது நிலையாக இருக்குமாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளது. அந்தப்பொருள் செங்குத்துத் தளத்தில் அமைந்த வட்ட இயக்கத்தை மேற்கொள்வதாகக் பற்றி அறிய தனித்த பொருளின் விசைப்படம் (Free body diagram) ஒன்றைக் கருதுவோம். இங்கு நிலைவெக்டர் (\vec{r}) ஆனது செங்குத்தான கீழ்நோக்கிய திசையுடன் கோணத்தை θ ஏற்படுத்தி படத்தில் உள்ளவாறு உடனடி திசைவேகத்தைக் கொண்டுள்ளது.

1. கீழ் நோக்கி செயல்படும் புவியீர்ப்பு விசை
2. நூலின் வழியே செயல்படும் இழுவிசை

பொருளின் மீது நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்த, தொடுகோட்டுத் திசையில்,

$$mg \sin \theta = ma_t$$

$$mg \sin \theta = -m \left(\frac{dv}{dt} \right)$$

இங்கு $a_t = \frac{dv}{dt}$ என்பது தொடுகோட்டுத் திசையில் எதிர் முடுக்கம் ஆகும்.

ஆரத்திசையில்,

$$T - mg \cos \theta = m a_r$$

$$T - mg \cos \theta = \frac{mv^2}{r}$$

இங்கு $a_r = \frac{v^2}{r}$ என்பது மையநோக்கு முடுக்கம் ஆகும்.

இயக்கத்தை நன்கு புரிந்து கொள்ளும்வகையில் வட்டத்தை A, B, C, D என்ற நான்கு பகுதிகளாகப் பிரிக்கலாம். மேற்கண்ட இரு சமன்பாடுகளில் இருந்து கீழ்க்கண்டவாறு நான்கு முக்கிய கருத்துகளை புரிந்து கொள்ளலாம்.

1. பொருளானது அனைத்து θ மதிப்புகளுக்கும் ($\theta = 0^\circ$ தவிர) தொடுகோட்டுத் திசையில் முடுக்கத்தை ($g \sin \theta$) கொண்டிருக்கிறது. இந்த செங்குத்து வட்ட இயக்கம் ஒரு சீரான வட்ட இயக்கம் அல்ல என்பது தெளிவாகிறது.
2. சமன்பாடுகள் மற்றும் இருந்து அறிந்து கொள்வது என்னவெனில் இயக்கத்தின் போது திசைவேகத்தின் எண் மதிப்பு மாறுவதால், நூலின் இழுவிசையும் மாறுகின்றது.

3. சமன்பாடு $T = mg \cos \theta + \frac{mv^2}{r}$ சுட்டிக்காட்டுவது வட்டத்தின் A மற்றும் D பகுதிகளில் ($-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}$ மற்றும் $\cos \theta$ நேர்க்குறி) $mg \cos \theta$ எப்போதும் சுழியைவிட அதிகமாகும். எனவே திசைவேகம் சுழியானாலும் இழுவிசை சுழியாகாது.

4. சமன்பாடு $\frac{mv^2}{r} = T - mg \cos \theta$ மேலும் சுட்டிக்காட்டுவது வட்டத்தின் B மற்றும் C பகுதிகளில் ($\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{3\pi}{2}$ மற்றும் $\cos \theta$ எதிர்க்குறி), சமன்பாட்டின் இரண்டாவது பகுதி ($- mg \cos \theta$) எப்போதும் சுழியை விட அதிகமாகும். எனவே இழுவிசை சுழியானாலும் திசைவேகம் சுழியாகாது.

செங்குத்து வட்ட இயக்கம் தொடர்பான கணக்குகளை தீர்வுகாணம்போது மேற்கண்ட கருத்துகளை மனதில் கொள் வேண்டும்.

அடிப்பக்க புள்ளி 1 மற்றும் மேற்பக்கபுள்ளி 2 ஆகிய இரு நிலைகளை மட்டும் கருத்தில் கொண்டு மேலும் பகுப்பாய்வு செய்வோம். பொருளின் திசைவேகமானது அடிப்பக்கபுள்ளி 1 இல் \vec{v}_1 எனவும். மேற்பக்க புள்ளி 2 இல் \vec{v}_2 எனவும் வேறு எந்த புள்ளியிலும் \vec{v} எனவும் கொள்க. திசைவேகத்தின் திசை அனைத்துப் புள்ளிகளிலும் வட்டப்பாதையின் தொடுகோட்டுத் திசையில் உள்ளது. அடிப்பக்கப் புள்ளியிலிருந்து நூலின் இழுவிசையானது \vec{T}_1 எனவும், மேற்பக்க புள்ளியிலிருந்து இழுவிசை \vec{T}_2 எனவும் வேறு எந்த புள்ளியிலும் இழுவிசை \vec{T} எனவும் கொள்க. ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் இழுவிசைமையப்புள்ளியை நோக்கி செயல்படுகிறது. ஆற்றல் மாறா விதியைப் பயன்படுத்தி இந்த இரு புள்ளிகளிலும் இழுவிசைகள் மற்றும் திசைவேகங்களை கணக்கிடலாம்.

அடிப்பக்க புள்ளி (1):

பொருளானது அடிப்பக்க புள்ளி 1 இல் உள்ளபோது புவியீர்ப்பு விசை $m\vec{g}$ பொருளின் மீது செங்குத்தாக கீழ்நோக்கி செயல்படுகிறது மற்றும் இழுவிசை \vec{T}_1 செங்குத்தாக மேல்நோக்கி அதாவது மையப்புள்ளியை நோக்கி செயல்படுகிறது. சமன்பாடு இருந்து நாம் பெறுவது

$$T_1 - mg = \frac{mv_1^2}{r}$$

$$T_1 = \frac{mv_1^2}{r} + mg$$

மேற்பக்க புள்ளி (2):

மேற்பக்க புள்ளி 2 இல் பொருளின் மீதான புவியீர்ப்பு விசை $m\vec{g}$ மற்றும் இழுவிசை \vec{T}_2 ஆகிய இரண்டும் கீழ்நோக்கி அதாவது மையப்புள்ளியை நோக்கி செயல்படுகிறது.

$$T_2 + mg = \frac{mv_2^2}{r}$$

$$T_2 = \frac{mv_2^2}{r} - mg$$

சமன்பாடுகள் மற்றும் $T_1 > T_2$ என அறியலாம். இழுவிசையின் வேறுபாடு $T_1 - T_2$ ஆனது சமன்பாடு சமன்பாடு இருந்து கழிப்பதன் மூலம் பெறப்படுகிறது.

$$T_1 - T_2 = \frac{mv_1^2}{r} + mg - \left(\frac{mv_2^2}{r} - mg \right)$$

$$= \frac{mv_1^2}{r} + mg - \frac{mv_2^2}{r} + mg$$

$$T_1 - T_2 = \frac{m}{r} [v_1^2 - v_2^2] + 2mg$$

புள்ளி 1 மற்றும் 2 இல் ஆற்றல் மாறா விதியைப் பயன்படுத்தி $[v_1^2 - v_2^2]$ மதிப்பை எளிதாகக் கணக்கிடலாம்.

இழுவிசையும் பொருள் செல்லும் திசையும் எப்போதும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக உள்ளதால் இழுவிசையானது பொருளின் மீது எவ்வித வேலையும் செய்யாது. புவியீர்ப்பு விசையானது பொருளின் மீது வேலை செய்கிறது. மேலும் அது ஆற்றல் மாற்றா விசை என்பதால் இயக்கம் முழுவதும் பொருளின் மொத்த ஆற்றல் மாறாது.

புள்ளி 1 இல் உள்ள மொத்த ஆற்றல் (E_1) புள்ளி 2 இல் உள்ள மொத்த ஆற்றல் (E_2) க்கு சமமாகும்.

$$E_1 = E_2$$

புள்ளி 1 இல் நிலை ஆற்றல் $U_1 = 0$ (புள்ளி 1 ஐ குறிப்புப் புள்ளியாக எடுத்துக்கொள்வதன் மூலம்)

புள்ளி 1 இல் இயக்க ஆற்றல் $KE_1 = \frac{1}{2}mv_1^2$

புள்ளி 1 இல் மொத்த ஆற்றல் $E_1 = U_1 + KE_1 = 0 + \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_1^2$

இதுபோன்றே புள்ளி 2 இல் நிலை ஆற்றல் $U_2 = mg(2r)$

(புள்ளி 1 இல் இருந்து h மதிப்பு $2r$ ஆகும்)

புள்ளி 2 இல் இயக்க ஆற்றல் $KE_2 = \frac{1}{2}mv_2^2$

புள்ளி 2 இல் மொத்த ஆற்றல்

$$E_2 = U_2 + KE_2 = 2mgr + \frac{1}{2}mv_2^2$$

சமன்பாடு உள்ளவாறு ஆற்றல் மாறா விதிப்படி

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

மாற்றியமைக்க

$$\frac{1}{2}m(v_1^2 - v_2^2) = 2mgr$$

$$v_1^2 - v_2^2 = 4gr$$

சமன்பாடு சமன்பாடு பிரதியிட

$$T_1 - T_2 = \frac{m}{r}[4gr] + 2mg$$

எனவே இழுவிசையில் மாறுபாடானது

$$T_1 - T_2 = 6mg$$

மேற்பக்க புள்ளி (2) இல் சிறும வேகம்:

பொருளானது புள்ளி 2 இல் ஒரு சிறும வேகத்தைக் கொண்டிருக்க வேண்டும், இல்லையெனில் புள்ளி 2 ஐ அடையும் முன்பாக நூலானது தளர்வுற்று அதனால் பொருள் வட்டப்பாதையை நிறைவு செய்யாது. இந்த சிறும வேகத்தைக் கணக்கிட சமன்பாடு இல் இழுவிசை $T_2 = 0$ எனக் கொள்வோம்.

$$0 = \frac{mv_2^2}{r} - mg$$

$$\frac{mv_2^2}{r} = mg$$

$$v_2^2 = rg$$

$$v_2 = \sqrt{gr}$$

பொருளானது வட்டப்பாதையில் தொடர்ந்த இயங்க புள்ளி 2 இல் $v_2 \geq \sqrt{gr}$ என்ற வேகத்தைக் கொண்டிருக்க வேண்டும்.

அடிப்புள்ளி (1) இல் சிறும வேகம்:

புள்ளி 2 இல் இந்த சிறும வேகத்தைப் ($v_2 = \sqrt{gr}$)பெற பொருளானது புள்ளி 1 லும் ஒரு சிறும வேகத்தைக் கொண்டிருக்க வேண்டும்.

சமன்பாடு ஐப் பயன்படுத்தி புள்ளி 1 இல் சிறும வேகத்தை நாம் காணலாம்.

$$v_1^2 - v_2^2 = 4gr$$

சமன்பாடு பிரதியிட

$$v_1^2 - gr = 4gr$$

$$v_1^2 = 5gr$$

$$v_1 = \sqrt{5gr}$$

பொருளானது வட்டப்பாதையில் தொடர்ந்து இயங்க புள்ளி 1 இல் ($v_1 \geq \sqrt{5gr}$) என்ற வேகத்தைக் கொண்டிருக்க வேண்டும்.

சமன்பாடுகள் இருந்து அறிவது என்னவெனில் பொருள் வட்டப்பாதையை விட்டு விலகாமல் நிறைவு செய்ய அடிப்புள்ளி 1 இல் சிறும வேகமானது மேற்பக்க புள்ளி 2 இல் உள்ள சிறும வேகத்தை விட $\sqrt{5}$ மடங்கு இருக்க வேண்டும்.

எடுத்துக்காட்டு:

கயிற்றுடன் கட்டப்பட்ட ஒரு வாளியில் உள்ள நீர் 0.5 m ஆரமுள்ள செங்குத்து வட்டத்தை சுற்றி சுழற்றப்படுகிறது. இயக்கத்தின் போது நீரானது வாளியில் இருந்து சிந்தாமல் இருக்க அடிப்புள்ளியில் இருக்க வேண்டிய சிறும திசைவேகத்தைக் கணக்கிடுக. ($g = 10 \text{ ms}^{-2}$)

தீர்வு

$$\text{வட்டத்தின் ஆரம் } r = 0.5 \text{ m}$$

$$\text{மேற்பக்க புள்ளியில் தேவையான வேகம் } v_2 = \sqrt{gr} = \sqrt{10 \times 0.5} = \sqrt{5} \text{ ms}^{-1}$$

$$\text{அடிப்பக்க புள்ளியில் வேகம் } v_1 = \sqrt{5gr} = \sqrt{5} \times \sqrt{gr} = \sqrt{5} \times \sqrt{5} = 5 \text{ ms}^{-1}$$

திறன் (Power):

திறனின் வரையறை:

திறன் என்பது எவ்வளவு வேகமாக அல்லது மெதுவாக ஒரு வேலை செய்யப்படுகிறது என்பதன் அளவாகும். வேலை செய்யப்படும் வீதம் அல்லது ஆற்றல் வெளிப்படும் வீதம், திறன் என வரையறுக்கப்படுகிறது.

$$\text{திறன் (P)} = \frac{\text{செய்யப்பட்ட வேலை (W)}}{\text{எடுத்துக் கொண்ட நேரம் (t)}}$$

$$P = \frac{W}{t}$$

சராசரித் திறன்:

செய்யப்பட்ட மொத்த வேலைக்கும் எடுத்துக் கொண்ட மொத்த நேரத்திற்கும் இடையே உள்ள விகிதம் சராசரித் திறன் ($P_{\text{சராசரி}}$) என வரையறுக்கப்படுகிறது.

$$(P_{\text{சராசரி}}) = \frac{\text{செய்யப்பட்ட மொத்த வேலை}}{\text{எடுத்துக் கொண்ட மொத்த நேரம்}}$$

உடனடித் திறன்:

ஒரு கண நேரத்தில் (நேர இடைவெளி சுழியை நெருங்கும் போது) வெளிப்படும் திறன் உடனடித் திறன் ($P_{\text{உடனடி}}$) என வரையறுக்கப்படுகிறது.

$$(P_{\text{உடனடி}}) = \frac{dw}{dt}$$

திறனின் அலகு:

திறன் ஒரு ஸ்கேலர் அளவாகும். அதன் பரிமாணம் (ML^2T^{-3}) திறனின் SI அலகு வாட் (W) என்று நீராவி இயந்திரத்தைக் கண்டுபிடித்த ஜேம்ஸ் வாட் பெயரால் அழைக்கப்படுகிறது.

ஒரு வினாடியில் ஒரு ஜீல் வேலை செய்யப்பட்டால் திறன் ஒரு வாட் என வரையறுக்கப்படுகிறது. ($1\text{W} = 1\text{Js}^{-1}$) கிலோவாட் (KW), மெகாவாட் (MW) மற்றும் ஜிகாவாட் (GW) ஆகியவை திறனின் உயர் அலகுகள் ஆகும்.

$$1 \text{ KW} = 1000 \text{ W} = 10^3 \text{ வாட்}$$

$$1 \text{ MW} = 10^6 \text{ வாட்}$$

$$1 \text{ GW} = 10^9 \text{ வாட்}$$

மோட்டார்கள், இயந்திரங்கள் மற்றும் சில தானியங்கி வாகனங்களுக்கு குதிரைத்திறன் (horse - power) (hp) என்றழைக்கப்படும் திறனின் பழைய அலகானது வணிகரீதியாக இன்னும் பயன்பாட்டில் உள்ளது. குதிரைத்திறனை (hp) வாட் (W) என்ற அலகில் மாற்ற

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

அனைத்து மின் சாதனங்களின் மீதும் ஒரு குறிப்பிட்ட திறனின் அளவு அச்சிடப்பட்டு வழங்கப்படுகின்றன. ஒரு 100 வாட் விளக்கு (டிடடி) ஒரு வினாடியில் 100 ஜீல் மின் ஆற்றலை நுகர்கிறது. ஜூல் என்ற அலகால் அளக்கப்படும் ஆற்றலின் திறனை வாட் என்ற அலகிலும் நேரத்தை வினாடி என்ற அலகிலும் குறிப்பிடுவதால் $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$ என எழுதலாம். மின் உபகரணங்கள் பல மணி நேரத்திற்கு பயன்பாட்டில் உள்ளபோது அவை அதிக அளவிலான ஆற்றலை நுகருகின்றன. மின் ஆற்றலை வாட் வினாடி (Ws) என்ற சிறிய அலகில் அளவிடும்போது பெரிய எண் மதிப்புகளைக் கையாள வேண்டும். எனவே மின் ஆற்றலானது கிலோவாட் மணி (kilowatt hour - kwh) என்ற அலகால் அளவிடப்படுகிறது.

$$1 \text{ மின் அலகு (1 யூனிட்)} = 1 \text{ KWh} = 1 (10^3 \text{ W}) \times 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ மின் அலகு} = 3600 \times 10^3 \text{ Ws}$$

$$1 \text{ மின் அலகு} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ KWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

மின் ஆற்றல் நுகர்வுக்கு KWh என்ற அலகில் மின்கட்டண பட்டியல்கள் தயாரிக்கப்படுகின்றன. 1 அலகு மின் ஆற்றல் என்பது 1 KWh ஆகும்.

(குறிப்பு: KWh என்பது ஆற்றலின் அலகு; திறனின் அலகு அல்ல)

எடுத்துக்காட்டு:

ஒரு 75 W மின்விசிறி தினமும் 8 மணி நேரம் ஒரு மாதத்திற்கு (30 நாட்கள்) பயன்படுத்தப்பட்டால் நுகரப்பட்ட ஆற்றலை மின் அலகில் கணக்கிடுக.

தீர்வு:

$$\text{திறன் } P = 75 \text{ W}$$

பயன்பாட்டு நேரம் $t = 8 \text{ மணி} \times 30 \text{ நாட்கள்} = 240 \text{ மணி}$. நுகரப்பட்ட மின் ஆற்றலானது திறன் மற்றும் பயன்பாட்டு நேரம் ஆகியவற்றின் பெருக்கல் பலன் ஆகும்.

$$\text{மின் ஆற்றல்} = \text{திறன்} \times \text{பயன்பாட்டு நேரம்} = P \times t$$

$$= 75 \text{ வாட்} \times 240 \text{ மணி}$$

$$= 18000 \text{ வாட் மணி}$$

$$= 18 \text{ கிலோ வாட் மணி} = 18 \text{ KWh}$$

$$1 \text{ மின் அலகு} = 1 \text{ KW h}$$

$$\text{மின் ஆற்றல்} = 18 \text{ அலகு}$$

மின்னிறை விளக்குகள் 1000 மணி நேரம் ஒளிவீசும். ஊகுடு விளக்குகள் 6000 மணி நேரம் ஒளிவீசும். ஆனால் LED விளக்குகள் 50000 மணிநேரம் ஒளி வீசும் (ஏறத்தாழ 25 ஆண்டுகள், நாளொன்றுக்கு 5.5 மணி நேரம்)

திறன் மற்றும் திசைவேகம் ஆகியவற்றுக்கு இடையே உள்ள தொடர்பு:

\vec{F} என்ற விசையினால் $d\vec{r}$ என்ற இடப்பெயர்ச்சிக்கு செய்யப்பட்ட வேலை

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

சமன்பாடு இடது பக்கத்தில் உள்ளதை இவ்வாறு எழுதலாம்.

$$W = \int dW = \int \frac{dW}{dt} dt$$

(dt - இல் பெருக்கவும் வகுக்கவும் செய்ய)

திசைவேகம் $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ என்பதால் $d\vec{r} = \vec{v}dt$

சமன்பாடு வலது பக்கத்தில் உள்ளதை இவ்வாறு எழுதலாம்

$$\int \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int \left(\vec{F} \cdot \frac{d\vec{r}}{dt} \right) dt = \int (\vec{F} \cdot \vec{v}) dt \left[\because \vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \right]$$

சமன்பாடு சமன்பாடு இல் பிரதியிட

$$\int \frac{dW}{dt} dt = (\vec{F} \cdot \vec{v}) dt$$

$$\int \left(\frac{dW}{dt} - \vec{F} \cdot \vec{v} \right) dt = 0$$

இந்த தொடர்பானது னவ இன் எந்த ஒரு தன்னிச்சையான மதிப்பிற்கும் சரியாக உள்ளது. அடைப்புக்குறிக்குள் உள்ள மதிப்பு சுழியாக இருக்க வேண்டும் என்பதை இது குறிக்கிறது. அதாவது

$$\frac{dW}{dt} - \vec{F} \cdot \vec{v} = 0 \text{ அல்லது } \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

எடுத்துக்காட்டு:

1250 kg நிறையுள்ள ஒரு வாகனம் ஒரு சமமான நேர் சாலையில் 0.2 ms^{-2} முடுக்கத்துடன் 500 N என்ற எதிர்க்கும் புறவிசைக்கெதிராக இயக்கப்படுகிறது. வாகனத்தின் திசைவேகம் 30 ms^{-1} எனில் வாகனத்தின் இயந்திரம் வெளிப்படுத்தும் திறனைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு:

வாகனத்தின் இயந்திரம், எதிர்க்கும் விசைக்கெதிராக வேலை செய்து வாகனத்தை ஒரு முடுக்கத்துடன் இயக்க வேண்டும். எனவே வாகனத்தின் இயந்திரம் வெளிப்படுத்தும் திறன்.

$P = (\text{எதிர்க்கும் விசை} + (\text{நிறை} \times \text{முக்கம்})) (\text{திசைவேகம்})$

$$P = \vec{F}_{tot} \cdot \vec{V} = (F_{resistive} + F)V$$

$$P = \vec{F}_{tot} \cdot \vec{V} = (F_{resistive} + ma)V$$

$$= (500 + (1250 \times 0.2)) (30) = 22.5 \text{ kW}$$

மோதல்கள் (Collisions):

மோதல் என்பது நம்மைச் சுற்றி அவ்வப்போது நடைபெறக்கூடிய ஒரு பொதுவான நிகழ்வு ஆகும். உதாரணமாக கேரம், பில்லியர்ட்ஸ், கோலிக்குண்டு போன்ற விளையாட்டுகள் இரு பொருட்களுக்கிடையே மோதல்களானது தொடுதலுடன் அல்லது தொடுதலின்றி ஏற்படலாம்.

அனைத்து மோதல் செயல்முறைகளிலும் நேர்க்கோட்டு உந்தம் மாறாது. இரு பொருட்கள் மோதலுற்றால் அவற்றிற்கிடையே செயல்படும் சமமான கணத்தாக்கு விசைகள் Δt என்ற மோதலுறும் நேரத்தில் அவற்றின் உந்தங்களில் மாற்றத்தை ஏற்படுத்துகிறது. அதாவது முதல் பொருள் \vec{F}_{12} என்ற விசையை இரண்டாவது பொருளின் மீது செலுத்துகிறது. அதேபோல் நியூட்டனின் மூன்றாம் விதிப்படி, இரண்டாவது பொருளானது முதல் பொருளின் மீது \vec{F}_{21} என்ற விசையை செலுத்துகிறது. இவை முதல் மற்றும் இரண்டாவது பொருட்களின் உந்தத்தில் முறையே $\Delta \vec{P}_1$ மற்றும் $\Delta \vec{P}_2$ என்ற மாற்றத்தை ஏற்படுத்துகிறது. தற்போது இதன் தொடர்புகளை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\Delta \vec{p}_1 = \vec{F}_{12} \Delta t$$

$$\Delta \vec{p}_2 = \vec{F}_{21} \Delta t$$

சமன்பாடு இரண்டையும் கூட்ட

$$\Delta \vec{P}_1 + \Delta \vec{P}_2 = \vec{F}_{12} \Delta t + \vec{F}_{21} \Delta t = (\vec{F}_{12} + \vec{F}_{21}) \Delta t$$

நியூட்டனின் மூன்றாம் விதிப்படி $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

$$\Delta \vec{P}_1 + \Delta \vec{P}_2 = 0$$

$$\Delta(\vec{P}_1 + \vec{P}_2) = 0$$

இருபுறமும் Δt - ஆல் வகுக்க, மற்றும் எல்லை $\Delta t \rightarrow 0$ எனக் கொள்ள நாம் பெறுவது

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta(\vec{p}_1 + \vec{p}_2)}{\Delta t} = \frac{d(\vec{p}_1 + \vec{p}_2)}{dt} = 0$$

மேற்கண்ட சமன்பாடு மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம் ஒரு மாறா அளவு என்பதைக் குறிக்கிறது.

குறிப்பு: உந்தம் ஒரு வெக்டர் அளவாகும். எனவே மோதலின் போது தனித்தனி பொருட்களின் உந்தத்தைக் காண வெக்டர் கூடுதல் பின்பற்றப்பட வேண்டும்.

மோதல்களின் வகைகள்:

எந்த ஒரு மோதல் செயல்முறையிலும் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தமும், மொத்த ஆற்றலும் எப்போதும் மாறாது. அதேசமயம் மொத்த இயக்க ஆற்றலானது எப்போதும் மாறாமல் இருக்கத் தேவையில்லை. தொடக்க இயக்க ஆற்றலின் ஒரு பகுதி வேறு வகையான ஆற்றலாக மாற்றமடைகிறது. ஏனென்றால் மோதல்கள் மற்றும் மோதல்களால் ஏற்படும் உருக்குலைவு ஆகியவற்றின் தாக்கம் பொதுவாக வெப்பம், ஒலி, ஒளி போன்றவற்றை உருவாக்குகிறது. இந்த விளைவுகளை கணக்கில் கொண்டு மோதல்களை நாம் கீழ்க்கண்டவாறு வகைப்படுத்தலாம்.

a. மீட்சி மோதல்

b. மீட்சியற்ற மோதல்

மீட்சி மோதல் (Elastic Collision):

ஒரு மோதலில் பொருட்களின் தொடக்க மொத்த இயக்க ஆற்றலானது (மோதலுக்கு முன்) பொருட்களின் இறுதி மொத்த இயக்க ஆற்றலுக்கு (மோதலுக்குப் பின்) சமமாக இருந்தால் அது மீட்சிமோதல் எனப்படும். அதாவது

மோதலுக்கு முன் மொத்த இயக்க ஆற்றல் = மோதலுக்குப் பின் மொத்த இயக்க ஆற்றல்

மீட்சியற்ற மோதல் (Inelastic collision):

ஒரு மோதலில் பொருட்களின் தொடக்க மொத்த இயக்க ஆற்றலானது (மோதலுக்கு முன்) பொருட்களின் இறுதி மொத்த இயக்க ஆற்றலுக்கு (மோதலுக்குப் பின்) சமமாக இல்லையெனில் அது மீட்சியற்ற மோதல் எனப்படும். அதாவது

மோதலுக்கு முன் மொத்த இயக்க ஆற்றல் \neq மோதலுக்குப் பின் மொத்த இயக்க ஆற்றல்

மோதலுக்கு முன் மோதலுக்குப் பின்

மொத்த இயக்க ஆற்றல் - மொத்த இயக்க ஆற்றல்

$$= (\text{மோதலின் போது ஆற்றல் இழப்பு}) = \Delta Q$$

இயக்க ஆற்றல் மாறும் எனினும் மொத்த ஆற்றல் மாறாது. எனென்றால் மொத்த ஆற்றலானது இடக்க ஆற்றலின் சமன்பாடு மற்றும் மோதலின் போது ஏற்பட்ட அனைத்து இழப்புகளையும் உள்ளடக்கிய சமன்பாடு (ΔQ) ஆகியவற்றைக் கொண்டுள்ளது. மோதலின் போது இயக்க ஆற்றலில் ஏற்படும் இழப்பு ஒலி, வெப்பம் போன்ற வேறு வகையான ஆற்றலாக மாற்றமடைகிறது என்பதை அறியவும். மேலும் மோதலுறும் இரு பொருள்களும் மோதலுக்குப் பின் ஒன்றுடன் ஒன்று ஒட்டிக்கொண்டால் அவ்வகை மோதல்கள் முழு மீட்சியற்றமோதல் அல்லது மீட்சியற்ற மோதல் எனப்படும். அவ்வகையான மோதலை அடிக்கடி காணலாம். உதாரணமாக, ஈரமான, ஒரு களிமண் உருண்டை (அல்லது பபிள்கம்) ஒரு இயங்கும் வாகனத்தின் மீது எறியப்பட்டால், அது இயங்கும் வாகனத்துடன் ஒட்டிக் கொள்கிறது மற்றும் அவை சம திசைவேகத்துடன் இயங்குகின்றன.

ஒரு பரிமாண மீட்சி மோதல்கள்:

m_1 மற்றும் m_2 நிறையுள்ள இரு மீட்சிப் பொருள்கள் காட்டியுள்ளவாறு ஒரு உராய்வற்ற கிடைத்தளப் பரப்பில் நேர்க்கோட்டில் (நேர் x - அச்சின் திசையில்) இயங்குவதாகக் கருதுக.

மீட்சி மற்றும் மீட்சியற்ற மோதல்களை ஒப்பிடுதல்:

வ.எண்	மீட்சி மோதல்	மீட்சியற்ற உந்தம் மாறாது
1.	மொத்த உந்தம் மாறாது	மொத்த உந்தம் மாறாது
2.	மொத்த இயக்க ஆற்றல் மாறாது	மொத்த இயக்க ஆற்றல் மாறும்
3.	தொடர்புடைய விசைகள் ஆற்றல் மாற்றா விசைகள்	தொடர்புடைய விசைகள் ஆற்றல் மாற்றும் விசைகள்
4.	இயந்திர ஆற்றல் சிதைவடையாது	இயந்திர ஆற்றலானது வெப்பம், ஒளி, ஒலி போன்றவையாக வெளிப்படுகிறது.

நிறை	தொடக்க திசைவேகம்	இறுதி திசைவேகம்
நிறை m_1	u_1	v_1
நிறை m_2	u_2	v_2

மோதல் நிகழ் நிறை m_1 நிறை m_2 ஐ விட வேகமாக இயங்குவதாகக் கருதுக. அதாவது $u_1 > u_2$ மீட்சி மோதலுக்கு இரு பொருள்களின் மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம் மற்றும் இயக்க ஆற்றல்கள் மோதலுக்கு முன்பும் மோதலுக்குப் பின்பும் மாறாமல் ஒரே அளவாக இருக்க வேண்டும்.

	நிறை m_1 இன் உந்தம்	நிறை m_2 இன் உந்தம்	மொத்த நேர்க்கோட்டு உந்தம்
மோதலுக்கு முன்	$P_{i1} = m_1 u_1$	$P_{i2} = m_2 u_2$	$P_i = P_{i1} + P_{i2}$ $P_i = m_1 u_1 + m_2 u_2$
மோதலுக்கு பின்	$P_{f1} = m_1 v_1$	$P_{f2} = m_2 v_2$	$P_f = P_{f1} + P_{f2}$ $P_f = m_1 v_1 + m_2 v_2$

நேர்க்கோட்டு உந்த மாறா விதியில் இருந்து மோதலுக்கு முன் மொத்த உந்தம் (P_i) = மோதலுக்குப் பின் மொத்த உந்தம் (P_f)

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

அல்லது

$$m_1(u_1 - v_1) = m_2(v_2 - u_2)$$

மேலும்

	நிறை m_1 இன் இயக்க ஆற்றல்	நிறை m_2 இன் இயக்க ஆற்றல்	மொத்த இயக்க ஆற்றல்
மோதலுக்கு முன்	$KE_{i1} = \frac{1}{2} m_1 u_1^2$	$KE_{i2} = \frac{1}{2} m_2 u_2^2$	$KE_i = KE_{i1} + KE_{i2}$ $KE_i = \frac{1}{2} m_1 u_1^2 + \frac{1}{2} m_2 u_2^2$
மோதலுக்குப் பின்	$KE_{f1} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2$	$KE_{f2} = \frac{1}{2} m_2 v_2^2$	$KE_f = KE_{f1} + KE_{f2}$ $KE_f = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$

மீட்சி மோதலுக்கு

மோதலுக்கு முன் மொத்த இயக்க ஆற்றல் $KE_i =$ மோதலுக்குப் பின் மொத்த இயக்க ஆற்றல் KE_f

சுருக்கிய பிறகு மாற்றியமைக்க $m_1(u_1^2 - v_1^2) = m_2(v_2^2 - u_2^2)$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டை $a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$

என்ற வாய்ப்பாட்டைப் பயன்படுத்தி மீண்டும் எழுத

$$m_1(u_1 + v_1)(u_1 - v_1) = m_2(v_2 + u_2)(v_2 - u_2)$$

சமன்பாடு வகுக்க கிடைப்பது

$$\frac{m_1(u_1 + v_1)(u_1 - v_1)}{m_1(u_1 - v_1)} = \frac{m_2(v_2 + u_2)(v_2 - u_2)}{m_2(v_2 - u_2)}$$

$$u_1 + v_1 = v_2 + u_2$$

மாற்றியமைக்க

$$u_1 - u_2 = v_2 - v_1$$

சமன்பாடு இவ்வாறு எழுதலாம்.

$$u_1 - u_2 = -(v_1 - v_2)$$

இதன் பொருளானது எந்த ஒரு நேரடி மீட்சி மோதலிலும், மோதலுக்குப்பின் இரு மீட்சிப் பொருள்களின் ஒப்புமை வேகம் மோதலுக்கு முன் இருந்த அதே எண் மதிப்பைக் கொண்டும் ஆனால் எதிர்த்திசையிலும் இருக்கும் என்பதாகும். மேலும் இந்த முடிவு நிலையைச் சார்ந்ததல்ல என்பதை அறியவும்.

மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து v_1 மற்றும் v_2 மதிப்புகளைக் காண

$$v_1 = v_2 + u_2 - u_1$$

அல்லது

$$v_2 = u_1 + v_1 - u_2$$

இறுதி திசைவேகங்கள் v_1 மற்றும் v_2 கண்டறிதல்:

சமன்பாடு பிரதியிடுவதன் மூலம் m_1 இன் திசைவேகமானது

$$m_1(u_1 - v_1) = m_2(u_1 + v_1 - u_2 - u_2)$$

$$m_1(u_1 - v_1) = m_2(u_1 + v_1 - 2u_2)$$

$$m_1u_1 - m_1v_1 = m_2u_1 + m_2v_1 - 2m_2u_2$$

$$m_1u_1 - m_2u_1 + 2m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_1$$

$$(m_1 - m_2)u_1 + 2m_2u_2 = (m_1 + m_2)v_1$$

$$\text{அல்லது } v_1 = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) u_1 + \left(\frac{2m_2}{m_1 + m_2} \right) u_2$$

இது போன்றே சமன்பாடு பிரதியிட அல்லது சமன்பாடு பிரதியிட m_2 இன் இறுதி திசைவேகமானது

$$v_2 = \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2} \right) u_1 + \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 - m_2} \right) u_2$$

பொருள்கள் ஒரே நிறையைக் கொண்டிருந்தால் அதாவது $m_1 = m_2$

$$\text{சமன்பாடு } v_1 = (0)u_1 + \left(\frac{2m_2}{2m_2} \right) u_2$$

$$v_1 = u_2$$

$$\text{சமன்பாடு } \Rightarrow v_2 = \left(\frac{2m_1}{2m_1} \right) u_1 + (0)u_2$$

$$v_2 = u_1$$

சமன்பாடுகள் மற்றும் தெரிவிப்பது என்னவெனில் ஒரு பரிமாண மீட்சி மோதலில் சம நிறையுள்ள இரு பொருள்கள் மோதிக்கொண்டால் மோதலுக்குப் பின் அவற்றின் திசைவேகங்கள் பரிமாறிக் கொள்ளப்படுகின்றன.

பொருள்கள் ஒரே நிறையைக் கொண்டிருந்தால், அதாவது $m_1 = m_2$ மற்றும் இரண்டாவது பொருள் (வழக்கமாக இலக்கு என அழைக்கப்படுவது) ஓய்வு நிலையில் உள்ள போது ($u_2 = 0$)

$m_1 = m_2$ மற்றும் ($u_2 = 0$) என்ற மதிப்புகளை சமன்பாடுகள் இல் பிரதியிட

$$\text{சமன்பாடு} \Rightarrow v_1 = 0$$

$$\text{சமன்பாடு} \Rightarrow v_2 = u_1$$

சமன்பாடு மற்றும் தெரிவிப்பது என்னவெனில் முதல் பொருள் மோதலுக்குப் பின் ஓய்வு நிலைக்கு வரும்போது இரண்டாவது பொருள் முதல் பொருளின் தொடக்க திசைவேகத்தில் இயங்குகிறது.

முதல் பொருளானது இரண்டாவது பொருளின் நிறையை விட குறைவாக இருந்தால், $\left(m_1 \ll m_2, \frac{m_1}{m_2} \ll 1\right)$ பிறகு விகிதம் $\frac{m_1}{m_2} \approx 0$ மற்றும் இலக்கு ஓய்வு நிலையில் உள்ளபோது ($u_2 = 0$) சமன்பாடு இன் தொகுதி மற்றும் பகுதியை m_2 ஆல் வகுக்க

$$v_1 = \left(\frac{\frac{m_1}{m_2} - 1}{\frac{m_1}{m_2} + 1} \right) u_1 + \left(\frac{2}{\frac{m_1}{m_2} + 1} \right) (0)$$

$$v_1 = \left(\frac{0-1}{0+1} \right) u_1$$

$$v_1 = -u_1$$

இது போன்றே,

சமன்பாடு தொகுதி மற்றும் பகுதியை m_2 - ஆல்வகுக்க

$$v_2 = \left(\frac{2 \frac{m_1}{m_2}}{\frac{m_1}{m_2} + 1} \right) u_1 + \left(\frac{1 - \frac{m_1}{m_2}}{\frac{m_1}{m_2} + 1} \right) u_1$$

$$v_2 = (0)u_1 + \left(\frac{1 - \frac{m_1}{m_2}}{\frac{m_1}{m_2} + 1} \right) u_1$$

நிறை குறைவாக உள்ள முதல் பொருளானது அதே தொடக்க திசைவேகத்துடன் எதிர்த்திசையில் திரும்புகிறது (மீண்டெழுகிறது) என்பதைச் சமன்பாடு உள்ள எதிர்க்குறி குறிக்கிறது. அதிக நிறையுள்ள இரண்டாவது பொருளானது மோதலுக்குப் பிறகும் ஓய்வு நிலையிலேயே தொடர்ந்து இருக்கிறது என்பதைச் சமன்பாடு குறிக்கிறது. எடுத்துக்காட்டாக, பந்து ஒன்று நிலையான சுவரின் மீது எறியப்பட்டால் பந்தானது எறியப்பட்ட அதே திசைவேகத்திலேயே எதிர்த்திசையில் சுவரில் இருந்து திரும்பி வரும்.

நேர்வு 4: இரண்டாவது பொருளானது முதல் பொருளைவிட நிறை குறைவாக உள்ளபோது,

$$\left(m_2 \ll m_1, \frac{m_2}{m_1} \ll 1 \right) \text{ பிறகு விகிதம் } \frac{m_2}{m_1} \approx 0$$

மற்றும் இலக்கு ஓய்வு நிலையில் உள்ளபோது ($u_2 = 0$) சமன்பாடு இன் தொகுதி மற்றும் பகுதியை m_1 - ஆல் வகுக்க

$$v_1 = \left(\frac{1 - \frac{m_2}{m_1}}{1 + \frac{m_2}{m_1}} \right) u_1 + \left(\frac{2 \frac{m_2}{m_1}}{1 + \frac{m_2}{m_1}} \right) (0)$$

$$v_1 = \left(\frac{1-0}{1+0} \right) u_1 + \left(\frac{0}{1+0} \right) (0)$$

$$v_1 = u_1$$

இது போன்றே,

தொகுதி மற்றும் பகுதியை m_1 - ஆல் வகுக்க

$$v_2 = \left(\frac{2}{1 + \frac{m_2}{m_1}} \right) u_1 + \left(\frac{\frac{m_2}{m_1} - 1}{1 + \frac{m_2}{m_1}} \right) (0)$$

$$v_2 = \left(\frac{2}{1+0} \right) u_1$$

$$v_2 = 2u_1$$

கனமாக உள்ள முதல் பொருளானது மோதலுக்குப் பிறகு அதே திசைவேகத்துடன் தொடர்ந்து இயங்குகிறது என்பதைச் சமன்பாடு குறிக்கிறது. நிறை குறைவாக உள்ள இரண்டாவது பொருள் முதல் பொருளின் தொடக்க திசைவேகத்தைப் போல இரு மடங்கு திசைவேகத்துடன் இயங்குகிறது என்பதைச் சமன்பாடு குறிக்கிறது. நிறை குறைவாக உள்ள பொருள் மோதலுறும் புள்ளியிலிருந்து வேகமாகச் செல்கிறது.

எடுத்துக்காட்டு:

10 m s^{-1} வேகத்தில் இயங்கும் ஒரு நிறை குறைவான பொருள் அதன் நிறையைப் போன்று இரு மடங்கு மற்றும் அதன் வேகத்தில் பாதியளவு கொண்ட அதே திசையில் இயங்கும் மற்றொரு பொருளின் மீது மோதுகிறது. மோதலானது ஒரு பரிமாண மீட்சி மோதல் எனக் கருதுக. மோதலுக்குப் பிறகு இரு பொருள்களின் வேகம் என்ன?

தீர்வு:

முதல் பொருளின் நிறை m என்க, மற்றும் அதன் தொடக்க திசைவேகம் $u_1 = 10 \text{ ms}^{-1}$, எனவே இரண்டாவது பொருளின் நிறை $2m$ மற்றும் அதன் தொடக்க திசைவேகம்

$$u_2 = \frac{1}{2} u_1 = \frac{1}{2} (10 \text{ ms}^{-1})$$

சமன்பாடுகள் மற்றும் இரு பொருள்களின் இறுதி திசைவேகங்களைக் கணக்கிடலாம்.

$$v_1 = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) u_1 + \left(\frac{2m_2}{m_1 + m_2} \right) u_2$$

$$v_1 = \left(\frac{m - 2m}{m + 2m} \right) 10 + \left(\frac{2 \times 2m}{m + 2m} \right) 5$$

$$v_1 = \left(\frac{1}{3} \right) 10 + \left(\frac{4}{3} \right) 5 = \frac{-10 + 20}{3} = \frac{10}{3}$$

$$v_1 = 3.33 \text{ ms}^{-1}$$

$$v_2 = \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2} \right) u_1 + \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right) u_2$$

$$v_2 = \left(\frac{2m}{m + 2m} \right) 10 + \left(\frac{2m - m}{m + 2m} \right) 5$$

$$v_2 = \left(\frac{2}{3} \right) 10 + \left(\frac{1}{3} \right) 5 = \frac{20 + 5}{3} = \frac{25}{3}$$

$$v^2 = 8.33 \text{ ms}^{-1}$$

v_1 மற்றும் v_2 ஆகிய இரு வேகங்களும் நேர்க்குறியாக உள்ளதால் அவை இரண்டும் முறையே 3.33 m s^{-1} மற்றும் 8.33 ms^{-1} என்ற திசைவேகங்களுடன் மோதலுக்கு முன் இயங்கிய திசையிலேயே இயங்குகின்றன.

முழு மீட்சியற்ற மோதல் (Perfect Inelastic Collision):

முழு மீட்சியற்ற மோதலில் பொருள்கள் மோதலுக்குப்பிறகு ஒரு பொதுவான திசைவேகத்தில் இயங்கும் வகையில் ஒன்றுடன் ஒன்று நிரந்தரமாக ஒட்டிக்கொள்கின்றன. m_1 மற்றும் m_2 நிறை கொண்ட ஒரு பொருள்கள் மோதலுக்கு முன் முறையே u_1 மற்றும் u_2 என்ற தொடக்க திசைவேகங்களுடன் இயங்குவதாகக் கொள்க. முழு மீட்சியற்ற மோதலுக்குப் பிறகு பொருட்கள் v என்ற பொதுவான திசைவேகத்துடன் ஒன்றாக இயங்குகின்றன. மோதலின் போது நேர்க்கோட்டு உந்தம் மாற்றப்படாமல் உள்ளதால்

பொருள்	திசைவேகம்		நேர்க்கோட்டு உந்தம்	
	தொடக்கம்	இறுதி	தொடக்கம்	இறுதி
நிறை m_1	u_1	v	$m_1 u_1$	$m_1 v$
நிறை m_2	u_2	v	$m_2 u_2$	$m_2 v$
	மொத்தம்		$m_1 u_1 + m_2 u_2$	$(m_1 + m_2) v$

பொதுவாக திசைவேகத்தை கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடலாம்.

$$v = \frac{m_1 u_1 + m_2 u_2}{(m_1 + m_2)}$$

எடுத்துக்காட்டு:

50 g நிறையுள்ள ஒரு துப்பாக்கி குண்டு 450 g நிறையுள்ள ஒரு தொங்கவிடப்பட்ட பொருளின் அடிப்பகுதியிலிருந்து சுடப்படுகிறது. துப்பாக்கி குண்டு பொருளினுள் பொதிந்து பொருளானது 1.8 m உயரத்திற்கு மேல்நோக்கிச் செல்கிறது. துப்பாக்கி குண்டின் வேகத்தைக் கணக்கிடுக.

$$g = 10 \text{ ms}^{-2} \text{ எனக் கொள்க.}$$

தீர்வு:

$$m_1 = 50 \text{ g} = 0.05 \text{ kg}; m_2 = 450 \text{ g} = 0.45 \text{ kg}$$

துப்பாக்கி குண்டின் வேகம் u_1 ஆகும். இரண்டாவது பொருள் ஓய்வு நிலையில் உள்ளது ($u_2 = 0$) துப்பாக்கி குண்டு பொருளினுள் பொதிந்த பிறகு துப்பாக்கி குண்டு மற்றும் பொருள் ஆகியவற்றின் பொதுவான திசைவேகம் v என்க.

$$v = \frac{m_1 u_1 + m_2 u_2}{(m_1 + m_2)}$$

$$v = \frac{0.05 u_1 + (0.45 \times 0)}{(0.05 + 0.45)} = \frac{0.05}{0.50} u_1$$

பொதுவான திசைவேகமானது துப்பாக்கி குண்டு மற்றும் பொருள் ஆகிய ஒருங்கிணைந்த அமைப்பின் மேல்நோக்கிய செங்குத்து இயக்கத்திற்கான தொடக்க திசைவேகம் ஆகும். இரண்டாவது இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$v = \sqrt{2 \times 10 \times 1.8} = \sqrt{36}$$

$$v = 6 \text{ ms}^{-1}$$

இதனை மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் பிரதியிட்டு U_1 மதிப்பைப்பெற

$$6 = \frac{0.05}{0.50} u_1 \text{ அல்லது } u_1 = \frac{0.50}{0.05} \times 6 = 10 \times 6$$

$$u_1 = 60 \text{ ms}^{-1}$$

முழு மீட்சியற்ற மோதலில் ஏற்படும் இயக்க ஆற்றல் இழப்பு:

முழு மீட்சியற்ற மோதலின் போது இயக்க ஆற்றலின் இழப்பானது ஒலி, வெப்பம், ஒளி போன்ற வேறு வகையான ஆற்றலாக மாற்றப்படுகிறது. மோதலுக்கு முன் மொத்த இயக்க ஆற்றல் KE_i மற்றும் மோதலுக்குப்பின் மொத்த இயக்க ஆற்றல் KE_f எனக் கொள்க.

$$KE_i = \frac{1}{2} m_1 u_1^2 + \frac{1}{2} m_2 u_2^2$$

மோதலுக்குப் பின் மொத்த இயக்க ஆற்றல்

$$KE_f = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2$$

எனவே இயக்க ஆற்றலில் ஏற்படும் இழப்பு

$$\Delta Q = KE_i - KE_f$$

$$= \frac{1}{2} m_1 u_1^2 + \frac{1}{2} m_2 u_2^2 - \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2$$

சமன்பாடு சமன்பாடு இல் பிரதியிட்டு $(a + b)^2 = a^2 + b^2 + 2ab$ என்ற இயற்கணித சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி, சுருக்க நாம் பெறுவது.

மீட்சியளிப்பு குணகம் (e)(Coefficient of restitution):

இரு இரப்பர் பந்து மற்றும் ஒரு பிளாஸ்டிக் பந்து இரண்டையும் ஒரே தளத்தில் விழச்செய்வதாகக் கொள்வோம். இரப்பர் பந்தானது பிளாஸ்டிக் பந்தைவிட அதிக உயரத்திற்கு மேலெழும்பும். ஏனென்றால் ஒரு மீட்சிப் பண்புள்ள இரப்பர் பந்திற்கு இயக்க ஆற்றலின் இழப்பு பிளாஸ்டிக் பந்திற்கு இயக்க ஆற்றலின் இழப்பு பிளாஸ்டிக் பந்திற்கான இழப்பைவிட மிக குறைவாகும். பொதுவாக மோதலுக்குப் பிறகு இரு பொருள்களின் இயக்க ஆற்றல் மதிப்பினை மீட்சியளிப்பு குணகம்(Coefficient of Restitution - COR) எனப்படும் ஒரு பரிமாணமற்ற எண் மூலமாக அளந்தறியலாம்.

மோதலுக்குப் பின் உள்ள விலகும் திசைவேகத்திற்கும் (சார்புத் திசைவேகம்) மோதலுக்கு முன் உள்ள நெருங்கும் திசைவேகத்திற்கும் (சார்புத் திசைவேகம்) இடையே உள்ள விகிதம் மீட்சியளிப்பு குணகம் என வரையறுக்கப்படுகிறது.

அதாவது

$$e = \frac{\text{விலகும் திசைவேகம் (மோதலுக்குப் பின்)}}{\text{நெருங்கும் திசைவேகம் (மோதலுக்கு பின்)}} \\ = \frac{(v_2 - v_1)}{(u_1 - u_2)}$$

மீட்சி மோதலில் விலகும் திசைவேகமானது நெருங்கும் திசைவேகத்திற்கு சமம் என கிடைக்கப் பெற்றோம்.

அதாவது

$$(u_1 - u_2) = (v_2 - v_1) \rightarrow \frac{(v_2 - v_1)}{(u_1 - u_2)} = 1 = e$$

மீட்சி மோதலுக்கு மீட்சியளிப்பு குணகம் $e = 1$ என்பதை இது குறிக்கிறது. இயல்பாக, மோதலுக்குப் பிறகு இயக்க ஆற்றலில் இழப்பு ஏதுமில்லை என்பதே இதன் பொருளாகும். எனவே பொருளானது அதே இயக்க ஆற்றலுடன் மேலெழும்புகிறது. இது வழக்கமாக முழு மீட்சி என அழைக்கப்படுகிறது.

எவ்வித உண்மையான மோதல் நிகழ்வுகளிலும் மோதலினால் இயக்க ஆற்றலில் ஏதாவது இழப்பு ஏற்படும். இதன் பொருள் e இன் மதிப்பு எப்பொழுதும் $1 -$ ஐ விடக் குறைவாக இருக்கும். முழுமையான பிளாஸ்டிக் பந்தாக இருந்தால் அது மீண்டும் மேலெழும்பாது. ஆகையால் மோதலுக்குப் பிறகு அவற்றின் விலகும் திசைவேகம் சுழியாகும். எனவே மீட்சியளிப்பு குணகத்தின் மதிப்பு $e = 0$. பொதுவாக, ஒரு பொருளின் மீட்சியளிப்பு குணகம் $0 < e < 1$ என இருக்கும்.

எடுத்துக்காட்டு:

ஒரு மீட்சியற்ற மோதலில் ஒரு பொருள் நிலையாக உள்ளபோது சமநிறைகள் கொண்ட பொருள்களின் திசைவேகங்களின் விகிதம் $\frac{v_1}{v_2} = \frac{1-e}{1+e}$ எனக் காட்டுக.

தீர்வு:

$$e = \frac{\text{விலகும் திசைவேகம் (மோதலுக்குப் பின்)}}{\text{நெருங்கும் திசைவேகம் (மோதலுக்கு பின்)}} \\ = \frac{(v_2 - v_1)}{(u_1 - u_2)} = \frac{(v_2 - v_1)}{(u_1 - 0)} = \frac{(v_2 - v_1)}{u_1} \\ \Rightarrow v_2 - v_1 = eu_1$$

நோக்கோட்டு உந்தம் மாறா விதியிலிருந்து
 $mu_1 = mv_1 + mv_2 \Rightarrow u_1 = v_1 + v_2$

சமன்பாடு (2) இல் உள்ள u_1 இன் மதிப்பை சமன்பாடு (1) இல் பிரதியிட
 $v_2 - v_1 = e(v_1 + v_2)$

இதனைச் சுருக்க

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{1-e}{1+e}$$